

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **SISTEMA AUTOMÁTICO DE PRUEBAS PARA EL EQUIPO DE ADQUISICIÓN DE DATOS “ $\mu$ LOGGER 3” DE LA EMPRESA TECNUM ELECTRÓNICA C.A.**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el Br. Luis Gabriel Santana Canelón  
para optar al Título de  
Ingeniero Electricista.

Caracas, 2013

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **SISTEMA AUTOMÁTICO DE PRUEBAS PARA EL EQUIPO DE ADQUISICIÓN DE DATOS “ $\mu$ LOGGER 3” DE LA EMPRESA TECNUM ELECTRÓNICA C.A.**

Tutor Académico: Prof. Pedro Pinto

Tutor Industrial: Ing. Diógenes Santander

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el Br. Luis Gabriel Santana Canelón  
para optar al Título de  
Ingeniero Electricista.

Caracas, 2013

## CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 14 de noviembre de 2013

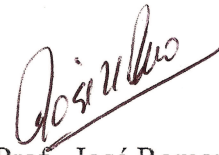
Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Luis G. Santana C., titulado:

**“SISTEMA AUTOMÁTICO DE PRUEBAS PARA EL EQUIPO DE  
ADQUISICIÓN DE DATOS “μLOGGER 3” DE LA EMPRESA TECNUM  
ELECTRÓNICA C.A.”**

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. Simón Morales  
Jurado



Prof. José Romero  
Jurado



Prof. Pedro Pinto  
Prof. Guía

## **DEDICATORIA**

A mis padres, quienes todos lo han dado por darme una buena educación y a quienes siempre les estaré agradecido.

## AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas que han colaborado en la realización de este trabajo, por lo que resulta casi imposible nombrarlas a todas.

Quisiera agradecer de manera muy especial a mis tutores, el Ing. Pedro Pinto como tutor académico y al Ing. Diógenes Santander, como tutor industrial.

También quiero agradecer a mis compañeros de TECNUM Electrónica, que han colaborado en la ejecución de mis tareas, especialmente al Ing. Iván Márquez, quien supo aclararme mis dudas en relación al equipo  *$\mu$ Logger 3* y a Winder Pérez, quien con mucho entusiasmo me ha ayudado en la construcción de los circuitos y partes metalmecánicas necesarias para la conformación del sistema desarrollado.

A todas aquellas personas que han hecho posible la culminación del presente trabajo, ¡Muchas Gracias!.

**Santana C., Luis G.**

**SISTEMA AUTOMÁTICO DE PRUEBAS PARA EL EQUIPO DE  
ADQUISICIÓN DE DATOS “ $\mu$ LOGGER 3” DE LA EMPRESA  
TECNUM ELECTRÓNICA C.A.**

**Tutor Académico o Prof. Guía: Pedro Pinto. Tutor Industrial: Ing. Diógenes Santander. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Ingeniero Electricista. Opción: Electrónica. Institución: TECNUM Electrónica C.A. 2013. 73 h. + anexos.**

**Palabras Claves:** Sistema automático de pruebas, Unidad bajo prueba.

**Resumen.** Se plantea el diseño e implementación de un sistema automático de pruebas (SAP) para la unidad de adquisición de datos (UAD) “ $\mu$ Logger 3” desarrollada por la empresa TECNUM Electrónica C.A.

Mediante la unidad desarrollada se pretende determinar si las características funcionales del equipo bajo prueba, corresponden a las especificaciones esperadas del mismo. De esta manera se podrá determinar si las unidades están aptas para su operación en campo y así la calidad de los resultados generados por el equipo una vez puesto en funcionamiento. Los resultados generados por la unidad desarrollada, también ayudarán a determinar eventuales problemas en el proceso de ensamblaje y sus componentes, por lo que constituye una pieza fundamental en el proceso de producción del mencionado equipo de adquisición de datos.

Este sistema, está constituido por varios componentes: interfaz de conexiones a la unidad bajo prueba (UBP), instrumentos de medición, bus de datos para las señales de control y medición, un computador personal para la visualización y el registro de datos, el software de control y una base de datos donde se almacenarán los resultados.

## INDICE GENERAL

CONSTANCIA DE APROBACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
RESUMEN.....	vi
INDICE GENERAL.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
LISTA DE ACRÓNIMOS.....	xi
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>12</b>
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>14</b>
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	14
1.1 Planteamiento del problema.....	14
1.2 Justificación.....	15
1.3 Objetivos.....	16
1.4 Objetivos específicos.....	17
1.5 Metodología.....	17
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>19</b>
2. MARCO TEORÍCO.....	19
2.1 La unidad bajo prueba (UBP).....	19
2.2 Antecedentes de los procedimientos de prueba del $\mu$ Logger en la empresa TECNUM Electrónica.....	21
2.3 Sistema automático de pruebas (SAP).....	22
2.4 Pruebas funcionales.....	25
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>26</b>
3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE PRUEBAS.....	26
3.1 Sistema automático de pruebas del proyecto.....	28

3.1.1	Multímetro Digital Agilent 34410A.....	29
3.1.2	Multiplexor analógico .....	29
3.1.3	Módulo de adquisición de datos USB2537.....	30
3.1.4	Equipo de expansión de puertos seriales.....	31
3.1.5	Interfaz de conexiones.....	31
3.2	Software del sistema automático de pruebas .....	32
3.2.1	La secuencia de las pruebas .....	32
<b>CAPITULO IV</b>	<b>.....</b>	<b>37</b>
<b>4. DISEÑO DEL HARDWARE Y SOFTWARE DEL SISTEMA AUTOMÁTICO</b>	<b>DE PRUEBAS .....</b>	<b>37</b>
4.1	Diseño del hardware.....	37
4.1.1	Descripción de las partes que conforman el sistema.....	37
4.1.2	Descripción del funcionamiento del hardware del SAP .....	39
4.2	Diseño del software.....	47
4.2.1	Proceso de definición del software del sistema deseado.....	47
4.2.2	Descripción de funcionamiento del software .....	50
4.2.3	Base de datos del sistema automático de pruebas .....	57
4.2.4	Estructura de la base de datos .....	57
4.2.5	Generación de reportes.....	60
4.2.6	Descripción de funcionamiento del software y su interfaz hombre- máquina.....	62
4.3	Pruebas y análisis .....	65
4.4	Pruebas funcionales.....	65
4.5	Ejemplos de resultados obtenidos .....	66
4.5.1	Caso 1, Cortocircuito en una pista provoca alto consumo en la UBP	66
4.5.2	Caso 2. Falla del reloj de tiempo real (RTC) .....	67
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>.....</b>	<b>69</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>.....</b>	<b>71</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>.....</b>	<b>72</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>.....</b>	<b>73</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Sistema Automático de pruebas para fuentes de poder .....	12
Figura 2 Diagrama de bloques funcionales del $\mu$ Logger 3 .....	21
Figura 3 Diagrama de bloques general de un SAP. ....	26
Figura 4 Diagrama de bloques del sistema automático de pruebas .....	28
Figura 5 Diagrama de bloques del multiplexor analógicos para las expansión de canales del multímetro digital .....	30
Figura 6 <i>Multiplexor Analógico. Etapa de selección de canales.</i> .....	41
Figura 7 Multiplexor Analógico. Etapa de relés. ....	41
Figura 8 Salidas digitales de la UBP.....	43
Figura 9 Circuito para simulación de contacto seco y trenes de pulso .....	44
Figura 10 Circuito de aislamiento óptico para puertos seriales .....	46
Figura 11 Funcionamiento general del software. ....	51
Figura 12 Diagrama de flujo de la secuencia de pruebas.....	56
Figura 13 Estructura de la base de datos del SAP.....	58
Figura 14 Ejemplo de Reporte de una Prueba.....	61
Figura 15 Formulario de datos de la prueba y la UBP ( $\mu$ Logger) .....	62
Figura 16 Pantalla para la selección y configuración de pruebas .....	63
Figura 17 Capturas de pantalla durante el uso del software del SAP .....	63
Figura 18 Ejemplo de una prueba que "No Pasa" .....	64
Figura 19 Pantalla de asistencia para el ajuste del ADC de la UBP .....	64
Figura 20 Reporte de la UBP TE002052 .....	66
Figura 21 Comparación del PCB de la UBP defectuosa.....	67
Figura 22 Terminal Positivo de Batería de litio toca carcasa de la UBP .....	68

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Listado de la secuencia de pruebas y su descripción .....	33
Tabla 2 Distribución de señales de salida analógicas a la UBP .....	45
Tabla 3 Listado de pruebas y dispositivo relacionado para su ejecución .....	53

## LISTA DE ACRÓNIMOS

AMUX: Multiplexor Analógico

MMD: Multímetro Digital

MAD: Módulo de Adquisición de Datos

UBP: Unidad Bajo Prueba

SAP: Sistema Automatizado de Pruebas

EAP: Equipo Automatizado de Pruebas

DC: Corriente Directa (*Ditect Current*)

AC: Corriente alterna (*Alternate Current*)

RTC: Reloj de tiempo real (*Real Time Clock*)

SD: *Secure Digital*. Tarjeta de almacenamiento masivo.

ADC: Convertidor analógico a digital (*Analog to Digital Converter*)

SPI: Interfaz de periféricos serial (*Serial Peripheral Interface*)

SPST: Simple polo simple tiro (*Simple Pole Simple Throw*)

TTL: Lógica transistor a transistor (*Transistor-Transistor Logic*)

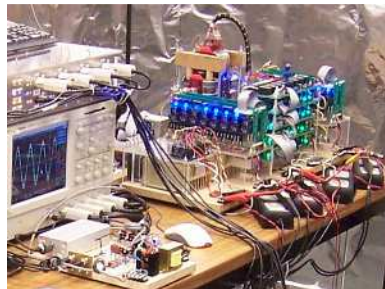
## INTRODUCCIÓN

Todo proceso de fabricación debe poseer conjuntamente un proceso de control de calidad. De esta manera se garantiza que los productos fabricados estén libres de fallas y que cumplan con las características deseadas.

En el caso de producción de equipos electrónicos, este control se realiza mediante la verificación de las especificaciones técnicas del producto en procedimientos de pruebas diseñadas para tal fin. Estos procedimientos se pueden realizar de forma manual o automática.

Las pruebas automáticas tienen como ventaja que no requieren de personal altamente experimentado, el tiempo de la prueba por producto se reduce considerablemente, lo que al final se ve como una reducción del costo del producto final.

Estos procedimientos automáticos de pruebas son realizados con un sistema automático de pruebas (SAP). Estos sistemas van desde un computador que controla un simple Multímetro Digital, o a un complicado sistema compuesto de varios instrumentos de medición capaces de realizar pruebas automáticas y diagnóstico de fallas de dispositivos electrónicos altamente sofisticados. En la figura 1 se muestra un ejemplo de este tipo de sistema.



**Figura 1 Sistema Automático de pruebas para fuentes de poder**

El presente trabajo tiene por objeto el desarrollo del Sistema Automático de Pruebas (SAP) para la comprobación del funcionamiento de un equipo electrónico autónomo de adquisición y almacenamiento de datos, analógicos y/o digitales.

En el capítulo 1 se describe el planteamiento de proyecto, su justificación como unidad necesaria para garantizar las especificaciones de funcionamiento de equipo bajo prueba y los objetivos que se desean alcanzar con este desarrollo.

En el capítulo 2 se realiza una breve explicación de la unidad de adquisición de datos (UAD) “*μLogger 3*”, la cual ha sido previamente diseñada. También se describe la teoría en la que se basa un sistema automático de pruebas (SAP), así como las pruebas funcionales necesarias para verificar las características de los equipos bajo prueba.

El capítulo 3 contiene la descripción de sistema automático de prueba del proyecto. Allí se detallan brevemente los componentes que conforman el sistema así como su interconexión y funcionamiento como un sistema integrado. También se describe el funcionamiento del software de control desarrollado y las secuencias de prueba diseñadas para la verificación del sistema de adquisición de datos.

En el capítulo 4 se describe en detalle el hardware y software del SAP, incluyendo diagramas de los circuitos, diagramas de flujo. Finalmente se muestran algunos resultados obtenidos del SAP en procesos reales de prueba con unidades de adquisición de datos producidas en la empresa.

# CAPITULO I

## 1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El presente capítulo describe algunos aspectos relacionados con la necesidad, justificación para la elaboración del presente proyecto, así como los objetivos y alcances necesarios para que el mismo cumpla con el fin para el cual fue concebido.

### 1.1 Planteamiento del problema

En todo proceso de fabricación se busca que el mismo esté acompañado de un proceso de *aseguramiento de la calidad* de manera de disminuir la posibilidad de fallas o de problemas de fabricación. Sin embargo, a pesar de lo riguroso que pueda ser este proceso de aseguramiento de la calidad, un pequeño número de unidades puede presentar alguna falla luego de pasar por el proceso de producción, por lo que es necesario contar con una etapa al final del proceso para validar los productos, de forma de verificar que funcionen según las características con las que fueron diseñados. A esta etapa se le llama *control de calidad*.

El control de calidad cumple varias metas dentro del proceso productivo, como la de evitar que equipos defectuosos salgan al mercado. También es útil el control de calidad para detectar cuáles son las fallas en el proceso productivo que están generando las unidades defectuosas y así poder remediarlas.

En el caso de producción de equipos electrónicos, este control se realiza mediante la verificación de las especificaciones técnicas del producto en sistemas de pruebas diseñados para tal fin.

Se desea contar con un sistema que permita la validación del proceso de fabricación del equipo de adquisición de datos *μLogger 3* desarrollado por la empresa TECNUM Electrónica C.A. Este sistema debe ser robusto, eficiente, confiable, fácil de operar y debe almacenar los resultados en una base de datos para facilitar la generación de reportes.

El presente proyecto tiene por objeto el desarrollo e implementación del Sistema Automático de Pruebas para el *μLogger 3* que cumpla con las características mencionadas anteriormente.

## **1.2 Justificación**

El equipo objeto de las pruebas de este trabajo, es diseñado fundamentalmente para ser empleado en mediciones hidrometeorológicas de superficie, siendo su espectro de aplicación muy amplio, incluyendo sectores como el pronóstico meteorológico, detección de situaciones de riesgo para las poblaciones, tráfico aéreo, terrestre y marítimo, agroindustria, turismo y cualquier otra área que pueda ser afectada por las condiciones ambientales.

Dada la importancia que tiene la información generada por el mencionado equipo, se hace imperativo contar con un proceso de control de la calidad de cada una de las unidades producidas, de manera que puedan garantizar su correcta operación al salir al mercado.

El costo de implementar y aplicar un sistema de detección temprana de fallas en los equipos es sumamente pequeño en comparación con el costo de detectar dichas fallas cuando el equipo ya se encuentra en operación, mas el costo de visita al sitio para realizar la corrección. Existe también un costo intangible en la pérdida de confianza de los usuarios hacia el equipo y al fabricante, en caso de que muchas unidades llegaran a presentar fallas una vez instaladas.

El procedimiento de pruebas al finalizar el ensamblaje de los equipos contribuye a disminuir los riesgos de estas fallas, incrementando a su vez la confiabilidad del equipo bajo prueba.

La información que generarán estas pruebas es de vital importancia para la empresa, ya que podrá ser usada para detectar eventuales problemas en el proceso de producción y mejorar las características del equipo en futuras revisiones o nuevas versiones del mismo.

La automatización del sistema de pruebas tiene un alto valor agregado a la calidad y confiabilidad de los resultados, ya que disminuye la posibilidad de errores debido a la intervención humana en tareas repetitivas o redundantes.

La automatización también aumentará la velocidad de ejecución de los procesos de pruebas sobre cada unidad. Además se podrá usar personal técnico no especializado en el área de pruebas, ya que el software guiará al operador durante las pruebas.

Todo esto reducirá costos a la empresa al tener menos horas-hombre involucradas en las tareas de prueba y mejor aprovechamiento del personal.

### **1.3 Objetivos**

Diseñar e implementar un Sistema Automático de Pruebas (SAP) que será utilizado para comprobar el funcionamiento del *μLogger 3* de acuerdo con sus especificaciones técnicas.



## 1.4 Objetivos específicos

- Estudiar el funcionamiento y las especificaciones técnicas del *μLogger 3* para diseñar los procedimientos de prueba que se realizaron sobre el mismo, de manera de garantizar que cumple con sus especificaciones técnicas.
- Estudiar los métodos de medición utilizados en las pruebas, tomando en cuenta bibliografía y los instrumentos disponibles.
- Diseñar y construir el SAP, compuesto por los instrumentos de medición, el bus de datos, la interfaz de conexiones para la unidad bajo prueba y el computador.
- Diseñar e implementar el software del SAP, compuesto por interfaz de usuario, rutinas para la ejecución secuencial de las pruebas, base de datos para almacenar la información de cada prueba y el módulo para la generación de reportes de resultados.
- Depurar el SAP conformado por el hardware y el software por medio de la validación de varios equipos de adquisición de datos *μLogger 3*.
- Redactar el manual de usuario del SAP.

## 1.5 Metodología

- *Investigación.* Se realizó una investigación documental sobre el estado del arte en Sistemas Automáticos de Prueba utilizados en sistemas similares al propuesto en este proyecto. Se investigó sobre la teoría y tecnologías

asociadas, la normativa recomendada y legal, así como el estudio de aplicaciones reales que cubran aspectos similares al propuesto.

- *Desarrollo Preliminar del Hardware y Software.* Se realizaron ensayos preliminares para conocer los equipos y probar rutinas sencillas que controlaron las diferentes partes que conformo el sistema. Luego se interconectaron estas partes y se probó todo el conjunto como un sistema.
- *Depuración del Hardware y Software.* Se realizaron múltiples ensayos para depurar el funcionamiento de cada una de las partes del sistema y así se garantizó su correcta operación. Durante este proceso se fue añadiendo nuevas unidades funcionales del software, quedando así un sistema más completo, amigable y versátil.
- *Finalización del Hardware y Software.* Una vez realizada la depuración de cada parte del sistema, se realizo el diseño de la unidad final funcional que ha prestado el servicio continuo de prueba de unidades.
- *Culminación.* Se redactó toda la documentación asociada al sistema, que incluye los aspectos de diseño y construcción, manejo, imágenes y diagramas, detección y corrección de problemas, y recomendaciones para futuras versiones.

## CAPITULO II

### 2. MARCO TEORÍCO

El siguiente capítulo describe el marco teórico necesario para investigar y organizar la realización del proyecto.

Se estudian los sistemas automáticos de pruebas usados en la industria y sus partes. Luego se describen las pruebas realizadas para comprobar el funcionamiento de la unidad bajo prueba (UBP).

#### 2.1 La unidad bajo prueba (UBP)

El “*μLogger 3*” es un dispositivo electrónico autónomo capaz de registrar y almacenar gran cantidad de datos provenientes de diversos sensores, fundamentalmente para aplicaciones de hidrometeorología.

Este equipo funciona en base a un microcontrolador PIC18, el cual en conjunto con una serie de circuitos periféricos permiten una operación de muy bajo consumo, siendo esta una característica básica para un sistema cuya alimentación generalmente proviene de baterías. Entre las principales características técnicas están las siguientes:

- Alimentación de tensión entre 6 a 15 Vdc.
- Corriente mínima de funcionamiento 70  $\mu$ A (aproximadamente), en modo de espera.
- Posee un reloj de tiempo real de frecuencia de 32,768 kHz, respaldado por batería de litio.

- Doce (12) canales analógicos de entrada unipolares (8 de 12 bits, 4 de 10 bits), rango de tensión de 0 a 4,096 V.
- Ocho (8) canales digitales de entrada.
- Dos (2) canales digitales de salida.
- El almacenamiento se realiza en memorias flash extraíbles tipo *Secure Digital* (SD) de hasta 1GB. El formato de almacenamiento es FAT16, compatible con PC.
- Cuatro (4) puertos de comunicación serial RS-232. Donde tres son bidireccionales y uno unidireccional.
- Por medio de un pulsador se ejecutan rutinas de auto-diagnóstico que permiten conocer el estado del equipo, a través de indicadores luminosos y audibles.
- Un (1) Bus SPI controlado por el microprocesador para la comunicación con los diferentes circuitos integrados presentes en la tarjeta de la unidad.
- Salida de tensión conmutable para la alimentación de dispositivos externos.
- Sensor interno de temperatura.

En la figura 2, se muestra los principales bloques funcionales del  $\mu$ Logger 3.

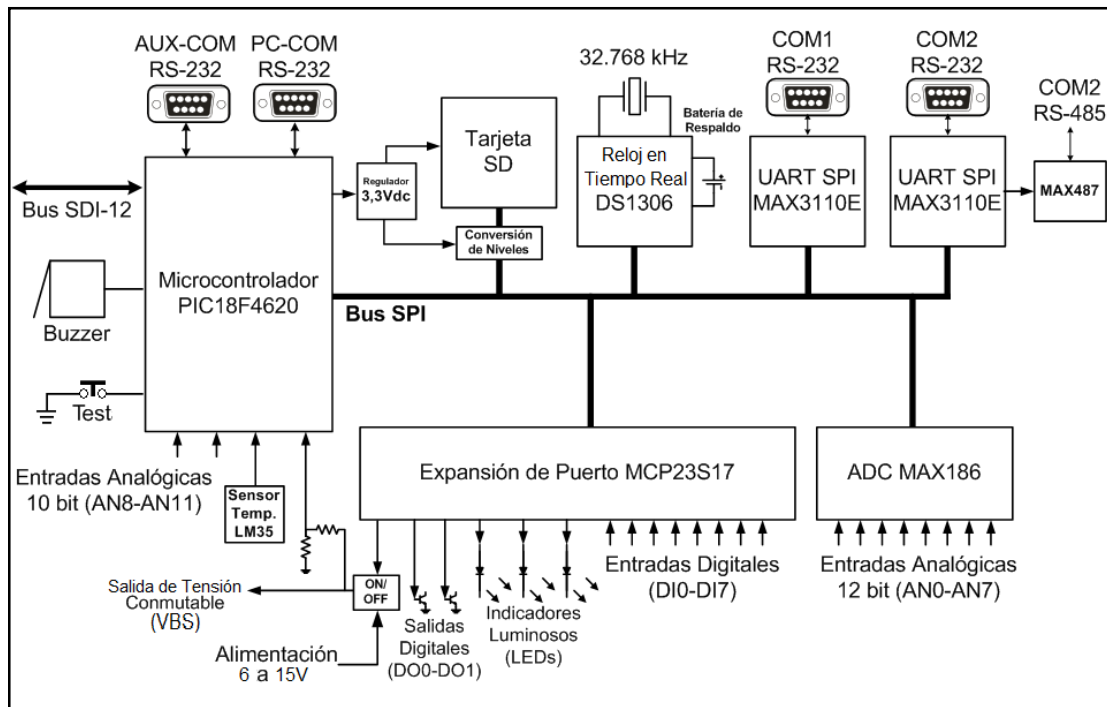


Figura 2 Diagrama de bloques funcionales del  $\mu$ Logger 3

## 2.2 Antecedentes de los procedimientos de prueba del $\mu$ Logger en la empresa TECNUM Electrónica.

Como se mencionó anteriormente, el sistema de pruebas bajo desarrollo será utilizado para las pruebas del equipo  $\mu$ Logger 3. Sin embargo, la empresa ya ha producido 2 versiones anteriores de este equipo, que contaban con especificaciones y tecnologías diferentes a la versión actual. Entre algunas de las diferencias se encuentran el uso de tarjetas PCMCIA en lugar de SD, diferentes circuitos integrados de microprocesador, reloj en tiempo real y expansión de puertos, etc. Debido a estas diferencias, los procedimientos de prueba también tendrán que variar para ajustarse al nuevo equipo.

Las versiones anteriores al *μLogger 3* eran probadas con procedimientos manuales, los cuales eran laboriosos, difíciles de realizar y exigían mucho tiempo.

### 2.3 Sistema automático de pruebas (SAP)

Un sistema automático de pruebas (SAP), también llamado equipo automático de prueba (EAP), es aquel en los cuales las tareas de medición y de registro de las unidades bajo prueba son controladas y ejecutadas automáticamente. En algunos casos un SAP puede también realizar otras funciones, como diagnóstico, registro de datos, etc. El término “Sistema Automático de Prueba” es utilizado en el contexto de las pruebas de componentes electrónicos, circuitos y sistemas. El término unidad bajo prueba (UBP), o sistema bajo prueba (SBP), se utiliza a menudo en el contexto de los SAP para referirse a la unidad o sistema bajo estudio.

La función principal de un SAP es mejorar la eficiencia (principalmente reduciendo el tiempo de prueba y en consecuencia su costo) del proceso de prueba, mediante la sustitución de las acciones humanas, por equipos que realizaran las pruebas con mayor rapidez y por lo general más consistentemente. El SAP se puede utilizar durante el desarrollo, la producción, y durante el servicio de las unidades. Para algunos sistemas modernos y circuitos electrónicos complejos, el uso del SAP es el único camino posible para probarlos (microcircuitos o sistemas ensamblados), ya que las pruebas manuales en estos casos pueden ser impracticables o imposibles. En muchas situaciones de la producción moderna, el rendimiento es tan alto que el uso del SAP es el único camino efectivo y posible.

Elementos que componen un SAP:

- *Interfaces*: el SAP debe ser conectado a la UBP, para suministrar señales a la unidad y medir su respuesta. Las interfaces pueden estar compuestas de:

conectores, transductores, acondicionadores de señales, dispositivo de conversión analógica a digital, etc.

- *Equipos de adquisición de datos:* el SAP deben estar equipado para la adquisición automática de datos. Esto incluye típicamente capacidades como el muestreo de datos, captura de datos, registro y transmisión a los instrumentos adecuados.
- *Mediciones:* los instrumentos apropiados, deben ser seleccionados para medir los parámetros pertinentes (esto se incluye en los equipos de adquisición de datos).
- *Equipos de visualización y registro:* la entrada y salida de datos deben ser visualizados y almacenados. La visualización se puede realizar por medio de indicadores, pantallas, etc. El registro de datos puede realizarse por medio de unidades de almacenamiento masivo, como discos duros, memoria flash o por diversos medios informáticos.
- *Unidad de análisis:* el SAP incluye capacidades para el análisis de datos, como puede ser: análisis grafico, análisis de comportamiento en el tiempo y en frecuencia, análisis estadístico, etc. Esto se logra generalmente mediante la incorporación de computadores personales.
- *Software:* la lista de funciones anteriores son controladas y ejecutadas principalmente a través de un software que se ejecutará en un computador conectado a las interfaces.
- *Otras:* dependiendo de los requerimientos del sistema, un SAP pueden incluir otras capacidades, como son las alertas, comunicaciones con bases de datos, conectividad a Internet, etc.

### Computadores personales y el SAP:

Los SAPs están generalmente basados en computadores personales, para su control e implementación. Un computador con el software adecuado, podrá realizar las rutinas de pruebas, control de instrumentos, adquisición de datos, visualización, análisis, y otras que dependerán de los requerimientos del sistema.

### Sistema de adquisición de datos en el SAP:

Existe una amplia gama de sistemas para la adquisición de datos de pruebas. Este convierte la señal eléctrica analógica a digital y controla la transferencia de datos entre la UBP y el instrumento de medición. Esta transferencia se debe realizar a través de buses, que se caracterizan generalmente por la velocidad del muestreo de datos, alto rechazo al ruido, ancho de banda y transferencia de datos hacia el computador.

### Bus de datos en un SAP:

Los sistemas de pruebas modernos usan generalmente buses de datos estándar. A continuación se presenta el listado de buses más comunes en el campo de los sistemas de pruebas:

- IEEE488, primer bus de datos estándar para pruebas, también llamado en inglés “General Purpose Interface Bus (GPIB)”.
- Protocolos de interface asincrónicos y sincrónicos, RS 232 y EIA/TIA 232
- El bus PCI o con extensiones para instrumentos (PXI).



- El bus estándar VXI, en comparación a los otros buses, este permite más altas velocidades de pruebas y mayor precisión. Instrumentos de medición recientes usan los buses de computadora, Ethernet y USB.

## 2.4 Pruebas funcionales

Una prueba funcional tiene por objeto comprobar el comportamiento de un equipo contra sus especificaciones funcionales. Esta prueba se realiza con el equipo alimentado y con señales de pruebas conectadas en sus entradas y salidas. Es común combinar esta prueba con el ajuste de calibración del equipo para obtener su puesta a punto.

Para un bajo volumen de productos se escribe un procedimiento de prueba en torno a instrumentos individuales, tales como voltímetros, osciloscopios y generadores de señal. Estos procedimientos de prueba consistirán en una secuencia de instrucciones para el técnico de la prueba que aplicará una señal de excitación A, observará la señal en B, ajustará un *Trimmer* C para un mínimo D, y así sucesivamente a lo largo de los valores umbrales donde se realizan las mediciones.

La desventaja de este enfoque es que es costoso en términos de tiempo de prueba. Esto agrega gastos que afectará el costo final de la unidad bajo prueba.

Las pruebas funcionales pueden ser más fácilmente realizadas por medio de un equipo de prueba automático (EPA) o sistema automático de pruebas (SAP).

En este caso, la función del operador se reduce a la de carga y descarga de la unidad bajo prueba, pulsar el botón de "Inicio" y observar los resultados. La prueba no requiere de expertos, el tiempo de prueba por unidad se reduce considerablemente a unos pocos minutos, lo que al final se ve como una reducción de costos del producto final.

## CAPITULO III

### 3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE PRUEBAS

El sistema automático de pruebas (SAP) está constituido por varios componentes: la interfaz de las conexiones a la unidad bajo prueba (UBP), instrumentos de medición, bus de datos para las señales de control y de resultados de las mediciones, un computador personal para la visualización y el registro de datos, los drivers para el control de los equipos, el entorno de programación para el software y la base de datos donde se almacenarán los resultados.

A continuación se muestra un diagrama de bloques que ilustra estos elementos.

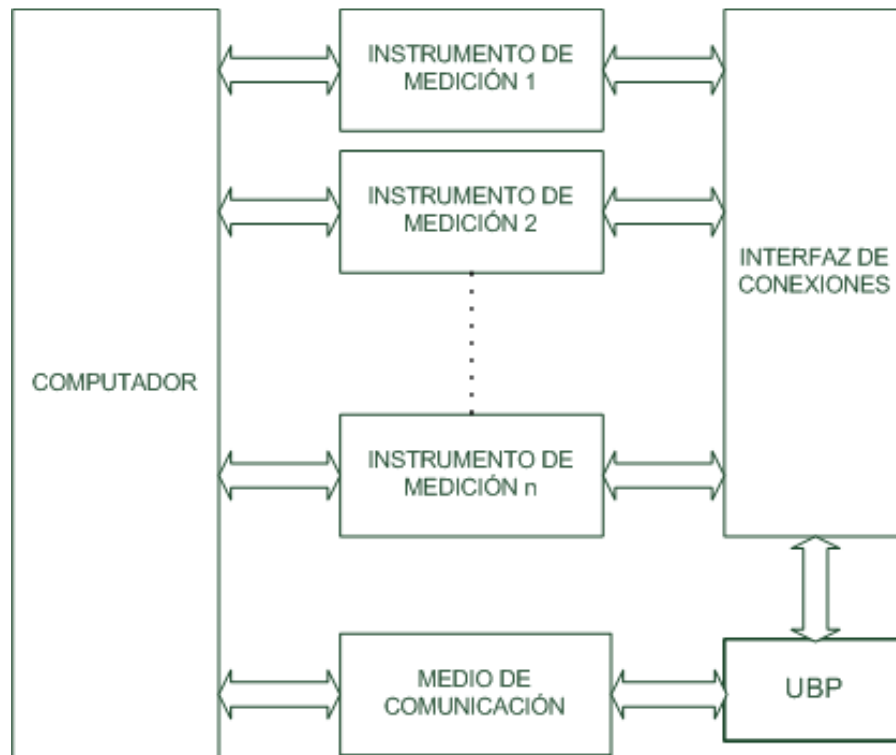


Figura 3 Diagrama de bloques general de un SAP.

Los bloques mostrados en el diagrama anterior se explican a continuación:

*Instrumentos de medición:* el SAP está provisto de diferentes instrumentos de medición, debido a las diversas mediciones posibles que se realizan sobre la UBP. Estos instrumentos incluyen multímetros digitales de alta precisión, generadores de señales y módulos de adquisición de datos.

Los instrumentos de medición son controlados a través de un computador, de manera de automatizar el sistema de pruebas por medio de un software programado para la ejecución secuencial de las pruebas sobre la UBP.

*Interfaz de conexiones:* está compuesta principalmente por el conjunto de cables y terminales conectados a los puntos de medición de la UBP y los provenientes de los instrumentos de medición. Estas conexiones están claramente identificadas de manera de facilitar al operador las conexiones necesarias para las pruebas, y así disminuir la posibilidad de errores debido a una mala conexión.

Para el diseño de la interfaz de conexión se toman en cuenta las técnicas para la reducción de fuentes de ruido y errores, tales como lazos de tierra, influencia del modo común, interferencias externas, entre otras.

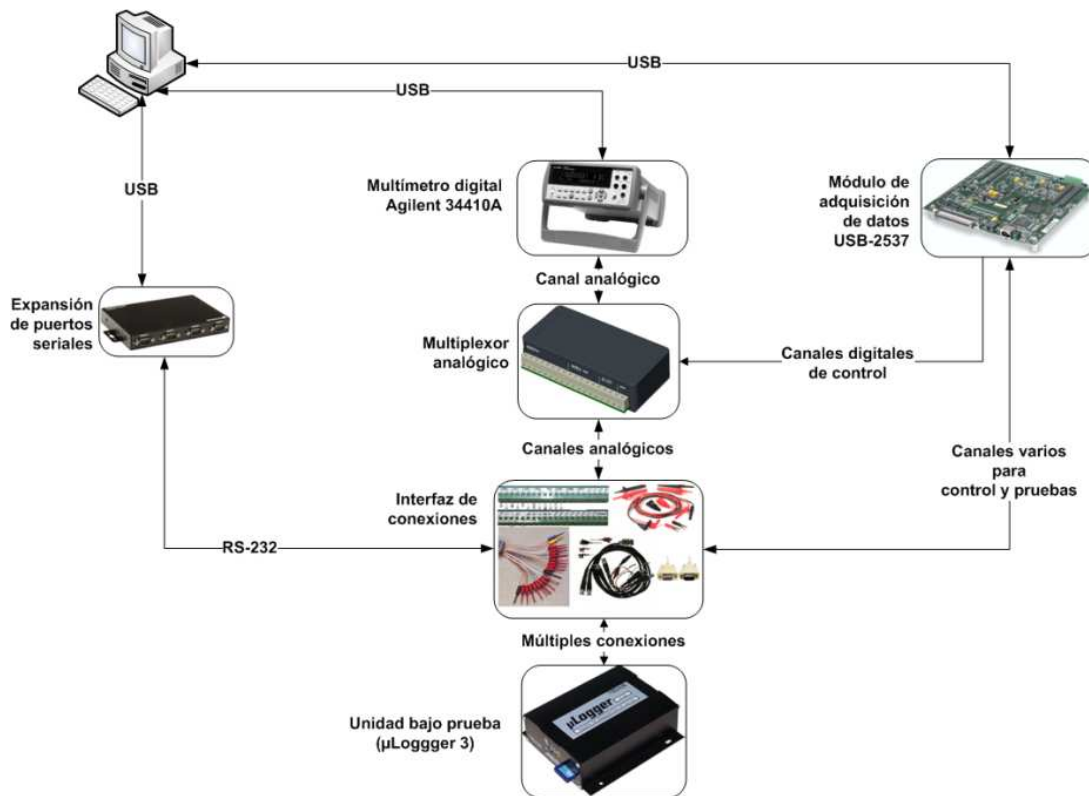
*Medio de comunicación:* para la ejecución de pruebas específicas es necesario que el computador envíe comandos a la UBP para que esta realice ciertas tareas, al mismo tiempo los instrumentos de medición pueden estar registrando el comportamiento de la UBP. Igualmente la UBP podría enviar sus propios resultados de las operaciones realizadas al computador a través del mismo medio.

*Unidad bajo prueba (UBP):* el ***μLogger 3*** es la UBP de este proyecto. Esta unidad se coloca sobre una base de fácil acceso para el operador y que facilita el intercambio entre UBPs.

*Computador:* es el elemento encargado de coordinar todas las actividades del SAP, a la vez de servir de interfaz con el usuario. Tiene la capacidad de comunicación con todos los instrumentos de medición mediante los buses adecuados.

### 3.1 Sistema automático de pruebas del proyecto

A continuación se presenta el diagrama de bloques del sistema automático de pruebas (SAP) diseñado:



**Figura 4 Diagrama de bloques del sistema automático de pruebas**

La unidad bajo prueba (en nuestro caso el *µLogger 3*), estará conectada a la interfaz de conexiones del SAP. Esta interfaz está compuesta principalmente por el conjunto de cables con terminales conectados a los puntos de medición de la UBP. Este conjunto de cables están a su vez conectados a los canales del multiplexor

analógico, el módulo de adquisición de datos USB-2537 y la conexión serial RS-232 del dispositivo de expansión de puertos seriales.

### **3.1.1 Multímetro Digital Agilent 34410A**

El multímetro tiene por objeto la medición de tensión DC, corriente DC y frecuencia, en distintas etapas de la UBP.

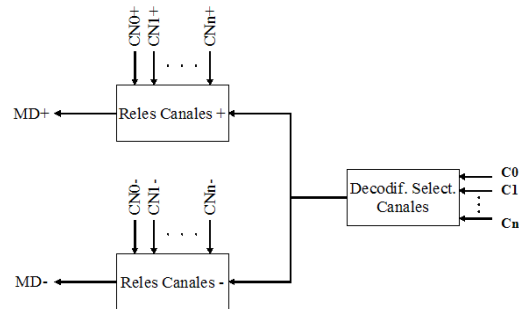
Uno de los objetivos principales de este proyecto es lograr la automatización de las pruebas, y el multímetro tiene la limitación de que solo cuenta con dos canales distintos de medición. Por lo que es necesario el diseño de un multiplexor analógico para incrementar el número de canales del equipo.

### **3.1.2 Multiplexor analógico**

Este dispositivo consiste en ocho canales analógicos diferenciales, cada uno de estos es seleccionado por medio de un direccionamiento binario de tres bits. Este direccionamiento es controlado por medio de rutinas de software y el módulo de adquisición de datos USB-2537. Este direccionamiento tiene como objeto el manejo de un decodificador de tres entradas binarias y ocho salidas mutuamente excluyentes, de manera que solo se realiza una medición por cada canal diferencial a la vez.

Estas ocho salidas controlan a un arreglo de dieciséis relés SPST, dos por cada canal diferencial. La entrada de control de estos dispositivos es compatible con señales tipo TTL.

En la figura 5 se puede observar el diagrama de bloques que representa al multiplexor analógico diseñado.



**Figura 5 Diagrama de bloques del multiplexor analógicos para las expansión de canales del multímetro digital**

Se agregó a cada salida del decodificador un “driver” de línea para asegurar que la corriente sea suficiente para activar los relés.

### 3.1.3 Módulo de adquisición de datos USB2537

Este módulo tiene múltiples funciones en el SAP, como son las tareas de control de los dispositivos que integran al SAP y tareas de pruebas en la UBP.

Para las tareas de control se utilizan tres salidas digitales de salida para la selección de canales del multiplexor analógico. También se usa dos salidas digitales para el control por relé del encendido de la UBP y medición de corriente de la misma.

Para tareas de pruebas el módulo de adquisición de datos se conecta a la UBP para la detección de señales digitales (salidas digitales de la UBP) y la estimulación de sus entradas analógicas y digitales.

En el Capítulo IV se describe con más detalle las tareas de control y pruebas del módulo de adquisición de datos.

### **3.1.4 Equipo de expansión de puertos seriales**

La UBP cuenta con tres puertos seriales de control (PC-COM, COM1, COM2) y por último tiene otro puerto serial unidireccional de salida (AUX-COM). Por otra parte el Computador cuenta generalmente con un solo puerto serial.

Este equipo posee una conexión del tipo USB con el computador y 4 puertos seriales de uso general.

### **3.1.5 Interfaz de conexiones**

La interfaz de conexiones está compuesta por varios componentes que facilitan la conexión del SAP a todos los puntos de pruebas de la UBP.

La UBP se conecta a una tarjeta en donde se distribuyen todas las conexiones seriales, de alimentación, canales de entrada analógica, entradas digitales y salidas digitales.

Los canales del multiplexor analógico están compuestos por bloques terminales. De esta manera cada punto de medición de la UBP (Puntos de Prueba) se conectan a través de un cable que va al punto de prueba y se fija al bloque terminal mediante tornillos.

El uso de bloques terminales tiene dos objetivos específicos: a) facilita el cambio del cable por deterioro en sus terminales, debido a la gran cantidad de posibles conexiones y desconexiones mecánicas del mismo a la UBP. b) facilita el conexionado a las diferentes versiones de la UBP, ya que las mismas no necesariamente usan los mismos terminales de conexión para los puntos de prueba.

## **3.2 Software del sistema automático de pruebas**

El software desarrollado para el SAP tiene por objeto la ejecución de las pruebas de forma secuencial, mostrar al usuario el progreso y resultados de la secuencia. Por cada prueba se realiza un conjunto de rutinas relacionadas con el control de los equipos de medición a través de sus drivers. Los resultados de las pruebas por lo general es un grupo de valores obtenidos de los equipos de medición, que son transmitidos al computador y almacenados temporalmente. Al final, cuando se han finalizado todas las pruebas, se almacena en una base de datos los resultados y características de la misma.

### **3.2.1 La secuencia de las pruebas**

Cada prueba sobre la UBP se realiza independientemente unas de otras por lo que fue necesario establecer un orden para ejecutar éstas. Esta forma ordenada de ejecutarlas es la secuencia de pruebas.

El bloque del software encargado de la secuencia de prueba es el que coordina el momento el cual se ejecuta cada tipo de prueba sobre la UBP.

El orden de las pruebas se ejecuta por medio de un listado de pruebas pre cargado en la base de datos e identificado con identificador único, esto con el objetivo de poder agregar o retirar pruebas en función de la necesidad.

En este listado de pruebas se tiene la información necesaria sobre cada prueba. Por ejemplo: el dispositivo de medición usado, los valores de umbral máximo o mínimo de aprobación, la posición que establece el momento de realizar la prueba, etc.



Cada prueba del listado se define por su tipo y éste está relacionado con el objetivo de lo que se desea probar. A continuación se enumera los tipos de pruebas que se realizan:

- a) Inspección visual y mecánica de la UBP
- b) Comandos a la UBP
- c) Medición de corriente DC
- d) Medición de tensión DC
- e) Medición de frecuencia
- f) Comparación de la medición de dos tensiones DC
- g) Adquisición de la UBP

La secuencia de pruebas por defecto está conformada por la lista de pruebas se puede observar en la Tabla 1. Ahí se describe cada una de estas con una breve descripción y al tipo de prueba a la que pertenece.

**Tabla 1 Listado de la secuencia de pruebas y su descripción**

Nombre de Prueba	Descripción	Tipo
Pulsador/Buzzer/LEDs	El operador verifica que la UBP, el Buzzer y los LEDs emiten las señales preestablecidas para la inicialización de la unidad y que de igual forma, al pulsar el botón de prueba, se obtiene la respuesta correcta tanto de los LEDs como del Buzzer. También se prueba el mecanismo de inserción/expulsión de la tarjeta de memoria SD.	Inspección visual y mecánica de la UBP

<b>Nombre de Prueba</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>
PC-COM	Se transmite comandos a la UBP a través del puerto PC-COM, y verifica que las respuestas obtenidas sean correctas.	Comandos a la UBP
Corriente de <i>StandBy</i>	Se mantiene la unidad en modo de bajo consumo mientras se realiza la medición de la corriente DC.	Medición de corriente DC
Corriente de Operación	Se transmite un comando a la UBP que la mantiene en estado de operación, mientras se realiza la medición de la corriente DC.	Medición de corriente DC
Tensión de 5Vdc	Se realizan la medición de la tensión del regulador de 5 V que energiza la mayoría de los elementos de la UBP.	Medición de tensión DC
Frecuencia RTC	Se realizan la medición de la frecuencia de 32,768 kHz del RTC de la UBP.	Medición de Frecuencia
Tensión de 3,3Vdc	Se envía un comando a la UBP para que mantenga habilitado el regulador de 3,3 Vdc que alimenta la circuitería de memoria SD, mientras se realiza la medición de tensión a la salida del regulador.	Medición de tensión DC
Tensión de Referencia ADC	Se envía un comando a la UBP para que mantenga habilitado el convertidor analógico a digital, se verifica si el valor de tensión de referencia está ajustado. En caso negativo se va a una rutina de ajuste y en el caso contrario se realiza la medición de la tensión de referencia.	Medición de tensión DC
VBAT vs VB con VBS Inactivo	Se compara la medición directa de la batería con la tensión de la misma pero en la UBP.	Comparación de la medición de dos tensiones DC
Tensión conmutada Apagada	Se verifica que la medición de la tensión de conmutada o conmutable de la UBP se encuentra a un nivel cercano a 0 V.	Medición de tensión DC
VBAT vs VBS con VBS Activo	Se envía un comando a la UBP para que mantenga habilitado la tensión conmutada, mientras se realiza la medición de su tensión DC y se compara con la medición directa a la batería.	Comparación de la medición de dos tensiones DC

Nombre de Prueba	Descripción	Tipo
VBAT vs VB con VBS Activo	Se envía un comando a la UBP para que mantenga habilitado la tensión conmutada, mientras se compara la medición directa de la batería con la tensión de la misma pero en la UBP.	Comparación de la medición de dos tensiones DC
VBAT vs VB con VBS Activo	Se envía un comando a la UBP para que mantenga habilitado la tensión conmutada, mientras se compara la medición directa de la batería con la tensión de la misma pero en la UBP.	Comparación de la medición de dos tensiones DC
VBAT vs VBS (VBS Activo y con carga)	Se envía un comando a la UBP para que mantenga habilitado la tensión conmutada y se activa un relé que conecta una carga en la salida de la tensión conmutada. Finalmente se compara la medición directa de la batería con la tensión conmutada.	Comparación de la medición de dos tensiones DC
VBAT vs VB (VBS Activo y con carga)	Se envía un comando a la UBP para que mantenga habilitado la tensión conmutada y se activa un relé que conecta una carga en la salida de la tensión conmutada. Finalmente se compara la medición directa de la batería con la tensión de la misma pero en la UBP.	Comparación de la medición de dos tensiones DC
Tensión de referencia	Se envía un comando a la UBP para que mantenga habilitado el convertidor analógico a digital. Mientras se realiza la comparación de la medición de la tensión de referencia a la salida de ADC y a la salida de un <i>buffer</i> .	Comparación de la medición de dos tensiones DC
COM1	Se transmiten comandos a la UBP a través del puerto COM1, y verifica que las respuestas obtenidas sean correctas.	Comandos a la UBP
COM2	Se transmiten comandos a la UBP a través del puerto COM2, y verifica que las respuestas obtenidas sean correctas.	Comandos a la UBP
Sincronizar Hora	Se envía un comando a la UBP para sincronizar la hora del RTC con la hora del computador. Luego por medio de un relé se remueve la alimentación de la UBP por 20 segundos. Luego se vuelve a conectar la alimentación y se verifica que la hora del RTC se mantiene sincronizada.	Comandos a la UBP

<b>Nombre de Prueba</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>
Salida Digital DO0	Se envía una serie de comandos a la UBP para activar y desactivar diez veces la salida digital. Mientras haciendo uso de una entrada digital de la Módulo de adquisición de datos se verifica que la activación y desactivación ocurren en forma sincronizada.	Comandos a la UBP
Salida Digital DO1	Se envía una serie de comandos a la UBP para activar y desactivar diez veces la salida digital. Mientras haciendo uso de una entrada digital de la Módulo de adquisición de datos se verifica que la activación y desactivación ocurren en forma sincronizada.	Comandos a la UBP
Adquisición	Se inicializa la Módulo de adquisición de datos para la generación señales analógicas y digitales. A continuación se envía una serie de comandos a la UBP para programar su configuración de adquisición, en donde se habilitan todos sus canales de medición. Luego se envía el comando de iniciar el modo de adquisición. Durante la adquisición se verifica que el puerto AUXCOM de la UBP envíe las mediciones esperadas. Luego de un minuto y medio se envía un comando para detener la adquisición. Finalmente se compara todas las mediciones realizadas por la UBP con las esperadas, por medio del archivo almacenado en la memoria SD.	Adquisición de la UBP

## CAPITULO IV

### 4. DISEÑO DEL HARDWARE Y SOFTWARE DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE PRUEBAS

#### 4.1 Diseño del hardware

A continuación se explica el proceso de diseño del hardware del SAP. Se incluye el proceso de definición del sistema deseado, la descripción de sus partes, la integración de las mismas como un sistema y la descripción del funcionamiento de todo el conjunto.

##### 4.1.1 Descripción de las partes que conforman el sistema

Los equipos que conforman el SAP se enumeran a continuación, así como sus especificaciones más relevantes:

###### 4.1.1.1 *Módulo de adquisición de datos (MAD) USB-2537 de Measurement Computing.*

Este módulo presenta las siguientes características:

- Bus de comunicación: USB.
- 32 Entradas analógicas diferenciales o 64 simples. Resolución de 16 bits. Selección de rangos de voltaje por software ( $\pm 10$ ,  $\pm 5$ ,  $\pm 2$ ,  $\pm 1$ ,  $\pm 0,5$ ,  $\pm 0,2$ ,  $\pm 0,1$ ).
- 4 Salidas analógicas de 1MHz. Resolución de 16 bits. Rango de  $\pm 10V$ .
- 24 Entradas/Salidas digitales hasta 12Mhz.
- 2 Temporizadores de salida.

- 4 Contadores de 32bits.
- Dispone de una Librería Universal (“Universal Library”) que soporta varios lenguajes de programación C/C++, Delphi, Visual Studio y Visual Studio .NET. Esto permite programación compatible con Windows 2000/XP/Vista/7.

#### **4.1.1.2 *Multímetro digital Agilent 34410A de 6 ½ dígitos***

- 1.000 lecturas/s a 6 ½ dígitos directo al computador.
- 10.000 lecturas/s a 5 ½ dígitos directo al computador.
- 50.000 lecturas/s a 4 ½ dígitos directo al computador.
- Puerto Ethernet, USB y GPIB estándar.
- Mediciones de corriente directa y alterna, tensión directa y alterna, resistencias a 2-hilos y 4-hilos, frecuencia, periodo, continuidad y pruebas de diodos.
- Medidor de capacitancia y temperatura
- Amplia medición de rangos diferentes.
- Adquisición de datos para 50.000 lecturas en memoria no volátil
- Disparo por nivel analógico
- Pre/post disparo programable

#### **4.1.1.3 *Expansión de puertos seriales tipo RS232.***

- Conexión a PC tipo USB
- 4 canales RS232

#### **4.1.1.4 *Computador personal***

Procesador Intel Core 2 Duo E2180

- 2GB de memoria RAM
- 6 Puertos USB 2.0
- 1 Puerto Serial

Como se mencionó se diseñaron módulos adicionales para complementar las funciones del sistema. Las características de estos módulos se detallarán más adelante.

#### **4.1.2 Descripción del funcionamiento del hardware del SAP**

A continuación se describen los detalles de cada una de las partes que constituyen el sistema de automático de pruebas diseñado

##### **4.1.2.1 *Multímetro Digital Agilent 34410A***

El multímetro tiene por objeto la medición de tensión DC, corriente DC y frecuencia, en distintos lugares de la UBP.

Uno de los objetivos principales de este proyecto es lograr la automatización de las pruebas, y el multímetro tiene la limitación de que solo cuenta con dos canales distintos de medición en el panel frontal. Por lo que fue necesario el diseño de un multiplexor analógico para incrementar el número de canales del equipo.

Otro punto a tomar en cuenta es que la medición de corriente se realiza en otro canal del multímetro, con el inconveniente que unos de los canales (LO) se comparte con el de tensión, por lo que una mala conexión podría ser riesgoso, se podría causar un corto circuito. Para evitar esta situación se usa los canales ubicados

en el panel posterior del multímetro, esto con el objeto de desacoplar físicamente las mediciones de tensión y de corriente y así evitar riesgos.

#### **4.1.2.2 *Multiplexor analógico***

Dada la cantidad de pruebas necesarias, se determinó que ocho canales diferenciales son suficientes para realizarlas de manera automática, por lo que se diseñó un dispositivo con este número de canales.

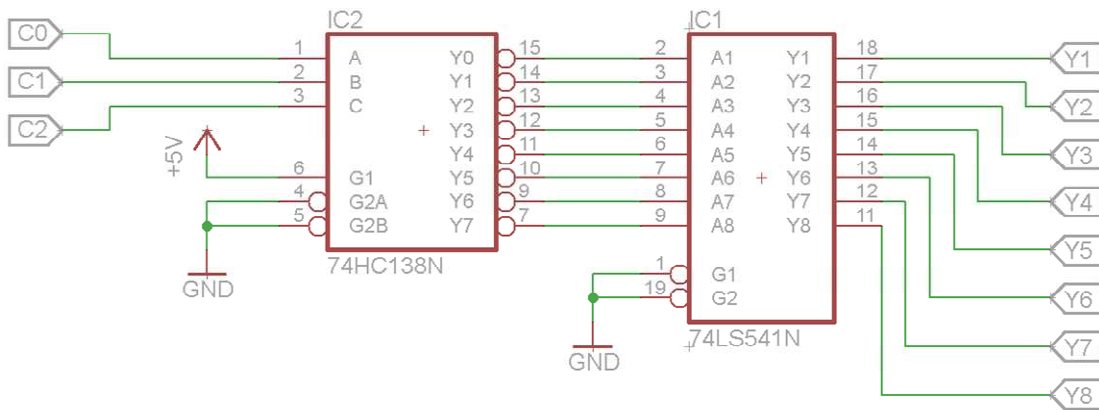
Cada canal es seleccionado por medio de un direccionamiento binario de tres bits. Este direccionamiento va a ser controlado por medio de las rutinas del software del SAP y el módulo de adquisición de datos USB-2537. Este código binario maneja un decodificador de tres entradas binarias y ocho salidas mutuamente excluyentes, de manera que sólo se pueda realizar la medición de un sólo canal diferencial a la vez.

Estas ocho salidas controlan a un arreglo de dieciséis relés SPST, dos por cada canal diferencial. La entrada de control de estos dispositivos es compatible con señales tipo TTL.

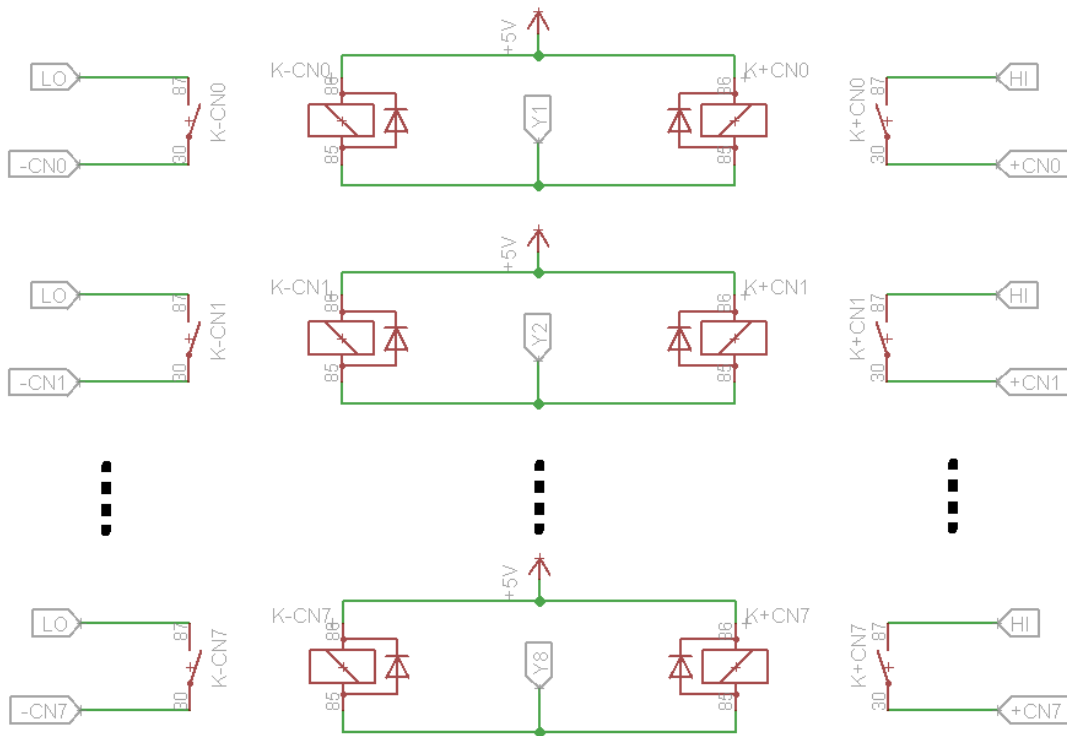
Se agregó a cada salida del decodificador un “driver” de línea para asegurar que la corriente sea suficiente para activar los relés.

La etapa de selección de canales y de relés son presentadas por la figura 6 y 7.





**Figura 6 Multiplexor Analógico. Etapa de selección de canales.**



**Figura 7 Multiplexor Analógico. Etapa de relés.**

#### 4.1.2.3 Bornera de conexiones

Cada canal diferencial de medición está conectado a una bornera compuesta por bloques terminales. De esta manera cada punto de medición de la UBP (Puntos de Prueba) se puede conectar a través de un cable que se conecta al punto de prueba y

se fijan al bloque terminal mediante tornillos, los cuales, como se ha mencionado, están conectados a los puntos de medición.

#### **4.1.2.4 *Módulo de adquisición de datos USB2537***

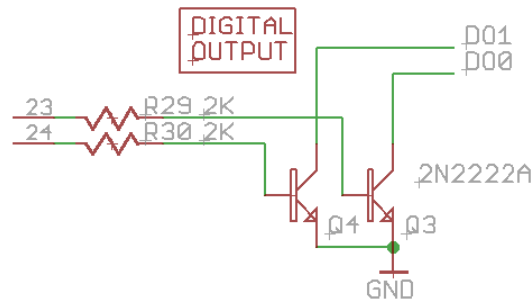
Esta tarjeta tiene múltiples funciones en el SAP, como son las tareas de control de los dispositivos que integran al SAP y tareas de pruebas en la UBP.

Como ya se hizo referencia anteriormente, se utilizan tres señales digitales de salida para la selección de canales del multiplexor analógico.

El Módulo de adquisición de datos se conecta también a la UBP para la detección de señales digitales (salidas digitales de la UBP) y la generación de sus entradas analógicas y digitales.

#### **4.1.2.5 *Detección de señales digitales (Canales Digitales de entrada del módulo)***

El software de control configura a uno de los puertos digitales del módulo de adquisición de datos USB2537 como entrada de manera de verificar el funcionamiento de las salidas digitales de la UBP, las cuales se muestran en el circuito de la figura 8. Como se puede observar, estas salidas están dispuestas en una topología de colector abierto, por lo que se agregó una resistencia de *PullUp* en cada una de las entradas digitales de la Módulo de adquisición de datos, de manera de detectar los estados de los transistores Q4 o Q3 (saturación o abierto) pertenecientes a la UBP. En la figura 8 se muestra el circuito interno de salidas digitales de la UBP.



**Figura 8 Salidas digitales de la UBP**

#### **4.1.2.6 Generación de señales digitales (Canales Digitales de salida del módulo)**

La generación de señales digitales por parte del SAP tiene por objeto la verificación de la funcionalidad de los canales de entrada digitales de la UBP. El equipo *μLogger 3* (UBP) puede ser configurado para que sus canales de entradas digitales funcionen como detección de un contacto seco (detección de eventos) o para la medición de frecuencia de un tren de pulsos aplicados a dichas entradas.

#### **4.1.2.7 Generación de señales para simular contactos secos**

Dos canales de la UBP están diseñados para detectar condiciones de contacto seco, salidas con topologías de colector abierto y señales TTL, siendo los dos primeros los casos más comunes. Por esta razón se utilizó un arreglo de transistores NPN controlados por los puertos digitales de salida de la Módulo de adquisición de datos. En figura 8 se describe el circuito que va entre la Módulo de adquisición de datos y la UBP.

#### **4.1.2.8 Generación de señales para simular trenes periódicos de pulso**

Todos los canales entrada digitales de la UBP puede medir la frecuencia de trenes de pulsos conectados a estos. Para la verificación de estos se han usado los dos

Timers de la Módulo de adquisición de datos, para ello fue necesario realizar el circuito que se muestra en la figura 9.



**Figura 9 Circuito para simulación de contacto seco y trenes de pulso**

#### 4.1.2.9 Generación de señales analógicas (Canales de de salida analógicas del módulo)

La UBP tiene ocho canales analógicos de entrada de 12 bits con una resolución de 1 mV por LSB y otros tres canales de 10 bits con una resolución de 4 mV por LSB. Ambos grupos de canales de 10 y 12 bit tienen un rango de tensión de 0 a 4,096 V.

Por su parte, el módulo de adquisición de datos USB2537 tiene cuatro canales de salida analógicos de dieciséis bits con una resolución de 0,305 mV por LSB, cuando se usa el rango de -12 a 12 V.

Estas cuatro señales de salida (XDACn) del módulo de adquisición de datos USB2537 se conectaron en forma repetida a los canales analógicos de la UBP como se muestra en la Tabla 2. De esta manera se incrementa la posibilidad de detectar posibles corto-circuitos entre canales de la UBP.

**Tabla 2 Distribución de señales de salida analógicas a la UBP**

USB2537	UBP
XDAC0	AN0
XDAC1	AN1
XDAC2	AN2
XDAC3	AN3
XDAC0	AN4
XDAC1	AN5
XDAC2	AN6
XDAC3	AN7
XDAC0	AN8
XDAC1	AN9
XDAC2	AN10

#### ***4.1.2.10 Equipo de expansión de puertos seriales***

La UBP cuenta con tres puertos seriales de control (PC-COM, COM1, COM2) y por último tiene otro puerto serial unidireccional de salida (AUX-COM). Por otra parte el Computador cuenta generalmente con un solo puerto serial. Por esta razón fue necesario incluir un equipo de expansión de puertos seriales. Este equipo posee una conexión del tipo USB con el computador y 4 puertos seriales de uso general.

El direccionamiento de cada puerto se lleva a cabo mediante configuración por software.

#### 4.1.2.11 Módulo de aislamiento óptico

Para evitar lazos de tierra (entre la UBP y el Computador) que comprometan la calidad de las mediciones analógicas es conveniente aislar ópticamente los puertos COM1 y COM2. Para este propósito se diseñó un circuito de aislamiento óptico para cada uno de ellos según se muestra en la figura 10.

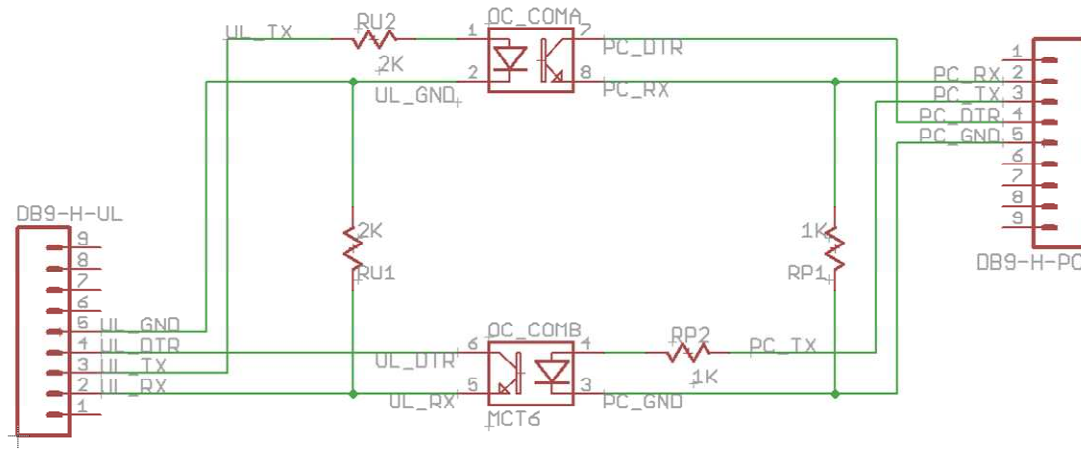


Figura 10 Circuito de aislamiento óptico para puertos seriales

Los dos puertos seriales COM1 y COM2 luego del circuito de aislamiento se conecta a dos puertos del equipo de expansión de puertos por medio de un cable serial tipo *Null-Modem* (conexión cruzada).

Las señales de transmisión y recepción del PC-COM y AUX-COM pasan por un circuito de aislamiento óptico interior a la UBP, por lo que no es necesario un aislador externo.

El puerto PC-COM se conecta directamente al computador a través de un cable serial Macho-Hembra (conexión “pin-a-pin”) al equipo de expansión de puertos.

El puerto AUX-COM se conecta al equipo de expansión de puertos a través de un cable *Null-Modem* (conexión cruzada).

#### **4.1.2.12 Interfaz de conexiones o tarjeta de conexiones**

La interfaz de conexiones es la misma interfaz o tarjeta usada para la UBP en sus aplicaciones, pero esta presenta algunas modificaciones para la realización de las pruebas de entrada analógicas y entradas digitales para la medición de frecuencia. Las demás características de la interfaz no han sido modificada.

## **4.2 Diseño del software**

A continuación se explica el proceso de diseño del software del SAP. Se incluye el proceso de definición del software de control e interfaz de usuario, la descripción de cada uno de las etapas de la secuencia de pruebas, la base de datos y la generación de reportes. Finalmente se explica las funciones básicas del software desde el punto de vista del usuario.

### **4.2.1 Proceso de definición del software del sistema deseado**

El software desarrollado para el SAP tiene por objeto la ejecución de las pruebas de forma secuencial, mostrar al usuario el progreso y resultados la secuencia. Por cada prueba se realiza un conjunto de rutinas relacionadas con el control de los equipos de medición a través de sus drivers. Los resultados de las pruebas por lo general es un grupo de valores obtenidos de los equipos de medición, que son transmitidos al computador y almacenados temporalmente. Al final cuando se han finalizado todas las pruebas se almacena en una base de datos los resultados y características de la misma.

#### **4.2.1.1 *Leguaje de programación***

Se ha seleccionado como plataforma de trabajo el sistema operativo Windows XP, por la ventaja de obtener con facilidad los drivers de todos los dispositivos que integran el SAP.

Al inicio del proyecto se analizaron varios ambientes de desarrollo, tomando como referencia las características de que en un mismo entorno se pueda controlar todos los dispositivos del SAP, el manejo de base de datos y la creación de la interfaz con el usuario. Se analizaron los paquetes de software de programación: Labview 8.5, Agilent VEE 6.5 y el Visual C#.

El paquete Labview 8.5, cumplía con varias características deseadas. Sin embargo, uno de los problemas encontrados es la integración del software de control de la UBP con Labview, lo que agregaba cierta complejidad al desarrollo del proyecto. Adicionalmente, la empresa no posee la licencia de este paquete, por lo que era necesario adquirirla incurriendo en un gasto adicional.

El paquete Agilent VEE 6.5 es una herramienta de programación gráfica diseñada especialmente para pruebas en laboratorio, por lo que se adaptaría perfectamente a la aplicación. Una de las ventajas es que la empresa posee la licencia del software. Sin embargo, debido a que esta no es la última versión del paquete, era posible que se presentaran problemas de comunicación con el multímetro digital Agilent 34410A, ya que no existe un driver de comunicación con el dispositivo. Otro problema era el manejo de la base de datos, ya que se debía desarrollar un software externo en otro lenguaje para conectarse a la base de datos.

El paquete Visual C# de Microsoft, tiene una edición “Express” de distribución gratuita, no tiene problemas con los drivers de los equipos de medición y continuamente hay actualizaciones de algunos. También presenta la ventaja de poder



programar en distintos sistemas de gestión de base de datos. El software de control de la UBP se desarrollo en “.Net Framework” compatible con el Visual C#.

Finalmente se seleccionó el Visual C# como lenguaje de programación por las ventajas descritas anteriormente. En este se desarrollará todo la estructura de software del SAP, que comprende el control de los equipo de medición, interfaz de usuario, adquisición de datos y gestión de la base de datos.

#### **4.2.1.2 Drivers**

Para manejar el multímetro digital Agilent 34410A se hace uso de los drivers para “.NET Framework” de “IVI Foundation”.

Para el módulo de adquisición de datos USB 2537 se hace uso de los drivers para “.NET Framework” de “Measurement Computing”.

#### **4.2.1.3 Software de control de la UBP**

Se hará uso de una librería previamente desarrollada en “.Net Framework” para el control de la UBP, ya que algunas pruebas requiere de activar ciertas funciones para determinar la operatividad de la misma.

#### **4.2.1.4 Base de Datos**

Se ha seleccionado a MySQL como el gestor de base de datos, debido a que es de licencia libre mientras el software no sea comercial, tiene su propia librería para “.NET Framework” que constantemente recibe mejoras y es usado por empresas muy importantes en todo el mundo gracias a su gran confiabilidad.

#### **4.2.1.5 Generación de reportes**

Se seleccionó el software *Crystal Report* para generar los reportes de resultados de las pruebas en formato PDF o impresos.

Estos resultados pueden ser generados en cualquier momento después de realizadas las pruebas, ya que estos se realizan bajo consulta directa a la base de datos.

### **4.2.2 Descripción de funcionamiento del software**

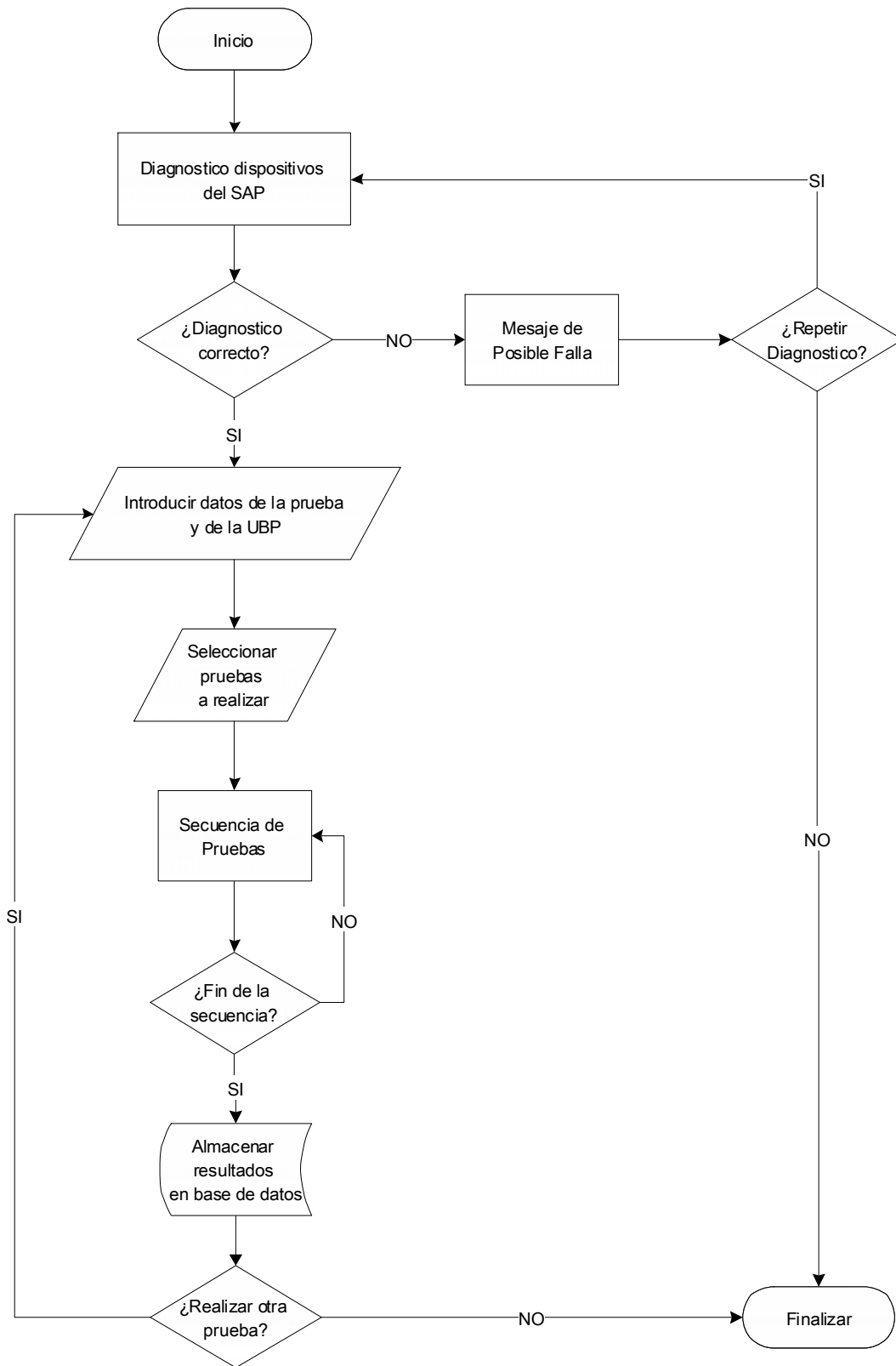
#### **4.2.2.1 Funcionamiento general del SAP**

Al iniciar el software se realiza un diagnostico de todos los equipos que integran al SAP. En caso de falla se presenta al usuario la razón posible de la falla y la opción de volver a repetir el diagnostico o salir del software.

Luego el usuario debe colocar los datos que describen la prueba y la UBP. A continuación se presentan las pruebas a realizar y el usuario tiene la opción de seleccionar cuales se realizaran. Al finalizar la selección se iniciará la secuencia de pruebas, la cual por defecto se repetirá tres veces, de manera de realizar las mismas pruebas sobre la UBP pero en distintos momentos.

Al terminar las pruebas se almacena en la base de datos los resultados y se presenta un informe al usuario de estos. Por último el usuario podrá volver a realizar las pruebas con una unidad nueva o la misma.

En la figura 11 se describe en un diagrama de flujo el funcionamiento general del SAP.



**Figura 11 Funcionamiento general del software.**

#### **4.2.2.2    *Secuencia de pruebas***

Como ya se describió en el tema anterior la secuencia de pruebas depende de un listado de pruebas definida en la base de datos. En la Tabla 3 se describe el listado de pruebas por defecto.

La ejecución de cada prueba dependerá del dispositivo de hardware del SAP de la cual el software controlará para la realización de ésta, aunque, como se verá más adelante hay pruebas en las que se combina uno o más dispositivos del SAP para la ejecución de la prueba.

En la Tabla 3 de la página siguiente se presenta la relación de las distintas pruebas por orden de ejecución, el dispositivo predominante del SAP a controlar y el tipo de prueba.

**Tabla 3 Listado de pruebas y dispositivo relacionado para su ejecución**

<b>Nombre</b>	<b>Dispositivo</b>	<b>Tipo</b>
Pulsador/Buzzer/LEDs	Manual	Inspección visual y mecánica de la UBP
PC-COM	Comunicaciones	Comunicación Serial
Corriente de <i>StandBy</i>	MMD	Corriente DC
Corriente de Operación	MMD	Corriente DC
Tensión de 5Vdc	MMD	Tensión DC
Frecuencia RTC	MMD	Frecuencia
Tensión de 3,3 Vdc	MMD	Tensión DC
Tensión de Referencia ADC	MMD	Tensión DC
VBAT vs VB con VBS Inactivo	MMD_Dif.	Comparación de tensiones DC
Tensión Conmutada Apagada	MMD	Tensión DC
VBAT vs VBS con VBS Activo	MMD_Dif.	Comp. de tensiones DC
VBAT vs VB con VBS Activo	MMD_Dif.	Comp. de tensiones DC
VBAT vs VBS (VBS Activo y con carga)	MMD_Dif.	Comp. de tensiones DC
VBAT vs VB (VBS Activo y con carga)	MMD_Dif.	Comp. de tensiones DC
Tensión de referencia	MMD_Dif.	Comp. de tensiones DC
COM1	Comunicaciones	Comunicación Serial
COM2	Comunicaciones	Comunicación Serial
Sincronizar Hora	UBP	Comandos a la UBP
Salida Digital DO0	MAD	Módulo de adquisición de datos
Salida Digital DO1	MAD	Módulo de adquisición de datos
Adquisición	UBP_ADQ	Adquisición

La secuencia de pruebas que se realiza sobre la UBP se puede repetir varias veces, se ha configurado por defecto que sean tres repeticiones y si es necesario se puede configurar por la base de datos para realizar hasta 10 repeticiones.

Antes de iniciar la ejecución de todas las pruebas, se inicializan todos los dispositivos de medición y control del hardware del SAP, en caso de presentarse una falla se cancela todo el conjunto de pruebas sobre la UBP.

Si todas las inicializaciones de los dispositivos se realizan correctamente, se procede a la medición de la alimentación conectada a la UBP, esta se verifica que este entre 11 y 14 V para continuar con la ejecución de las pruebas. En caso contrario se cancelará el conjunto de pruebas.

Al verificar que todo el sistema está en capacidad de realizar las pruebas, se procede con la primera ejecución de la secuencia de pruebas, basada en el listado almacenado en la base de datos, descrito en la Tabla 3.

Seguidamente se entra en un ciclo donde se va seleccionando una prueba de la lista según el orden preestablecido en el mismo listado. Luego se determina cuál dispositivo usa la prueba, según el valor de la columna “Dispositivo” de la Tabla 3. Cada uno de estos dispositivos se explicara al detalle más adelante.

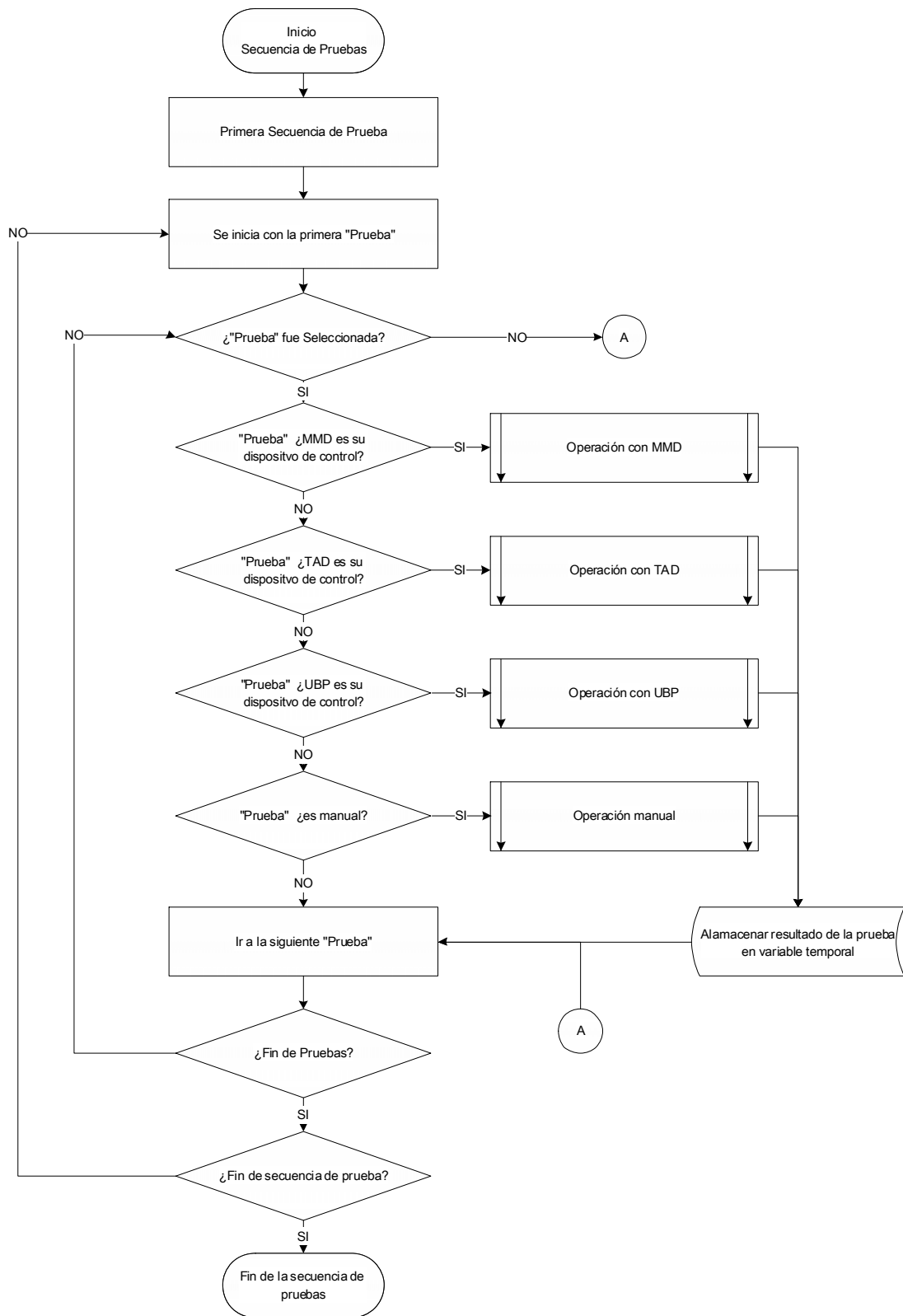
Es importante resaltar que cada prueba de la lista contiene información detallada de configuración, de forma de asegurar así que cada prueba sea única.

El ciclo finaliza hasta que se hayan realizado todas las pruebas del listado. Es posible que algunas pruebas no se realicen si el usuario antes de iniciar la secuencia de pruebas desactiva la ejecución de algunas. También se puede finalizar el ciclo de pruebas a juicio del operador.

Al finalizar el ciclo que recorre el listado de pruebas, éste se volverá a repetir por defecto dos veces más, de manera de repetir una misma prueba varias veces en momentos distintos, asegurando así la confiabilidad de los resultados.

Al finalizar las tres ejecuciones de la misma secuencia de pruebas, se procede a almacenar toda la lista de resultados obtenidos de cada prueba individual.

En la figura 12 de la página siguiente se describe en un diagrama de flujo la realización de la secuencia de prueba, en función de los dispositivos a controlar.



**Figura 12 Diagrama de flujo de la secuencia de pruebas.**



### **4.2.3 Base de datos del sistema automático de pruebas**

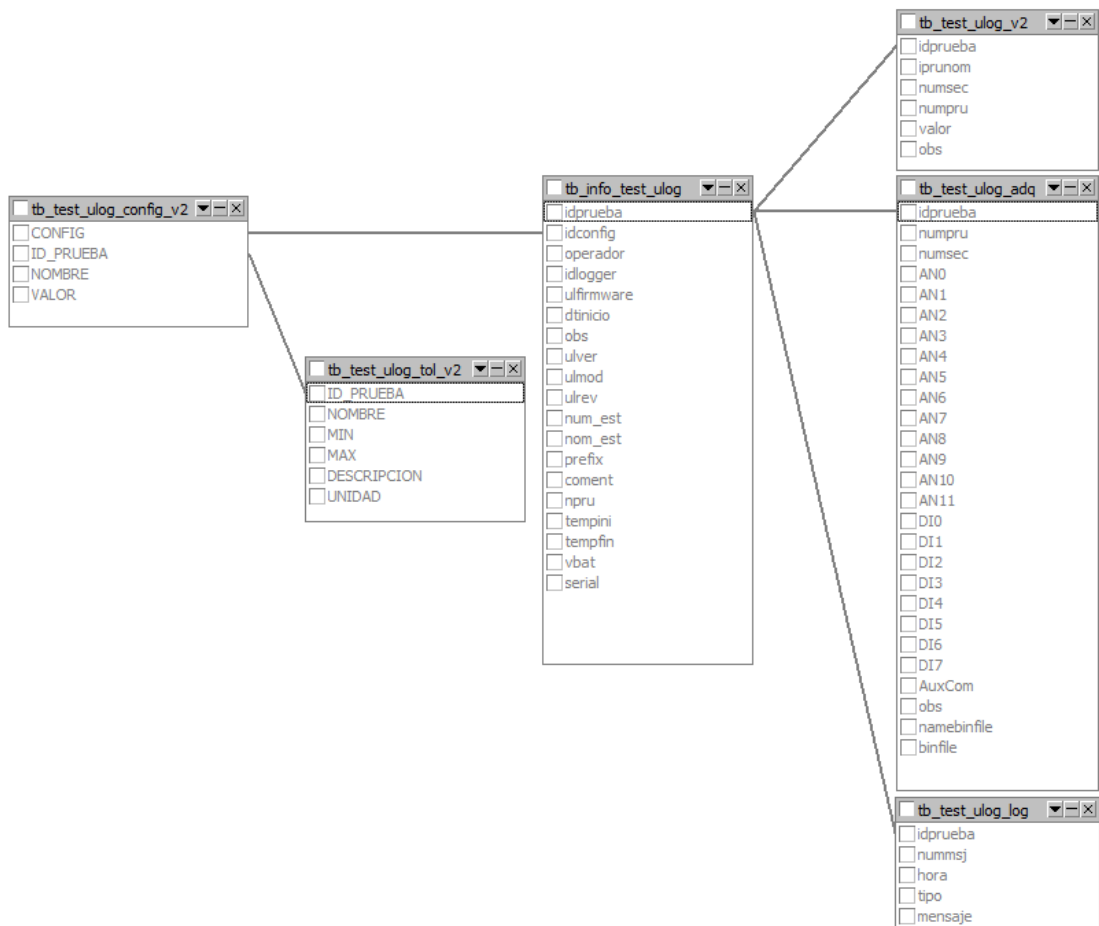
Una base de datos es un conjunto de datos almacenados que se pueden acceder fácilmente y con la posibilidad de ser ordenados. Esta está compuesta por una o más tablas que a su vez se dividen en registros y campos. Siendo los registros las filas y los campos las columnas de las tablas. Estos campos definen el tipo de datos que se almacena.

La base de datos del sistema es de vital importancia, ya que en ella se almacenarán todos los resultados de las pruebas. Con esta información almacenada en forma organizada y fácilmente accesible, no solo se facilitará la generación de reportes de resultados, sino que se podría utilizar para hacer seguimiento a las unidades, verificar características por lotes de producción y mejorar los rangos de especificaciones mediante análisis estadísticos.

Para este proyecto se ha seleccionado el sistema de administración de bases de datos MySQL debido a la facilidad de integración con el lenguaje de programación usado. También tiene las ventajas de que es muy popular a nivel mundial por ser de código abierto, gratuito y su soporte en gran variedad de sistemas operativos, lo que garantiza a corto y mediano plazo el acceso a los datos.

### **4.2.4 Estructura de la base de datos**

La estructura de la base de datos está conformada por una serie de tablas definidas para el almacenamiento de la información que se genera por cada prueba. A continuación se explican las tablas más importantes y los campos que las integran. Estas tablas están relacionadas entre sí para mantener la consistencia de los datos que se almacenan. En la figura 13 se puede observar esta estructura.



**Figura 13 Estructura de la base de datos del SAP**

A continuación se explican las tablas que integran la base de datos.

#### **4.2.4.1 Tabla *tb\_info\_test\_olog***

Es la tabla central de la base de datos, ya que en esta se registra la información de identificación de cada prueba. Está compuesta por varios campos, donde el principal es un ID único (idprueba) que relaciona otras tablas con respecto a esta, también la información de identificación de cada UBP y otros datos que tienen por objeto identificar cuándo y quién realizó la prueba.

#### **4.2.4.2 Tabla *tb\_test\_olog\_config\_v2***

Esta tabla contiene de forma general la configuración de cada prueba. Ha sido diseñado con el objeto de lograr el escalamiento futuro del SAP. Esto se puede lograr agregando nuevos registros en la tabla y cumpliendo con ciertas reglas, lo que permitiría la ejecución de nuevas pruebas en el software del SAP, sin la necesidad de agregar nuevas líneas de código en el programa del SAP.

#### **4.2.4.3 Tabla *tb\_test\_olog\_tol\_v2***

Esta tabla contiene los registros correspondientes a los umbrales máximos y mínimos permitidos por cada prueba. Esta tabla está relacionada directamente a la tabla de configuración *tb\_test\_olog\_config\_v2*.

Contiene el registro de resultados de todas las pruebas, a excepción de la prueba de adquisición. La tabla está relacionada directamente con la tabla principal (*tb\_info\_test\_olog*) por medio del ID único (*idprueba*).

#### **4.2.4.4 Tabla *tb\_test\_olog\_adq***

Durante la prueba de adquisición se genera muchísima información a analizar a diferencia de las otras pruebas. Esta información contiene los valores analógicos y digitales generados aleatoriamente por el SAP para comprobar las mediciones realizadas por la UBP, para ello se almacena el archivo binario generado esta.

La tabla está relacionada directamente con la tabla principal (*tb\_info\_test\_olog*) por medio del ID único (*idprueba*).

#### **4.2.4.5 Tabla *tb\_test\_ulong\_log***

Contiene el registro de eventos generado por el software del SAP durante cada prueba. La tabla está relacionada directamente con la tabla principal (*tb\_info\_test\_ulong*) por medio del ID único (*idprueba*).

#### **4.2.5 Generación de reportes**

Los reportes generados por el Sistema están basados en la información almacenada en la base de datos. Se diseñó una hoja de reportes con la información más relevante que resume las pruebas que se le realizaron a una UBP en particular y sus resultados. Este formato pudiera cambiar a futuro si fuera necesario.

En la figura 14 de la página siguiente se muestra un ejemplo de hoja de reporte generada por el software del SAP.


 <b>Tecnum Electrónica C.A.</b>	Prueba Funcional TE002116		Ingeniería				
	Nombre del Documento		Departamento				
	PF-120116182908-83		Resultados Prueba Funcional µLogger 3				
Código del Documento		Tipo de Documento					
<b>Datos de la Prueba Funcional</b>			<b>Datos de la Unidad Bajo Prueba</b>				
Fecha y hora de inicio	16/01/2012 18:29		Equipo	µLogger 3			
Código de prueba	120116182908		Serial	TE002116			
Protocolo de pruebas	4		Firmware	110215-01			
Operador	Luis Santana		Versión	3			
Duración de prueba			Revisión	2			
Temperatura ini. / final	24,4 °C / 24,4 °C		Modelo	1			
Tensión de batería	12,7 V						
<b>Resultados</b>							
Nombre de Prueba	Unid.	1ra	2da	3ra	Resultado	Min. Val.	Max. Val
Pulsador/Buzzer/Leds		PASA	PASA	PASA	PASA	NA	NA
PC-COM		PASA	PASA	PASA	PASA	NA	NA
Corriente de entrada en standby	µA	57,611	57,526	57,491	PASA	45,000	120,000
Corriente de Operación	mA	6,108	6,106	6,106	PASA	1,000	12,000
Tensión de 5Vdc	V	5,026	5,026	5,026	PASA	4,950	5,050
Frecuencia RTC	Hz	32768,51	32768,51	32768,51	PASA	32767,20	32768,80
Tensión de 3.3Vdc	V	3,283	3,283	3,283	PASA	3,275	3,340
Tensión de Referencia ADC	V	4,0961	4,0961	4,0961	PASA	4,0955	4,0965
VBAT vs VB con VBS Inactivo	mV	106,297	105,739	105,427	PASA	100,000	300,000
Tensión Suichada Apagada	µV	128,504	98,387	131,120	PASA	0,000	200,000
VBAT vs VBS con VBS Activo	mV	192,563	192,117	191,895	PASA	100,000	300,000
VBAT vs VB con VBS Activo	mV	192,610	192,163	191,983	PASA	100,000	300,000
VBAT vs VBS (VBS Activo y con carga)	mV	397,610	397,181	396,963	PASA	300,000	600,000
VBAT vs VB (VBS Activo y con carga)	mV	404,048	403,851	403,782	PASA	300,000	600,000
Tensión de referencia	µV	175,290	147,300	146,100	PASA	-500,000	500,000
COM1		PASA	PASA	PASA	PASA	NA	NA
COM2		PASA	PASA	PASA	PASA	NA	NA
Sincronizar Hora	NA	PASA	PASA	PASA	PASA	NA	NA
Salida Digital DO0		PASA	PASA	PASA	PASA	NA	NA
Salida Digital DO1		PASA	PASA	PASA	PASA	NA	NA
Adquisición		PASA	PASA	PASA	PASA	NA	NA
<b>Conformidad de los resultados:</b>					<b>PASA</b>		
<b>Observaciones de la prueba:</b>							
Prueba despues de la pasar por la Cámara Climática							
<b>Observaciones Generales:</b>							
<ul style="list-style-type: none"> <li>- En la columna de Resultado "PASA" o "NO PASA" determina si el equipo funciona correctamente dentro del rango de especificaciones técnicas.</li> <li>- Para las columnas 1ra, 2da y 3ra prueba "PASA" y "NO PASA" es el resultado de una respuesta que no involucra una medición intrínseca.</li> <li>- Las columnas "Min. Val" y "Max. Val." contienen los valores mínimos y máximos del rango de especificaciones técnicas aceptables.</li> <li>- El término "NA" significa no aplica.</li> </ul>							
<b>Equipos utilizados en la prueba:</b>							
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Multímetro Agilent 6 ½ Dígitos, Modelo 34410A, Serial: MY47002654</li> <li>- Tarjeta DAQ Measurement Computing, Modelo USB-2537, Serial: 307268</li> </ul>							
					Operador: Luis Santana		

Figura 14 Ejemplo de Reporte de una Prueba

#### 4.2.6 Descripción de funcionamiento del software y su interfaz hombre-máquina

El software del SAP posee una interfaz gráfica amigable que permite que un operador con un mínimo de entrenamiento sea capaz de realizar las pruebas necesarias a una UBP de manera de comprobar en forma confiable su desempeño.

En la figura 15 se muestra la pantalla inicial donde se presenta un formulario de los datos correspondientes a la prueba y la UBP (*μLogger*).



The screenshot shows a window titled "Inicio de prueba al μLogger" with a light blue header. The form is divided into two main sections: "Datos de la prueba" and "Datos del μLogger".

Datos de la prueba	
Código de la Prueba	
Nombre del Operador	Luis Santana
Observaciones sobre las Pruebas	

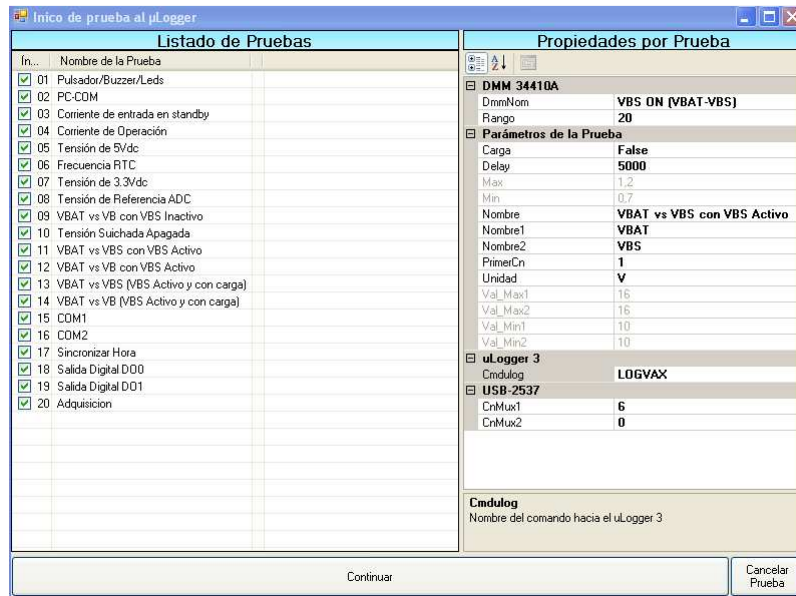
  

Datos del μLogger	
Serial del uLogger 3.x	0005
Código de Estación	0005
Firmware	090121-01
Nombre de Estación	5
Versión	01
Prefijo para Archivos	ULxx
Comentarios en el uLogger	
Ver:01 Mod:03 Rev:00 090121-01	

At the bottom of the form is a button labeled "Iniciar Prueba".

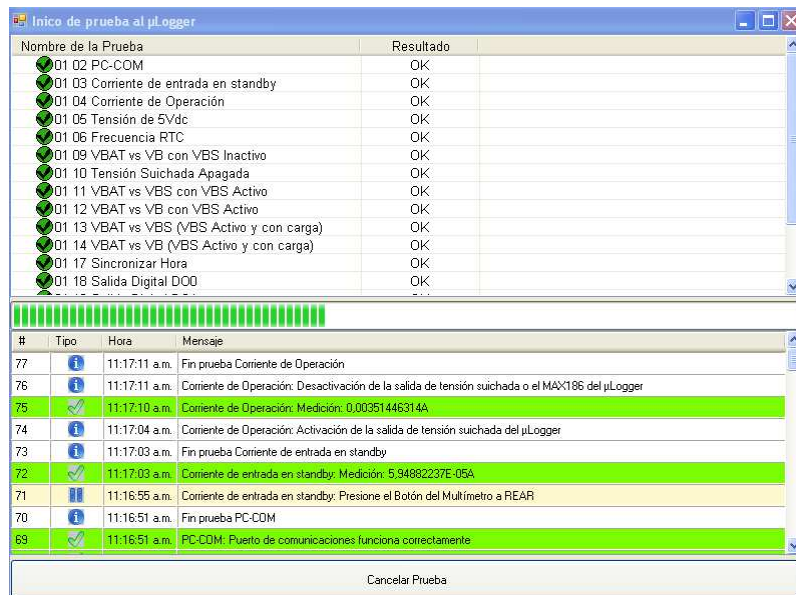
**Figura 15 Formulario de datos de la prueba y la UBP (*μLogger*)**

Al introducir los datos, el programa presenta una nueva pantalla (figura 16) donde el usuario podrá seleccionar y configurar las pruebas a realizarse sobre la UBP. El listado de pruebas es similar al presentado previamente en la Tabla 3.



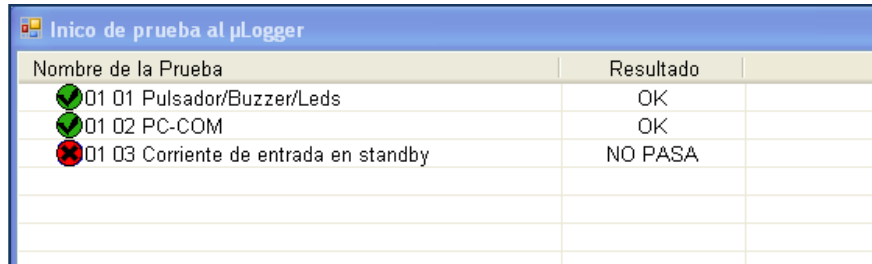
**Figura 16** Pantalla para la selección y configuración de pruebas

A continuación se inicia la secuencia automática de pruebas. Estas consisten en una pantalla donde se presenta el resultado de cada prueba, y un listado de eventos de lo que ocurre en el SAP. En la Figura 17 se muestran algunas de las pantallas obtenidas en el uso del software.



**Figura 17** Capturas de pantalla durante el uso del software del SAP

En caso de producirse una prueba fallida se mostrará el resultado “No Pasa”, como se puede observar en la figura 18.



Nombre de la Prueba	Resultado
01 01 Pulsador/Buzzer/Leds	OK
01 02 PC-COM	OK
01 03 Corriente de entrada en standby	NO PASA

**Figura 18 Ejemplo de una prueba que "No Pasa"**

En el software existe una situación especial en donde se asiste al usuario para realizar el ajuste del convertidor analógico a digital (ADC) de la UBP. En la siguiente figura 19 se puede observar un ejemplo de la pantalla que se presenta.



**Figura 19 Pantalla de asistencia para el ajuste del ADC de la UBP**

Al finalizar la secuencia de pruebas se muestra en pantalla la información de la prueba y la UBP, combinada con los resultados y mensajes de eventos de todas las pruebas. En ese momento el usuario podrá escribir todas las observaciones que desee y finalmente almacenar los resultados y el listado de eventos de toda la secuencia de pruebas, por medio del un botón de salvar en base de datos.



### **4.3 Pruebas y análisis**

Durante todo el desarrollo del sistema automático de pruebas (SAP) se verificó de forma individual cada prueba que este realiza, de forma de comprobar que los resultados obtenidos fueran correctos y así evitar falsas aprobaciones de equipos defectuosos.

Otra forma de comprobar el funcionamiento del SAP fue provocar fallas controladas a unidades funcionales, de forma de verificar que el SAP encontrara defectuosa a la unidad y que coincidiera con la prueba esperada a reportar como fallida.

Finalmente a partir de los registros almacenados en la base de datos se tomará un grupo de unidades reportes de unidades "No Aprobadas", es decir, defectuosas, y se describirá la relación entre la prueba no aprobada y la falla que luego fue detectada en el equipo.

### **4.4 Pruebas funcionales**

Las pruebas funcionales del sistema SAP se determinaron mediante la simulación de cada una de las condiciones que verifica el Sistema, de manera de confirmar que el Sistema detecta correctamente esta condición, bien sea de simple medición, como de aprobación o desaprobación, dependiendo de los valores límites almacenados en la base de datos.

Este es un proceso que fue llevado a cabo durante el desarrollo de cada una de las pruebas descritas en este trabajo, de manera de determinar que tanto el hardware como el software funcionaban adecuadamente.

## 4.5 Ejemplos de resultados obtenidos

A continuación se presentan 2 casos reales de fallas detectadas con el SAP durante el proceso de control de calidad de un lote verificado tanto en forma manual como usando el sistema.

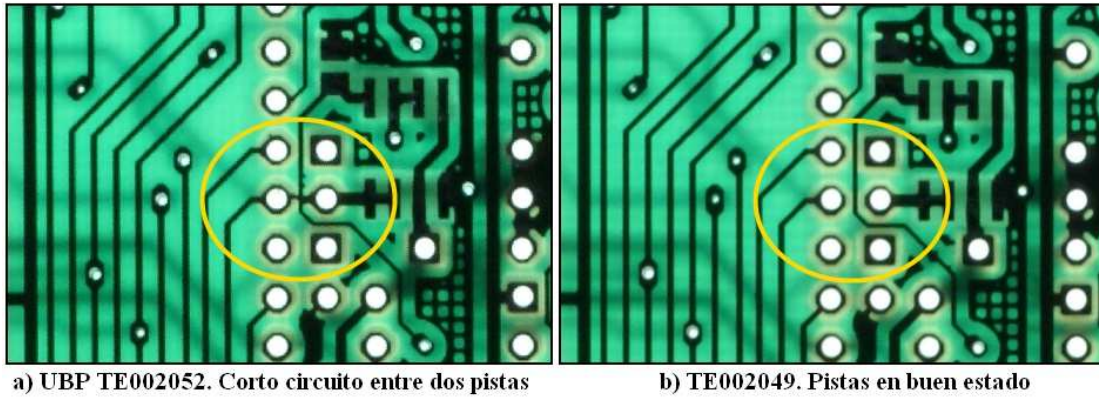
### 4.5.1 Caso 1, Cortocircuito en una pista provoca alto consumo en la UBP

Por medio del SAP se detectó una falla de alto consumo de corriente en la UBP con serial TE002052, como se observa en el reporte mostrado en la figura 20. Esta falla es detectada en dos pruebas “Corriente de entrada en StanBy” y “Corriente de Operación”.

Resultados				
Nombre de la prueba	Resultado 1	Resultado 2	Resultado 3	Resultado Final
Pulsador/Buzzer/Leds	PASA	PASA	PASA	PASA
PC-COM	PASA	PASA	PASA	PASA
Corriente de entrada en standby	1,789mA	1,787mA	1,789mA	1,788mA
Corriente de Operación	12,872mA	12,886mA	12,931mA	12,896mA
Tensión de 5Vdc	5,000V	4,999V	5,000V	5,000V
Frecuencia RTC	32767,586Hz	32767,581Hz	32767,582Hz	32767,583Hz
Tensión de 3.3Vdc	3,322V	3,321V	3,319V	3,320V

**Figura 20 Reporte de la UBP TE002052**

En la figura 21 se observa la imagen de la tarjeta de circuito impreso tomada antes del ensamblaje de la misma. En ella se observa un corto circuito que no fue detectado durante la inspección visual de la misma y que era el causante del problema.



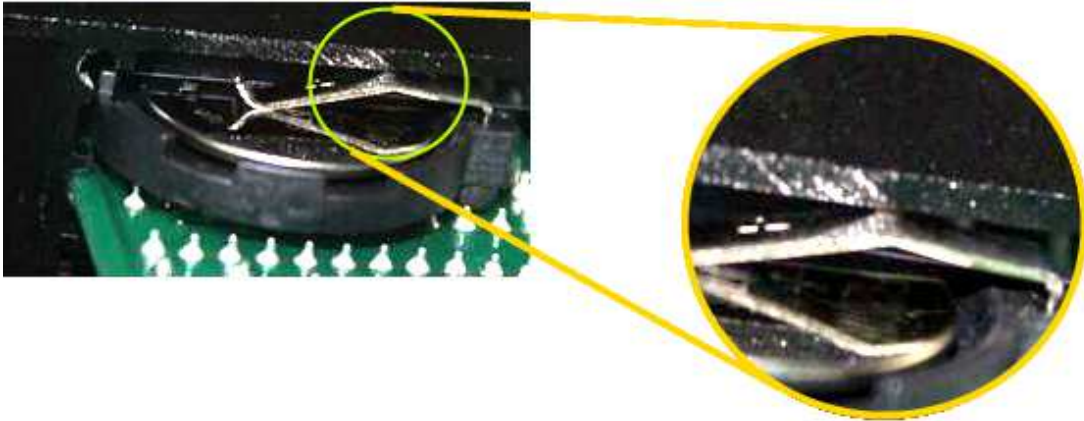
**Figura 21 Comparación del PCB de la UBP defectuosa**

Al corregir el problema del cortocircuito, el problema de consumo fue resuelto. Con esta experiencia se constata la utilidad de almacenar las imágenes de las tarjetas de Circuito Impreso que se toman durante la inspección visual como una forma de complementar la cadena de control de calidad que lleva la elaboración de cada unidad.

#### **4.5.2 Caso 2. Falla del reloj de tiempo real (RTC)**

En esta oportunidad se contaba con una unidad cuyo funcionamiento del RTC fallaba al quitar la alimentación de la misma. Originalmente, la condición hacía pensar que se trataba de una batería de litio que se encontraba descargada o con una pista dañada. Al final se detectó que el problema residía en un cortocircuito entre el conector de la batería y el chasis del equipo, lo que conllevó a un rediseño para evitar este potencial problema en otras unidades.

En la figura 22 se observa el detalle del problema.



**Figura 22 Terminal Positivo de Batería de litio toca carcasa de la UBP**

## CONCLUSIONES

En primer lugar el desarrollo del Sistema detallado en el presente trabajo representa una solución al problema de Control de Calidad de unidades en su etapa final de producción. El Sistema descrito representa una mejora considerable en relación a métodos manuales que incluyen, velocidad de ejecución, robustez del protocolo de pruebas, y confiabilidad de los resultados. Todo esto redundando en equipos más confiables, menor costo de producción y mejor aprovechamiento del personal involucrado.

También representa una mejora en la organización y almacenamiento de resultados, ya que los mismos pueden ser revisados en cualquier momento de una manera sencilla con solo suministrar el serial del equipo.

Los ensayos realizados demuestran que el diseño de las pruebas ha sido pertinente en el sentido que realmente se han detectado problemas en laboratorio que eventualmente habrían causado problemas de operación en campo.

El SAP está construido como una unidad que incluye los componentes necesarios en una sola estructura, lo que hace sencillo su movilidad y almacenamiento, a la vez que se disminuyen eventuales problemas de desconexiones indeseadas.

La unidad también permite que algunos de sus componentes (como el MMD y MAD) puedan ser desmontados y remontados en forma sencilla en caso de ser requerido en otra aplicación.

Finalmente, el diseño del sistema permite que el mismo sea adaptable a futuras versiones del equipo de adquisición de datos  ***$\mu$ Logger 3***, así como a otros equipos similares producidos por la empresa.

## **RECOMENDACIONES**

Si bien el sistema desarrollado ha sido de gran utilidad, el mismo puede ser mejorado. Entre las mejoras se pueden incluir las siguientes.

Eliminar la necesidad de uso del MMD haciendo uso de más canales del MAD y usando técnicas que permitan mejorar la resolución de la misma. También se pudieran utilizar MAD de mejor resolución, lo cual implicaría un costo adicional, que pudiera ser considerado en un futuro.

Disminuir el tamaño de la estructura del sistema. Esto puede ser una consecuencia directa de la eliminación del MMD y de la optimización en el uso del espacio interno del sistema. Un sistema más pequeño y ligero permite una mejor movilidad y es más fácil de ubicar en el mesón de trabajo del operador.

## REFERENCIAS

JOHN P. BENTLEY. Principles of Measurement System. 4ta Ed. Malasia: Prentice Hall, 2005.

PETER SYDENHAM (EDITOR), RICHARD THORN (EDITOR). Handbook of Measuring System Design. 1ra Ed. Estados Unidos: John Wiley & Sons, 2005.

STEPHEN F. SCHEIBER. Building Successful Board-Test Strategy. 2da. Ed. Estados Unidos: Newnes, 2001.

MÁRQUEZ, IVÁN. Diseño de una unidad de adquisición de datos para estaciones hidrometeorológicas de superficie, adaptadas a las necesidades del país. Escuela de Ingeniería Eléctrica de la UCV./ Iván Carlo Márquez Zarzalejo (Tesis). – Caracas: Universidad Central de Venezuela, 2010.



## **ANEXOS**