



ESPE

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIA A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TEMA: DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN
DE CALIBRADORES DE CRONÓMETROS DIGITALES CON
LA TÉCNICA DE INDUCCIÓN Y PROCESAMIENTO DE
IMÁGENES PARA EL CENTRO DE METROLOGÍA DE LA
FUERZA TERRESTRE.**

**AUTORES: NOBOA COBO, JORGE EDUARDO
CÁRDENAS RUANO, SANTIAGO GABRIEL**

DIRECTOR: ING. TIPÁN CONDOLO, EDGAR FERNANDO

**SANGOLQUÍ
2016**



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, ***“DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE CALIBRADORES DE CRONÓMETROS DIGITALES CON LA TÉCNICA DE INDUCCIÓN Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES PARA EL CENTRO DE METROLOGÍA DE LA FUERZA TERRESTRE”*** realizado por los señores ***SANTIAGO GABRIEL CÁRDENAS RUANO*** y ***JORGE EDUARDO NOBOA COBO***, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores ***SANTIAGO GABRIEL CÁRDENAS RUANO Y JORGE EDUARDO NOBOA COBO*** para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 27 de Abril del 2016

ING. TIPÁN CONDOLO EDGAR FERNANDO

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **SANTIAGO GABRIEL CÁRDENAS RUANO**, con cédula de identidad N°1002990073 y **JORGE EDUARDO NOBOA COBO** con cédula de identidad N°1713242715, declaramos que este trabajo de titulación **“DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE CALIBRADORES DE CRONÓMETROS DIGITALES CON LA TÉCNICA DE INDUCCIÓN Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES PARA EL CENTRO DE METROLOGÍA DE LA FUERZA TERRESTRE”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 27 de Abril del 2016

CÁRDENAS RUANO SANTIAGO GABRIEL

C.C. 1002990073

NOBOA COBO JORGE EDUARDO

C.C. 1713242715



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORIZACIÓN

Yo, **SANTIAGO GABRIEL CÁRDENAS RUANO** y **JORGE EDUARDO NOBOA COBO**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE CALIBRADORES DE CRONÓMETROS DIGITALES CON LA TÉCNICA DE INDUCCIÓN Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES PARA EL CENTRO DE METROLOGÍA DE LA FUERZA TERRESTRE**” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 27 de Abril del 2016

CÁRDENAS RUANO SANTIAGO GABRIEL

C.C. 1002990073

NOBOA COBO JORGE EDUARDO

C.C. 1713242715

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado especialmente a mi familia que siempre creyó en mí en todo momento y siempre con sus palabras de aliento supo ayudarme a salir adelante en esta meta que me he propuesto.

Gabriel Cárdenas

Dedico este trabajo a mis padres, mi esposa, mi hermana y mi hija por su apoyo incondicional, por sus palabras, por sus horas de desvelo, por aliento constante y por creer en mí. Dios les bendiga hoy y siempre

Jorge Noboa C.

AGRADECIMIENTO

El presente proyecto de investigación, me gustaría agradecer primeramente a Dios por darme la oportunidad de culminar mi más alto anhelo el de obtener el Título de Ingeniero Electrónico en la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, agradecer igualmente alma mater del estudio Universitario la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, quien desde mi llegada a este instituto sembró en mí, esa semilla de liderazgo, éxito y compromiso social para revertir los conocimientos por ella entregada a mí desde sus aulas en beneficio de la sociedad ecuatoriana.

Por qué no agradecer a mi Ejército Ecuatoriano, por la oportunidad que me dio en el 2008 para ingresar a la ESPE, a mis padres y mi hermana por su apoyo incondicional para cumplir esta meta nuevamente planteada en mi vida, a mi hija y mi esposa por esas horas que no les pude brindar y por las que me brindaron para alcanzar el fin del camino propuesto, va íntegramente dedicado a Uds., las razones más importantes de mi vida y de mi eterna dedicación y preocupación.

Agradecer a todos y cada uno de mis profesores que sembraron su semilla fértil para que hoy al cabo de 6 años se vea la primera cosecha de su trabajo abnegado, como olvidar a Ud., Ing. Edgar Tipán e Ing. Segovia Xavier quienes motivaron y guiaron mi trabajo, así como fueron mis más duros criticadores en mis momentos de flaqueza y necesidad. Mil gracias por ser así y ayudarme a darme cuenta que el éxito no es pasajero es perenne siempre y cuando uno así lo desee y lo practique.

Son muchas las personas que de una u otra forma ingresaron como un aporte en mi vida estudiantil (Naty, Stefano, Gabriel, Gabo, Púas, etc) me faltarían páginas para numerar a todos, pero creo que es el momento de mi Promoción 99, agradecerles por su amistad, apoyo, consejos y acogedora compañía en los momentos más difíciles que experimente con Uds., están presentes conmigo en estas letras y otros en los más grandes recuerdos de mi corazón, pues sin importar donde Uds., estén, les quiero dar las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me brindaron y por todo lo que no me dieron también mil bendiciones a Uds.,

Capt. de Com. Jorge Eduardo Noboa Cobo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme las fuerzas y la sabiduría para tomar las decisiones correctas y sacar este proyecto adelante. A mis padres, por todo el esfuerzo realizado a lo largo de toda la carrera y por nunca haberme dejado solo incluso en las peores circunstancias. A mis hermanos, que con sus consejos han sabido poner en orden mis ideas y ayudarme a aclarar el panorama. A mis sobrinos, que con sus risas y hermosos gestos me han enseñado el sentido de la felicidad, especialmente a mi sobrino Thomas quien con su manera de ser me hace ver la vida desde otra perspectiva.

Agradezco a mi abuelita que ha sido como una madre para mí, ya que gracias a ella nunca me sentí lejos de mi casa y con sus inteligentes palabras siempre me animó a salir adelante.

Agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE que me abrió las puertas para formarme como profesional, así como también a los docentes que brindaron su tiempo y conocimientos para el desarrollo de esta investigación. Especialmente al Ing. Edgar Tipán que de manera desinteresada brindó todo su conocimiento para culminar con este proyecto.

A todo el personal del CMEE que siempre estuvo dispuesto a colaborar con este proyecto mis más sinceros agradecimientos.

Gabriel Cárdenas

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
AGRADECIMIENTO	vii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación e Importancia	2
1.3. Alcance del Proyecto	3
1.4. Objetivos	4
1.5. Descripción General del Proyecto.....	6
CAPÍTULO II.....	7
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. El CMEE (Centro de Metrología de la Fuerza Terrestre).....	7
2.2. Calibración.....	8
2.3. Calibración de Cronómetros digitales.....	8
2.4. NORMA INEN ISO/IEC 17025	11
2.5. National Instruments y su entorno de programación LabVIEW	12
CAPÍTULO III.....	14
3. TÉCNICA DE INDUCCIÓN.....	14
3.1. Conceptos generales.....	14
3.2. Datos técnicos de los elementos.....	17
3.3. Diseño del sistema	25
3.4. Levantamiento de diagramas	29
3.5. Adquisición de datos y aplicación de herramientas estadísticas.....	30
3.6. Certificado de Ingreso y Reporte de Calibración.....	33
CAPÍTULO IV.....	35
4. TÉCNICA DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.....	35

4.1.	Segundo.....	35
4.2.	Visión por computadora.....	35
4.3.	Imagen.....	35
4.4.	Detección de caracteres patrones	38
4.5.	Reconocimiento Óptimo de Caracteres (OCR).....	48
4.6.	Levantamiento de planos	52
4.7.	Diseño del módulo experimental	52
CAPÍTULO V.....		57
5.	INTERFAZ HUMANO – MÁQUINA PARA REPORTES	57
5.1.	Diseño de la interfaz humano – máquina.....	57
5.2.	Ventanas de la interfaz.....	79
5.3.	Indicadores de la Interface	80
5.4.	Navegabilidad de ventanas.....	80
5.5.	Menú de impresión.....	80
CAPÍTULO VI.....		81
6.	IMPLEMENTACIÓN.....	81
6.1.	Método de Inducción	81
6.2.	Técnica de procesamiento de imágenes	87
CAPÍTULO VII		97
7.	PRUEBAS Y RESULTADOS.....	97
7.1.	Pruebas Método de Inducción.....	97
7.2.	Resultados Método de Inducción.....	101
7.3.	Pruebas Técnica de Procesamiento de Imágenes	104
7.4.	Resultados Técnica de Procesamiento de Imágenes	110
7.5.	Estudio Comparativo.....	111
Conclusiones		113
Recomendaciones		116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de un cronómetro digital	14
Figura 2 Condensador de Placas Paralelas.....	16
Figura 3 Contador Universal de Frecuencia 53132A.....	17
Figura 4 Osciloscopio Agilent	19
Figura 5 Amplificador como comparador.....	22
Figura 6 Estructura interna del cable coaxial.....	23
Figura 7 Cable convertidor serial RS 232 a USB	24
Figura 8 Caja metálica que sirve como blindaje	26
Figura 9 Módulo de acrílico para posicionar elementos	27
Figura 10 Circuito captador de frecuencia.....	28
Figura 11 Circuito impreso en placa	28
Figura 12 Diagrama de flujo Calibración.....	29
Figura 13 Diagrama de conexión	30
Figura 14 Varianza de Allan	32
Figura 15 Diagrama de bloques Adquisición de Datos.....	33
Figura 16 Diagrama de bloques Reporte de Calibración	34
Figura 17 Imagen de 16 pixeles	36
Figura 18 Espacio de colores RGB	37
Figura 19 Patrones en el cronómetro	39
Figura 20 Algoritmo de adquisición de Imagen.....	40
Figura 21 RBG en las imágenes.....	42
Figura 22 Imagen suavizada.....	43
Figura 23 Imagen con filtro elimina ruidos.....	43
Figura 24 Imagen detecta bordes	44
Figura 25 Imagen realzada bordes	44
Figura 26 Configuración de la imagen previa a la técnica OCR.....	46
Figura 27 Localización de caracteres UBP (Unidad Bajo Prueba)	50
Figura 28 Localización de caracteres Patrón de trabajo.....	50
Figura 29 Selección del área del OCR	51
Figura 30 Ventana reglas de entrenamiento OCR.....	51
Figura 31 Diagrama eléctrico encendido LEDS y arranque de cronómetros.....	52
Figura 32 Módulo de Visión SolidWorks 2013	53
Figura 33 Diagrama de flujos de elaboración de reporte de calibración.....	55
Figura 34 Diagrama de flujos de elaboración del Certificado de Calibración.....	56
Figura 35 Esquema general de la metodología de desarrollo de la interfaz.....	58
Figura 36 Arquitectura tipo de la HMI	60
Figura 37 Diagrama de Flujo de navegabilidad de la HMI.....	60
Figura 38 Distribución ventana presentación.....	62
Figura 39 Distribución ventana de certificado y reporte.....	63
Figura 40 Distribución ventana del proceso de calibración	64
Figura 41 Ventana de Presentación de la HMI	77

	xi
Figura 42 Pantalla Certificado de calibración	77
Figura 43 Menú de navegación	78
Figura 44 Información de reporte de calibración	78
Figura 45 Pantalla Principal de Calibración.....	79
Figura 46 Ventana secundaria Calibración.	79
Figura 47 Indicadores del proceso	80
Figura 48 Grabado en impresión clave	80
Figura 49 Primer modelo de blindaje metálico	81
Figura 50 Prototipo final del blindaje metálico	82
Figura 51 Módulo acrílico con todos los elementos	83
Figura 52 Placa de cobre	84
Figura 53 Circuito Terminado.....	85
Figura 54 Integración de los elementos	86
Figura 55 Módulo de visión versión 1	88
Figura 56 Módulo de visión versión 2	88
Figura 57 Esquema renderizado del Módulo de Visión.....	89
Figura 58 Conexión de cronómetros en pines de arranque posteriores	90
Figura 59 Cronómetros conectados a fuente de arranque	90
Figura 60 Lámparas LED utilizadas para iluminación indirecta.	91
Figura 61 Módulo de visión conectado a fuentes de arranque.....	91
Figura 62 Software para cambiar cámara de celular a WEBCAM	92
Figura 63 Asignación de la IP WEBCAM en el celular	93
Figura 64 Aplicación de celular IP WEBCAM.....	93
Figura 65 Inicio de APP con START SERVER	94
Figura 66 IP que se asignará a Software PC	94
Figura 68 Arranque de IP CAMERA ADAPTER	95
Figura 69 Ingreso de la IP del celular	95
Figura 69 Módulo de Visión conectado a PC e impresora.....	95
Figura 71 Cronómetro EXTECH Instruments	101
Figura 72 Iluminación indirecta del módulo de visión	106
Figura 73 Velocidades de Obturación de cámaras	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ventajas y desventajas de las técnicas de calibración.....	10
Tabla 2 Valores típicos de frecuencia en cronómetros	15
Tabla 3 Datos técnicos del contador universal 53132a.....	18
Tabla 4 Comparación entre amplificadores operacionales	21
Tabla 5 Resultados de aplicación de iconos de configuración Modulo Visión NI	47
Tabla 6 Dimensiones de los elementos de la HMI de la ventana de Presentación. ...	63
Tabla 7 Dimensión de los elementos de las pantallas de certificado y reporte.....	64
Tabla 8 Dimensión de los elementos de las pantallas del proceso de calibración	65
Tabla 9 Descripción de colores para fondos de pantalla.....	68
Tabla 10 Descripción de colores para estatus de Equipos de Proceso.....	68
Tabla 11 Descripción de colores para Alarmas.....	68
Tabla 12 Descripción de colores para Materiales del Proceso.....	68
Tabla 13 Descripción de colores para Señales Analógicas	69
Tabla 14 Descripción de colores para Ítems varios	69
Tabla 15 Tabla de colores de texto	70
Tabla 16 Tabla de colores RGB para las ventanas HMI.....	70
Tabla 17 Símbolos e iconos	73
Tabla 18 Tabla de colores de las alarmas.....	76
Tabla 19 RBG de las alarmas de la HMI	76
Tabla 20 Prueba #1 Material y Dimensiones	97
Tabla 21 Prueba #2 Tamaño Placa de cobre	98
Tabla 22 Prueba #3 Fuente de Alimentación	99
Tabla 23 Prueba #4 Circuito Electrónico.....	100
Tabla 24 Datos de Calibración Método de Inducción.....	102
Tabla 25 Resultados de la Calibración del Método de Inducción.....	103
Tabla 26 Prueba 1 (Construcción de los Módulos de Visión)	104
Tabla 27 Prueba 2 (Iluminación dentro de los Módulos de Visión)	105
Tabla 28 Prueba 3 (Selección de la cámara idónea)	108
Tabla 29 Estudio comparativo diferentes métodos	111

RESUMEN

El proceso de calibración manual de cronómetros digitales existente en el CMEE (CENTRO DE METROLOGÍA DE LA FUERZA TERRESTRE), es uno de los procesos más fáciles de realizar y es uno de los que más error inducido por el humano tiene, mismo que es corregido con ayuda de procesos estadísticos. Es por esta razón que al proponer la implementación de un método de inducción para la calibración de cronómetros digitales se garantiza la reducción de error humano en los procesos de medición y por ende una menor incertidumbre de los equipos calibrados, a su vez la comprobación de esta medición a través del procesamiento digitales de imágenes utilizando la técnica de OCR (Reconocimiento Óptico de Caracteres), ayudará a determinar el mejor proceso para la calibración de equipos en el CMEE. La base de la calibración de cronómetros digitales con el método de inducción consiste en la captura de la frecuencia interna del Oscilador de cuarzo de los cronómetros y su tratamiento de señales a través de tarjetas de adquisición de datos y por ende la creación de su reporte y su certificado de calibración de acuerdo a la norma INEN ISO/IEC 17025 (para la certificación de laboratorios de calibración). De la misma forma por medio del método de procesamiento digital de señales con tarjetas de adquisición de datos y cámaras aplicando la técnica OCR. El diseño de la Jaula de Faraday y del circuito captador de la frecuencia es parte fundamental en la realización del proyecto, así como la programación en LabVIEW, tanto en la parte de OCR como en la entrega de certificados y reportes de una forma automática y segura. La interfaz de usuario (HMI) será diseñada de tal forma que, sea de fácil utilización para el usuario técnico, para lo cual se siguió los consejos de la Guía GEDIS. La integración de todos estos procesos de calibración permitirá reducir el grado de error en el reporte de datos en los certificados de calibración utilizados en el CMEE.

PALABRAS CLAVE:

- OCR
- MÉTODO DE INDUCCIÓN
- PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES
- NORMA INEN ISO/IEC 17025

ABSTRACT

The manual calibration process existing digital watches in the CMEE (Metrology Center of the Army), is one of the easiest processes to perform and is one of the most errors by human-induced has, same as it is corrected using statistical processes. It is for this reason that in proposing the implementation of a method of induction for calibration of digital watches reducing human error in measurement processes is guaranteed and thus a low uncertainty calibrated equipment, turn checking this measurement through digital image processing technique using OCR (Optical Character Recognition), will help determine the best process for calibration of equipment in the CMEE.

The basis for the calibration of digital watches with induction method involves catching the internal oscillator frequency quartz timers and signal processing through data acquisition cards and thus creating your report and calibration certificate according to the INEN ISO / IEC 17025 (for certification of calibration laboratories). Likewise by the method of digital signal processing with data acquisition cards and camera applying the OCR technique.

The design of the Faraday cage and the sensor circuit frequency is a fundamental part in the project as well as programming in LabVIEW, both of OCR and the delivery of certificates and reports in an automated way and secure the user interface (HMI) will be designed in a way that is easy to use for the technical user, for which the advice of GEDIS Guide was followed. The integration of all these processes allow calibration reduce the degree error in the reporting of data on calibration certificates used in the CMEE

KEYWORDS:

- OCR (OPTICAL CHARACTER RECOGNITION)
- INDUCTION METHOD
- DIGITAL IMAGE PROCESSING
- STANDARD INEN ISO / IEC 17025

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El CMEE (CENTRO DE METROLOGÍA DE LA FUERZA TERRESTRE) cuenta con un laboratorio de tiempo en el cual se realizan calibraciones para equipos como cronómetros digitales. Actualmente el CMEE calibra los cronómetros digitales usando el método manual que consiste en comparar en tiempo el cronómetro y un patrón de referencia para determinar el adelanto o atraso que el cronómetro tiene respecto al patrón.

El proceso de calibración de cronómetros digitales es un proceso complejo que en la actualidad ha cobrado importancia en los centros de metrología a nivel mundial para asegurar datos precisos en los diferentes eventos que los cronómetros sean utilizados, garantizando al usuario una exactitud y precisión apropiada.

Se conoce las limitaciones que el método manual tiene, es por eso que es necesario mejorarlas usando otros nuevos métodos de calibración de cronómetros digitales; se han revisado algunas alternativas como el método de inducción y procesamiento de imágenes, estos nuevos métodos permiten mejorar las limitaciones del método actual.

El presente proyecto se presenta para ofrecer una alternativa de calibración y automatización para cronómetros digitales, proceso que en la actualidad no se encuentra realizando debido a la falta de equipamiento y recursos por parte del CMEE, con el propósito de implementarla, así como establecer una comparación entre los dos procesos diseñados destinados a verificar que el proceso presenta un menor nivel de error de medición.

El proceso a seguirse para una calibración eficiente será utilizando la técnica de inducción y será comparada con la técnica de procesamiento de señales digitales,

utilizando la herramienta de LABVIEW y Módulo Visión Development, requerimiento primordial del CMEE.

1.2. Justificación e Importancia

La principal razón para realizar la calibración de cronómetros digitales, es el de facilitar datos correctos, precisos y exactos, garantizando la entrega de tiempos a los usuarios bajo condiciones iguales de medición y referencia.

Reducir la incertidumbre de la medición es otro factor muy importante, que se debe tener en cuenta, ya que solo un dato dentro de rangos permitidos de medición, garantizan al final un resultado confiable.

La aplicación de conocimientos adquiridos en la trayectoria estudiantil permite el diseño, la implementación, la comparación y la automatización del proceso de reportes del centro, ayudándonos de herramientas computacionales, minimizando el error del operario al momento de realizar el reporte de calibración.

El diseño, la implementación y la automatización de datos en el proceso de calibración de un cronómetro digital es un proceso necesario para el CMEE ya que permitirá al centro, ampliar sus procesos de servicio al cliente.

La documentación y el producto que se espera entregar al CMEE serán de gran aporte ya que le permitirá certificar el Laboratorio de Tiempo, documentar los procesos elaborados, así como respaldar técnicamente los procesos que se realizan en el Laboratorio de Tiempo.

El proyecto otorga una oportunidad importante a los estudiantes encargados del mismo para afianzar conocimientos y reafirmar las bases teórico – prácticas impartidas en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, ya que se pone en práctica lo aprendido al enfrentarse a problemas reales.

El proyecto que se pretende realizar es un aporte para el CMEE, se procura modernizar el Laboratorio de Tiempo con nuevas y mejores técnicas de calibración.

Las bases del proyecto son “Entender, modelar, Automatizar”. Con entender se hace referencia a las fases o subprocesos que involucra el proceso productivo además de la identificación de variables que serán utilizadas para el proceso de calibración y a partir de éstas se define la técnica más apropiada a utilizarse. Simplificar es el principal objetivo de este proyecto, para eliminar operaciones innecesarias en el proceso y utilizar tecnología adecuada (Automatización de datos) para reducir el error de apreciación por parte de los operadores. Por último, automatizar para lograr monitorización y operaciones simultáneas en la misma tarea, ayudar a que el sistema se vuelva flexible en la programación con LabVIEW, la flexibilidad lo vuelve además escalable y seguro. Utilizando estos tres principios se pretende trabajar sobre este proyecto.

1.3. Alcance del Proyecto

El presente proyecto incluye el diseño, la implementación, la comparación, automatización de toma de datos, generando reportes digitales reduciendo el error de apreciación y digitación cometido por los operarios en procesos de medición manuales. El proyecto se dividirá en tres partes:

- Identificación de elementos, levantamiento de esquemas para circuitos y construcción de módulos para el mejoramiento de la medición.
- Comparación entre los métodos de calibración a implementarse.
- Implementación de los métodos de calibración eligiendo el más exacto y preciso.

En la primera parte del proyecto se realiza la identificación de elementos, levantamiento de esquemas para circuitos y construcción de módulos para el mejoramiento de la medición, así como de sus especificaciones técnicas y funciones en el sistema para así obtener la señal necesaria para un tratamiento efectivo del proceso que se desea automatizar. Para apoyar y documentar este proceso de identificación se realizarán los respectivos diagramas de conexiones, y diagramas de bloques del proceso a automatizarse. Tras la identificación y diagramación del sistema, se obtendrán las variables que se deberán visualizar y extraer del proceso para la automatización del tratamiento de datos.

La segunda parte del proyecto consiste en realizar un estudio comparativo de las técnicas, con el fin de obtener metódicamente la técnica más recomendada para la calibración de cronómetros digitales. Para esto se deberá definir la metodología a seguirse, se establecerá también una interfaz de usuario con la herramienta LABVIEW que ayudará a realizar la comparación con datos más precisos. En esta parte se realiza un análisis de datos con la ayuda de una tarjeta de adquisición de datos. Al finalizar la segunda etapa se tendrá una técnica principal y una técnica secundaria para la calibración de cronómetros digitales con sus respectivas conexiones eléctricas, módulos de experimentación y datos confiables y precisos. Las simulaciones se realizarán en el respectivo software, para el caso de hardware se utilizará la herramienta Proteus 8.0 y para la adquisición de datos la herramienta de software LABVIEW.

La tercera y última parte del proyecto corresponde a la implementación final de los procesos de calibración y las pruebas de los sistemas. Las pruebas respectivas se realizarán por varias veces para comprobar que proceso funcione óptimamente, reduciendo los niveles de error e incertidumbre, para obtener certificados confiables y exactos. De ser necesario, se realizarán los respectivos reajustes y correcciones sobretodo en la parte del software del sistema para que funciones como el cliente así lo desea.

1.4. Objetivos

1.4.1. General

Diseñar e implementar un calibrador de cronómetros digitales con la técnica de medición más eficiente determinada a través de un estudio comparativo que determine que método es el más exacto y preciso para obtener una calibración con el menor error posible y con niveles de incertidumbre bajos, para mejorar la productividad y calidad de los procesos de calibración del CMEE (CENTRO DE METROLOGÍA DE LA FUERZA TERRESTRE)

1.4.2. Específicos

- Levantar información métodos de calibración que se aplican en la actualidad en el mundo, para una calibración óptima de cronómetros digitales.
- Diseñar e implementar un circuito captador de las señales del oscilador, que permita obtener las señales del oscilador interno de cada cronómetro digital.
- Diseñar e implementar un módulo experimental, para aislar a los cronómetros de ruidos externos para obtener datos precisos y libres de perturbaciones externas.
- Disminuir los errores inducidos por los operarios al momento de manipular los datos para realizar el reporte.
- Automatizar el sistema de adquisición de datos para el proceso de calibración mediante la Herramienta LABVIEW y una tarjeta de adquisición de datos.
- Diseñar e implementar un módulo experimental para soporte de cronómetros, cámara e inicio de calibración de los cronómetros digitales para la técnica de procesamiento de imágenes.
- Diseñar e implementar un sistema automático de toma de datos y procesamiento de los mismos utilizando cámaras con la herramienta LABVIEW.
- Realizar el muestreo de la señal del patrón de referencia para hacer la comparación con las señales obtenidas previa a su calibración o certificación.
- Evaluar el desempeño de las técnicas de calibración, tendiente a determinar la técnica principal de calibración y la técnica secundaria de calibración para el CMEE (CENTRO DE METROLOGÍA DE LA FUERZA TERRESTRE)
- Generar manuales técnicos de uso y mantenimiento de los calibradores.

1.5. Descripción General del Proyecto

El proyecto en general consiste en el diseño y la implementación de un calibrador de cronómetros digitales usando dos métodos, el de inducción y el de procesamiento de imágenes.

La propuesta de este proyecto es construir dos módulos uno para cada método. El primer módulo trabaja con la técnica de inducción, se ha dividido en 3 subprocesos que son:

- Crear un circuito electrónico que sea capaz de captar la señal inducida, este circuito, junto con el cronómetro deben ir dentro de una caja metálica que funciona como blindaje contra señales eléctricas externas.
- Luego de esto la señal debe ser amplificada y filtrada para ser leída por un contador universal de frecuencia.
- Los datos son enviados al computador para realizar un análisis de estabilidad de frecuencia y obtener el respectivo certificado.

El segundo módulo trabaja con la técnica de procesamiento digital de señales, se ha dividido en 3 subprocesos que son:

- Crear una estructura que permita sostener 2 cámaras una para el patrón de referencia y otra para el cronómetro que va a ser sometido a prueba.
- Adquirir las imágenes de las cámaras y almacenarlas para luego ser procesadas.
- Por medio de la técnica OCR (Reconocimiento Óptimo de Caracteres) identificar los datos que están en el LCD de los cronómetros y compararlos

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. El CMEE (Centro de Metrología de la Fuerza Terrestre)

El Laboratorio de Metrología surgió a partir de la necesidad de calibrar los equipos de comprobación del CALE (COMANDO DE APOYO LOGÍSTICO ELECTRÓNICO), para la creación de este laboratorio se empezó a visitar varios centros de metrología a nivel internacional, lo que permitió diseñar un centro metrológico definitivo.

Paralelamente a estas actividades se establece una alianza estratégica con el INEN (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN), para capacitar al personal que trabajará en los laboratorios, para lo cual en el año de 1994 el Comando General de la Fuerza Terrestre, autoriza la adquisición del equipamiento necesario para la implementación de los laboratorios.

Los laboratorios actualmente funcionan en el Fuerte Militar Rumiñahui, cumpliendo con todas las normas adscritas de su funcionamiento, medición, exactitud, control ambiental de temperatura, de humedad, sistema de tierra, respaldo de energía, blindaje de interferencia electromagnética y protección termo acústica, culminando su construcción en noviembre de 1995.

El CMEE, participa activamente en el intercambio de información y tecnología dentro y fuera del país, mediante seminarios, congresos, simposios y cursos actividades que le han permitido consolidar su prestigio hasta alcanzar el reconocimiento nacional e internacional.

El CMEE, cuenta con cinco laboratorios brindando los servicios de calibración a equipos de medición en los laboratorios de Magnitudes Eléctricas, Laboratorio de Presión, Laboratorio de Temperatura, Laboratorio de Baja y Alta Frecuencia y el Laboratorio de Tiempo, en el cual se planteó la tesis motivo de estudio.

2.2. Calibración

La calibración no es más que la comparación entre la medición que nos indica un instrumento o unidad de prueba con lo que debería medir con respecto a un instrumento conocido como patrón de medida.

Una vez considerado lo anteriormente expuesto, se puede deducir que, para realizar la calibración de un equipo o unidad de prueba, se debe disponer de otro instrumento de medida de mayor precisión, el cual emita un valor de medición verdadero, valor que servirá de referencia para emitir un criterio de error.

Para realizar este procedimiento, se debe cumplir “calibrar es una cadena ininterrumpida y documentada de comparaciones hasta llegar al patrón primario y que constituye lo que llamamos trazabilidad”. (Asociados, Métodos de medición, Prueba y Calibración, 2005)

Se debe considerar que el principal objetivo de una calibración de equipos es el mantener el funcionamiento de los equipos, garantizar la medición de los equipos y emitir mediciones de acuerdo a Normas de Calidad lo que permite confiabilidad, fiabilidad y trazabilidad de las medidas en los diferentes campos.

2.3. Calibración de Cronómetros digitales

2.3.1. Técnica de medición directa

El método de calibración por la técnica de comparación directa, es una de las técnicas más usadas a nivel mundial, usada específicamente en calibración de cronómetros y temporizadores, cuyo objetivo primordial es la comparación de la lectura de los equipos o unidades de prueba con un equipo de mayor exactitud conocido como equipo patrón.

Esta técnica básicamente consiste dar inicio y final manualmente al proceso de calibración con influencia directa del operador y por ende la contribución de error

humano a la medición. Error que es corregido por medio de métodos estadísticos que minimizan el efecto del error humano en la medición.

Bajo esta modalidad existen una gama variada de mediciones y procedimientos:

- Comparación directa contra cronómetro
- Comparación directa contra referencia (opción display)
- Comparación directa contra referencia (opción cámara digital)

Ya dentro de las contribuciones que se deben considerar en el cálculo del error del equipo o la incertidumbre del equipo se puede anotar en esta técnica factores como: La incertidumbre del equipo patrón, el tiempo de respuesta del factor humano y la resolución del equipo o unidad de prueba.

2.3.2. Técnica de Inducción.

En esta técnica se debe considerar los intervalos de tiempo, en los que se va a realizar la calibración, esta señal suele ser una señal de tiempo (Hz). Por lo general se utiliza campos electromagnéticos para la captura de la frecuencia de oscilación de los osciladores internos de los cronómetros o temporizadores y se los compara en base a frecuencias divisoras en función del LCD de los equipos.

Este método es uno de los más exactos que existen en la actualidad y hacen que los procedimientos de calibración puedan reducirse en tiempo a comparación de la calibración normal que realizan con otras técnicas. Se detallará más adelante a esta técnica en los capítulos siguientes.

2.3.3. Técnica de Procesamiento de señales

Esta es una técnica que permite la utilización de cámaras digitales, mediante la transformación de la imagen a caracteres reconocibles mediante software. En esta técnica se realizará un OCR (Reconocimiento Óptico de Caracteres), mediante software especializado con el fin de comprobar los datos entregados por la unidad de prueba y por un patrón de referencia.

Influyen factores externos a los cálculos de las contribuciones de las incertidumbres como son la luminosidad y la velocidad de procesamiento del software utilizado.

2.3.4. Comparación de técnicas y recursos.

En la Tabla 1, se demuestra las ventajas y desventajas de cada una de las técnicas, existentes para realizar la calibración de cronómetros digitales.

Tabla 1

Ventajas y desventajas de las técnicas de calibración

TÉCNICA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Técnica de Comparación Directa	<ul style="list-style-type: none"> • Es de fácil uso. • No requiere mayor equipamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los efectos del error humano en la medición son minimizados por métodos estadísticos • La entrega de certificados y reportes de calibración se la hace en forma manual en un plazo de hasta 8 días.
Técnica de Inducción	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce considerablemente los efectos del error humano en las mediciones. • El recurso computacional ayuda a reducir el tiempo de calibración, entrega de reportes y certificados de calibración. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere mayor equipamiento y circuitería electrónica. • Se debe realizar un apropiado blindaje electromagnético.

➔ Continúa

Técnica de Procesamiento de Señales.	<ul style="list-style-type: none"> • El uso de recursos computacionales permite un mejor tratamiento a la información obtenida por cámaras. • El uso de módulos de programación especializados ayuda a la identificación del OCR de las imágenes obtenidas 	<ul style="list-style-type: none"> • Se necesita de cámaras de gran resolución y alto obturado, para reducir la programación intermedia. • Más costosa que la anterior. • Necesidad de licenciamiento de software especializado para aplicación del OCR.
--------------------------------------	--	---

2.4. NORMA INEN ISO/IEC 17025

La norma INEN ISO/IEC 17025 es la norma que rige el normal funcionamiento del CMEE, es básicamente una normativa internacional orientada a la calidad y desarrollada por ISO (International Organization for Standardization), norma en la cual se establecen los requisitos que deben cumplir estrictamente los laboratorios de ensayo y calibración.

Esta norma se fundamenta en una norma de Calidad, basada en la serie de normas de Calidad ISO 9000.

El objetivo de la norma INEN ISO/IEC 17025 tienen como principal objetivo la acreditación de la competencia de los Laboratorios de Ensayo y calibración, por las entidades o laboratorios superiores, para el caso del CMEE, esta función de acreditación y control lo realiza el SAE (SERVICIO DE ACREDITACIÓN ECUATORIANO).

Esta norma, más los criterios de los organismos de acreditación de cada país son de carácter mandatorios y obligatorios y deben ser aplicados por los laboratorios de ensayo y calibración para demostrar que son técnicamente competentes y de que son capaces de producir resultados técnicamente válidos.

2.5. National Instruments y su entorno de programación LabVIEW

National Instruments es una empresa líder en el ámbito de los instrumentos de medida y Automatización y como tal tiene como objetivo garantizar una mejora continua y una innovación constante en sus productos. Su lista de productos y servicios es muy amplia y se divide en cinco categorías: software, instrumentos, adquisición de datos, adquisición y control de imágenes y redes industriales.

Gracias al software de National Instruments, técnicos e investigadores pueden aumentar la productividad y reducir los costos. Las herramientas de desarrollo que ofrece la empresa, entre los que destaca su producto estrella LabVIEW que nos permite desarrollar sistemas sofisticados de medida, pruebas y control usando íconos gráficos e intuitivos y cables que parecen un diagrama de flujo. Ofrece una integración incomparable con miles de dispositivos de hardware y brinda cientos de bibliotecas integradas para análisis avanzado y visualización de datos, todo para crear instrumentación virtual. La plataforma LabVIEW es escalable a través de múltiples objetivos y sistemas operativos.

LabVIEW es diferente de la mayoría de lenguajes de propósito general principalmente en dos vertientes. Primero, la programación G se desarrolla cableando iconos gráficos en un diagrama que compila directamente a código máquina de modo que los procesadores del ordenador pueden ejecutarlo sin preocuparse por obtener problemas de compatibilidad. Aunque se representa gráficamente en lugar de texto, G contiene los mismos conceptos de programación que se pueden encontrar en la mayoría de los lenguajes tradicionales. Por ejemplo, G incluye todas las construcciones estándar tales como tipos de datos, bucles, eventos, variables, recursividad y programación orientada a objetos.

La segunda diferencia principal es que el código G desarrollado en LabVIEW se ejecuta de acuerdo con las reglas del flujo de datos en lugar del acercamiento más tradicional (en otras palabras, una serie secuencial de comandos para ser llevados a

cabo) que se encuentran en la mayoría de los lenguajes de programación basados en texto como C y C++.

El código G es más sencillo de entender por ingenieros y científicos porque están familiarizados con la visualización y la modelización gráfica de procesos y tareas en términos de diagramas de bloque y flujogramas es por esto que se ha decidido realizar estas aplicaciones usando LabVIEW, además que todos los centros de metrología a nivel mundial usan esta tecnología para desarrollar sus proyectos de investigación. (NI, Programación del Control Mediante LABVIEW, 2012)

CAPÍTULO III

3. TÉCNICA DE INDUCCIÓN

3.1. Conceptos generales

3.1.1. Cronómetros Digitales

“Los cronómetros digitales son dispositivos que miden intervalos de tiempo y su composición interna está basada en un oscilador que proporciona la base de tiempo, divisores de frecuencia y circuito que permite presentar los dígitos en pantalla”. El principio de funcionamiento se refleja, en la Figura 1, en la que se describe su funcionamiento. (Asociados, Cronómetros y temporizadores, 2007)

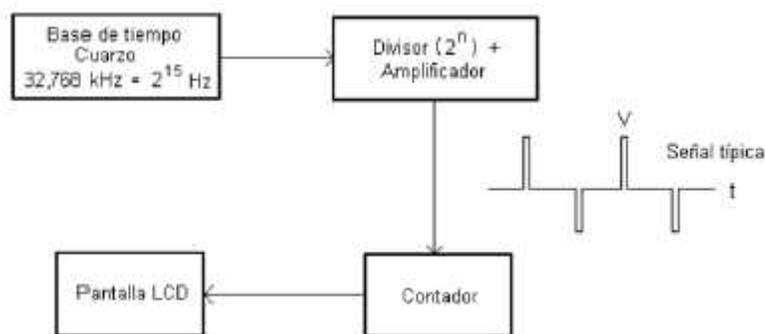


Figura 1 Esquema de un cronómetro digital

Fuente: (Leonardo Trigo, 2008)

Los cronómetros en su mayoría usan internamente un oscilador de cristal de cuarzo los cuales trabajan a una frecuencia de oscilación de 32768 Hz (2^{15} Hz). Se trabaja a esta frecuencia para que los divisores de frecuencia sean simples de implementar en tamaños reducidos y con bajo consumo de potencia.

Los cristales de cuarzo son de material piezo-eléctrico, quiere decir que son capaces de convertir las vibraciones mecánicas en oscilaciones de tensión de la misma frecuencia.

La señal que se va a visualizar en el contador de frecuencia es una división de la frecuencia base de oscilación del cuarzo, dicha señal puede tener diferentes valores de

frecuencia dependiendo de la marca y modelo del fabricante. A continuación, se muestra en la Tabla 2, algunos de los valores de frecuencia más comunes que a las que fluctúan los osciladores de cuarzo internos de los cronómetros.

Tabla 2

Valores típicos de frecuencia en cronómetros

Frecuencia base (Hz)	Divisor		Frecuencia a capturarse (Hz)
32768	1152	$2^{10}+2^7$	28.444
	1024	2^{10}	32
	768	2^9+2^8	42.666

3.1.2. Jaula de Faraday

El efecto jaula de Faraday provoca que el campo electromagnético en el interior de un conductor en equilibrio sea nulo, anulando el efecto de los campos externos. Esto se debe a que, cuando el conductor está sujeto a un campo electromagnético externo, se polariza, de manera que queda cargado positivamente en la dirección en que va el campo electromagnético, y cargado negativamente en el sentido contrario. Puesto que el conductor se ha polarizado, este genera un campo eléctrico igual en magnitud, pero opuesto en sentido al campo electromagnético, luego la suma de ambos campos dentro del conductor será igual a 0.

Se pone de manifiesto en numerosas situaciones cotidianas, por ejemplo, el mal funcionamiento de los teléfonos móviles en el interior de ascensores o edificios con estructura de rejilla de acero. Una manera de comprobarlo es con una radio sintonizada en una emisora de Onda Media. Al rodearla con un periódico, el sonido se escucha correctamente. Sin embargo, si se sustituye el periódico con un papel de aluminio la radio deja de emitir sonidos: el aluminio es un conductor eléctrico y provoca el efecto jaula de Faraday. Este fenómeno, descubierto por Michael Faraday, tiene una aplicación

importante en aviones o en la protección de equipos electrónicos delicados, tales como repetidores de radio, discos duros y televisión situados en cumbres de montañas y expuestos a las perturbaciones electromagnéticas causadas por las tormentas.

3.1.3. Condensador de Placas Paralelas

El condensador de placas paralelas consiste de un par de planos conductores colocados de forma paralela, en el que una placa se carga positivamente y la otra placa se carga negativamente, existe un campo eléctrico que va desde el plano cargado positivamente al plano cargado negativamente incidente en forma perpendicular, puesto que al aplicar la ley de Gauss la distribución de cargas en el plano conductor se relaciona a un campo eléctrico normal a la superficie.

La Figura 2, muestra el funcionamiento interno de un condensador de placas paralelas, tomando como precedente este principio, se plantea en este proyecto la viabilidad de utilizar este fenómeno eléctrico para recibir las emisiones electromagnéticas del oscilador de cuarzo interno de los cronómetros.

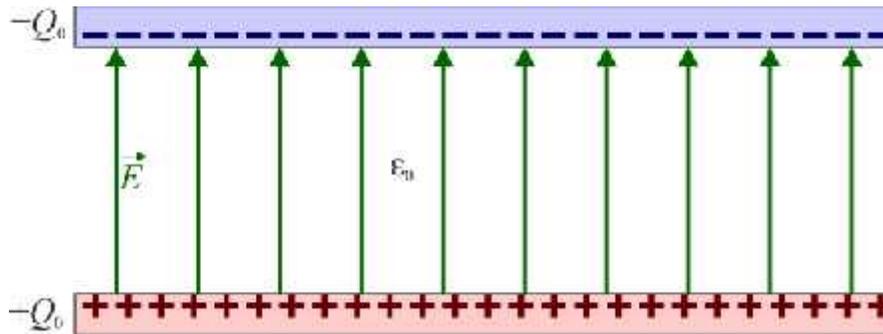


Figura 2 Condensador de Placas Paralelas

Fuente: (Sevilla, 2016)

Se debe considerar que para lograr uniformidad de los campos eléctricos es recomendable que las dimensiones lineales del área de los planos, sea mucho mayor que

la distancia de separación entre los planos, lo que ayuda a una mejor captura de la señal emitida por el oscilador interno de cuarzo de un cronómetro digital.

3.2. Datos técnicos de los elementos

3.2.1. Contador Universal de Frecuencia 53132A



Figura 3 Contador Universal de Frecuencia 53132A

Fuente: (Agilent, 2006)

En la Figura 3, se muestra el contador de alto rendimiento y bajo costo que simplifica y acelera los sistemas y las medidas de frecuencia y tiene la capacidad de realizar el trabajo de forma rápida y correcta desde un procesamiento rápido de la señal hasta pruebas con límites automatizados.

Además, cuenta con una interfaz de usuario intuitiva y acceso con un botón a funciones utilizadas con frecuencia para realizar medidas rápidas, fáciles y exactas. Medidas de resolución superior que se obtienen en una fracción del tiempo que tardan muchos otros contadores. Funciones matemáticas y estadísticas integradas para medidas de escala, promedio de monitorización, medida simultánea y desviación estándar. Prueba de límite automático, modo de display analógico y generación de una señal de salida para activar dispositivos externos cuando se excede un límite. Para acceder rápidamente a pruebas realizadas con frecuencia una sola pulsación recupera hasta 20 configuraciones diferentes almacenadas en el panel frontal.

Resolución de 10 o 12 dígitos con tiempo de paso de 1s.

Velocidad de transferencia de datos de hasta 200 medidas/segundo con formato completo.

En la Tabla 3, se muestra los principales datos técnicos del contador universal de frecuencia 53132a, que dispone el CMEE.

Tabla 3

Datos técnicos del contador universal 53132a

53131A 53132A 53181A			
Modelo	53131A	53132A	53181A
Tipo	Universal (2 canales)*		RF 1 canal
Medidas	Frecuencia, relación de transformación de frecuencia, intervalo de tiempo, período, tiempo de subida/bajada, +/- ancho de impulsos, ciclo completo, fase, totalización, tensión pico, promedio de intervalo de tiempo, retardo de intervalo de tiempo		Frecuencia, período, tensión pico
Análisis	Prueba de límite automático, matemáticas (escala y offset), estadísticas (mínimo, máximo, promedio, desviación típica)		
Rango de frecuencia	dc a 225 MHz		
Resolución (frecuencia, intervalo de tiempo)	10 dígitos/s, 500 ps	12 dígitos/s, 150 P	10 dígitos/s, n/a
Conectividad	Software IntuiLink estándar, GPIB y RS-232 (sólo impresión)		
* El canal 2 sólo puede utilizarse para realizar medidas de frecuencia, periodo, relación de transformación y tensión; las medidas en el canal 1 y el canal 2 se realizan secuencialmente			

3.2.2. Osciloscopio Agilent DSO1002A



Figura 4 Osciloscopio Agilent

Fuente: (Agilent, 2006)

En la Figura 4, se muestra un osciloscopio de la serie 1000 de Agilent son osciloscopios de almacenamiento digital (DSO) portátiles y de bajo costo que ofrecen estas excelentes características:

- Modelos de dos y cuatro canales, 60 MHz, 100 MHz y 200 MHz de ancho de banda.
- Pantalla LCD color TFT luminosa de 5,7 pulgadas QVGA (320 x 240) y tamaño compacto (para liberar espacio en la mesa).
- Frecuencia de muestreo de hasta 2 GSa/s (Gigasamples per second).
- Hasta 20 kbits de memoria (Profundidad de Memoria de Visualización).
- Mediciones automáticas de tensión y de tiempo (22) y mediciones de cursores.
- Disparo potente (modos de borde, ancho de pulso, vídeo, patrón y alternado) con sensibilidad ajustable (para filtrar ruido y evitar disparos falsos).
- Formas de onda de funciones matemáticas: suma, resta, multiplicación, FFT.
- Puertos USB (2 host, 1 para dispositivos) para imprimir, guardar y compartir con facilidad formas de onda, configuraciones, archivos BMP de capturas de pantalla y archivos CSV de datos.
- Almacenamiento interno para 10 formas de onda y 10 configuraciones.
- Contador integrado de frecuencia de hardware de 6 dígitos.
- Menús de interfaz de usuario y ayuda integrada en varios idiomas (11).

3.2.3. AD704

El AD704 es un amplificador operacional bipolar de bajo consumo de energía que tiene baja corriente de polarización de entrada y ofrece una desviación significativamente baja de la corriente de polarización sobre la temperatura. Se utiliza transistores de entrada bipolar superbeta para lograr niveles de corriente de polarización de entrada en el orden de los picoamperios (similares a las entradas de los amplificadores FET a temperatura ambiente).

Además, el AD704 logra un voltaje de offset de $150 \mu\text{V}$ y características de bajo ruido de un amplificador operacional bipolar.

Debido a que tiene solamente $1/20$ de la corriente de polarización de entrada de un OP07 (Amplificador Operacional con Voltaje offset ultra bajo), el AD704 no requiere la resistencia de equilibrado que se utiliza comúnmente. Además, el ruido de la corriente es $1/5$ la del OP07, que hace que el AD704 sea utilizable con impedancias de fuente mucho más altas. En $1/6$ de la corriente de alimentación (por amplificador) del OP07, el AD704 es más adecuado para las placas de circuitos de hoy en día de mayor densidad y aplicaciones que funcionan con baterías.

El AD704 es una excelente elección para su uso en filtros activos de baja frecuencia en sistemas de adquisición de datos de 12 - 14 bits, en instrumentación de precisión, y como integrador de alta calidad. El AD704 es compensado internamente para la estabilidad de la ganancia unitaria. El AD704J tiene sobre el intervalo de temperatura comercial de 0°C a 70°C . El AD704A tiene sobre la temperatura industrial de -40°C a $+85^\circ\text{C}$. El AD704S tiene en todo el rango de temperatura militar de -55°C a $+125^\circ\text{C}$, procesado con la norma MIL-STD-883B.

Sus aplicaciones más comunes son:

- Industrial / Controles de procesos
- Básculas
- Instrumentación de ECG / EKG

- Filtros activos de baja frecuencia

A continuación, en la Tabla 4, se realiza una comparación entre los datos técnicos de distintos amplificadores operacionales que pueden usar en este proyecto.

Tabla 4
Comparación entre amplificadores operacionales

AMPLIFICADOR OPERACIONAL	AD704	INA2126	AD620
Voltaje máximo de offset	150 μV	500 μV	50 μV
Máxima desviación de voltaje de offset sobre temperatura	1.5 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	5 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	0.6 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Corriente de polarización de entrada máxima	270 pA	25 nA	1 nA
Ruido bajo	0.5 μV p-p	0.7 μV p-p	0.28 μV p-p
Consumo por amplificador	600 μA	200 μA	1.3 mA
Frecuencia óptima de trabajo	Baja frecuencia	Baja frecuencia	Alta frecuencia

Fuente: (Datasheets AD704, AD620, INA2126)

3.2.3.1. Amplificador operacional configurado como comparador

Un Amplificador Operacional puede ser utilizado para determinar cuál de dos señales en sus entradas es mayor (se utiliza como comparador). Basta con que una de estas señales sea ligeramente mayor para que cause que la salida del amplificador operacional sea máxima, ya sea positiva (+Vsat) o negativa (-Vsat).

Esto se debe a que el operacional se utiliza en lazo abierto (tiene ganancia máxima). La ganancia de un amplificador es de 200,000 o más y la fórmula de la salida es:

- $V_{out} = AOL (V_1 - V_2)$, donde:
- V_{out} = tensión de salida
- AOL = ganancia de amplificador operacional en lazo abierto (200,000 o más)
- V_1 y V_2 = tensiones de entrada (las que se comparan)
- V_{out} no puede exceder la tensión de saturación del amplificador operacional, sea esta saturación negativa o positiva. Normalmente este valor es aproximadamente unos 2 voltios menor que el valor de la fuente.

En la Figura 5, se muestra la configuración del amplificador operacional como comparador.

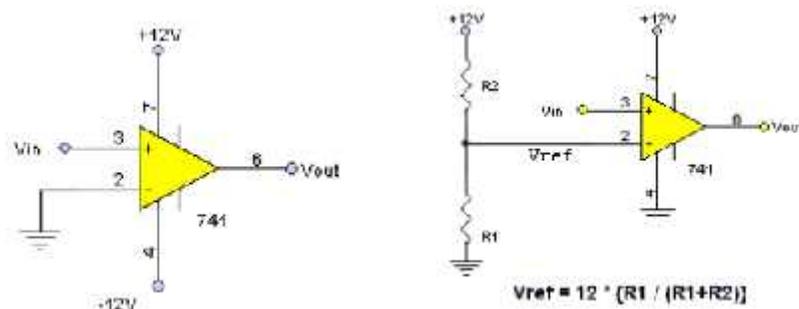


Figura 5 Amplificador como comparador

Fuente: (Unicrom, 2016)

3.2.4. Cables y conectores

3.2.4.1. Cable coaxial

Los cables coaxiales son un medio de transmisión muy conocido y se pueden emplear en todas aquellas aplicaciones en las que deben transmitirse señales eléctricas a

alta velocidad y sin la interferencia de otras señales. En la Figura 6, se muestra la estructura interna de un cable coaxial.

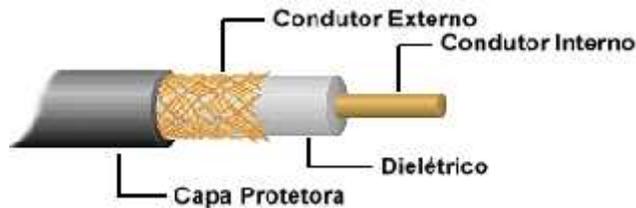


Figura 6 Estructura interna del cable coaxial

Fuente: (Bilbao, 2015)

Existen innumerables casos de este tipo, como ser las bajadas de antenas satelitales o de radiofrecuencia, las conexiones entre computadoras, las redes de televisión por cable, etcétera. Se define como coaxial al cable en el cual los dos conductores tienen el mismo eje, siendo el conductor externo un cilindro separado del conductor interno por medio de un material dieléctrico. El conductor externo, además de conductor de retorno, cumple la función de blindaje, con la consiguiente estabilización de los parámetros eléctricos. El empleo de cables coaxiales permite confinar la señal y limitar las pérdidas que se verifican por radiación cuando las frecuencias de las señales transmitidas sobrepasan los cientos de kHz.

Parámetros característicos:

- Impedancia característica (Ohm): Los valores nominales para los cables coaxiales son 50, 75 y 93 Ohm, Cabe recordar que en un sistema que trabaja a máxima eficiencia, la impedancia del transmisor, la del receptor y la del cable deben ser iguales, de no ser así se producirán reflexiones que degradarán el funcionamiento del sistema
- Impedancia transferencia (Ohm/ m): Eficiencia del blindaje del conductor externo

- Atenuación (dB/m): Es la pérdida de potencia, a una determinada frecuencia, expresada generalmente en decibel cada 100 metros. Varía con el tipo de material empleado y con la geometría del cable, incrementándose al crecer la frecuencia.

Se ha escogido el cable de 50 Ohm que es el más utilizado en comunicaciones e intercomunicación de instrumentación de todo tipo: Interfaces, PC's, equipos e instrumental de laboratorio, etc.

Dentro de las ventajas más importantes de este medio de transmisión están:

- Mayor inmunidad al ruido
- La protección de las señales contra interferencias eléctricas debida a otros equipos, fotocopiadoras, motores, luces fluorescentes, etc.
- Puede cubrir distancias relativamente grandes, entre 185 y 1500 metros dependiendo del tipo de cable usado.

3.2.4.2. Cable convertidor de puerto serial RS232 a USB

El conversor USB opera como un puente entre un puerto USB puerto y puerto estándar RS232.



Figura 7 Cable convertidor serial RS 232 a USB

Fuente: (Startech, 2016)

En la Figura 7, se visualiza el cable convertidor Serial RS232 – USB, que conecta fácilmente a la PC o Hub USB, con cualquier dispositivo RS-232 o conector macho DB-9, tal como PDA, scanner, impresora, para este proyecto se conectará el contador universal de frecuencia.

3.2.4.3. Conector BNC

El conector BNC (Bayonet Neill-Concelman) es un tipo de conector, de rápida conexión/desconexión, utilizado para cable coaxial.

BNC es un tipo de conector usado con cables coaxiales como RG-58 y RG-59 en aplicaciones de RF que precisan de un conector rápido, apto para UHF y de impedancia constante a lo largo de un amplio espectro. Muy utilizado en equipos de radio de baja potencia, instrumentos de medición como osciloscopios, generadores, puentes, etcétera, por su versatilidad.

Se hizo muy popular debido a su uso en las primeras redes Ethernet, durante los años 1980. Básicamente, consiste en un conector tipo macho instalado en cada extremo del cable. Este conector tiene un centro circular conectado al conductor del cable central y un tubo metálico conectado en el parte exterior del cable. Un anillo que rota en la parte exterior del conector asegura el cable mediante un mecanismo de bayoneta y permite la conexión a cualquier conector BNC tipo hembra.

3.3. Diseño del sistema

3.3.1. Construcción del Módulo experimental

Dado que la señal a capturar o señal inducida es muy pequeña se utiliza una caja metálica que cumplirá la función de blindaje contra las interferencias electromagnéticas externas.

El material usado para la construcción de esta caja metálica es aluminio, ya que los buenos conductores son usados para atenuar campos eléctricos. De este modo, cuando la

caja conductora se encuentra expuesta a las ondas de campo eléctrico, esta se polariza quedando cargado de manera positiva en el mismo sentido del campo externo y de forma negativa en la dirección contraria. Esta distribución de cargas eléctricas en la superficie externa de la caja produce un campo eléctrico igual en magnitud al campo eléctrico externo, pero con dirección opuesta, por lo que la suma de los campos en el interior del blindaje se vuelve casi nula.

Dentro de la caja metálica se coloca el cronómetro digital con el circuito que captura la señal de actualización del LCD del cronómetro, en la siguiente figura se muestra la caja metálica. En la Figura 8, se muestra la caja metálica diseñada por la herramienta Solidworks, que sirve de blindaje para frecuencias externas a la calibración

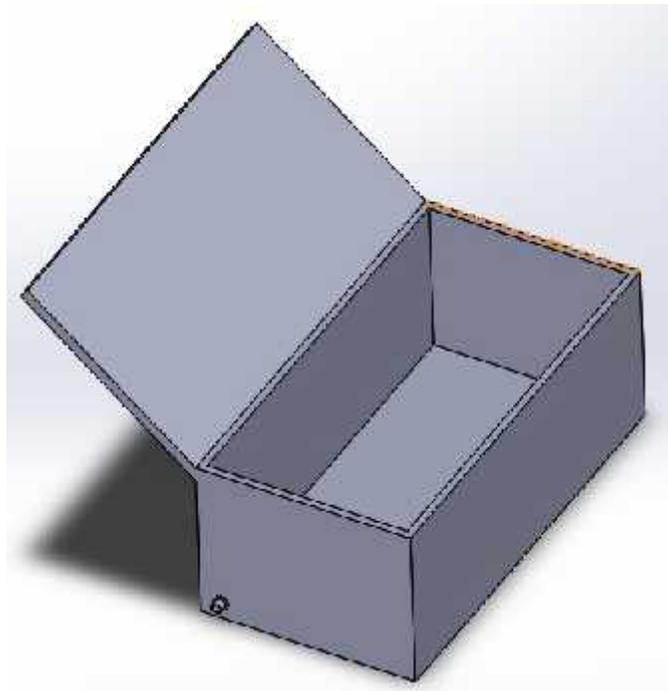


Figura 8 Caja metálica que sirve como blindaje

En la Figura 9, se visualiza el módulo de acrílico en donde estarán el cronómetro en la parte inferior, luego la placa de cobre que capta la señal inducida y encima de esto, separado por una lámina de acrílico el circuito electrónico captador de frecuencia con su sistema de alimentación.

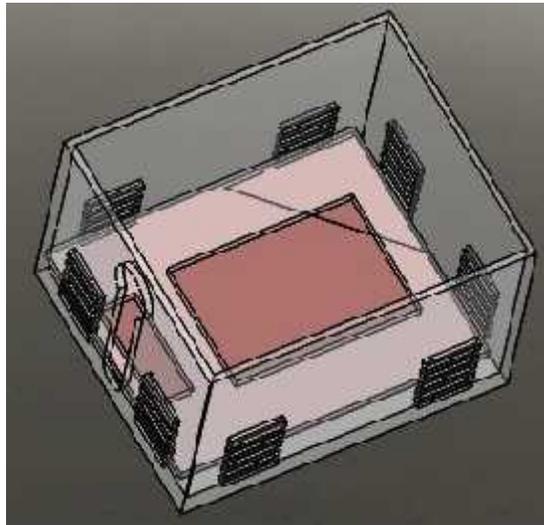


Figura 9 Módulo de acrílico para posicionar elementos

3.3.2. Diseño del sistema electrónico captador de frecuencia

Para la creación del circuito electrónico que permite capturar la señal de actualización de la pantalla LCD del cronómetro digital se ha probado varios amplificadores operacionales, determinando que el mejor amplificador para esta aplicación es el AD704.

El circuito electrónico está basado en un amplificador operacional AD704 de la marca Analog Devices y fue utilizado como comparador. El circuito logra comparar la señal inducida en la placa y cero voltios del circuito (tierra del circuito), con esto cada vez que la señal inducida sea diferente de cero se obtiene una señal del mismo valor de su alimentación.

Para suministrar energía al circuito se utiliza una batería alcalina de 9v DC, por medio de un divisor de frecuencia se obtiene los voltajes de (± 4.5 V) para alimentar el AD704. Para el divisor de frecuencia se utilizó dos resistores de 100k de 1/4watt.

Por precaución a la salida se coloca un condensador de 1nF para eliminar cualquier residuo de corriente continua que pudiera estar presente. En la Figura 10, se muestra el diseño electrónico para captar la frecuencia realizado con la herramienta Proteus.

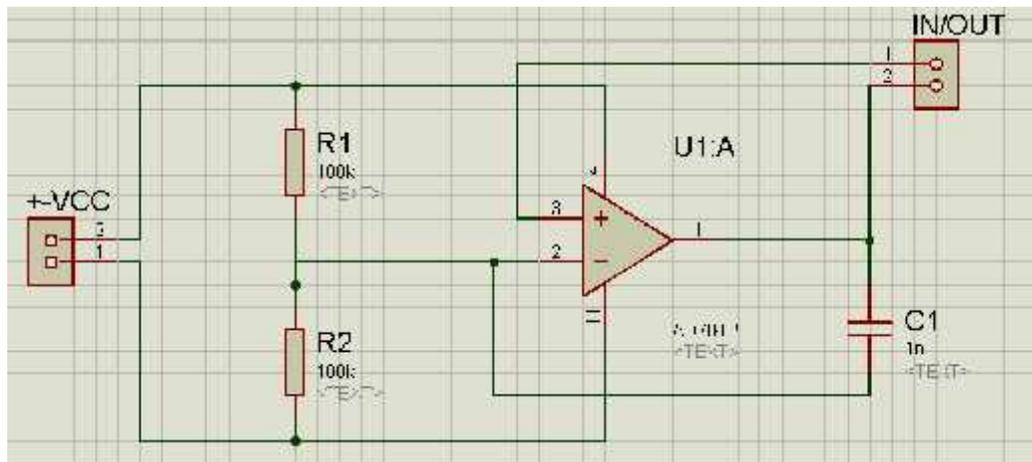


Figura 10 Circuito captador de frecuencia

3.3.3. Diseño del Circuito Impreso en Placa

Se realiza el diseño de la placa usando el software ARES, tal como lo muestra la Figura 11, a través del circuito creado anteriormente, se colocó los elementos de manera que la placa sea lo más pequeña posible ya que esto ayuda a disminuir interferencias en el circuito

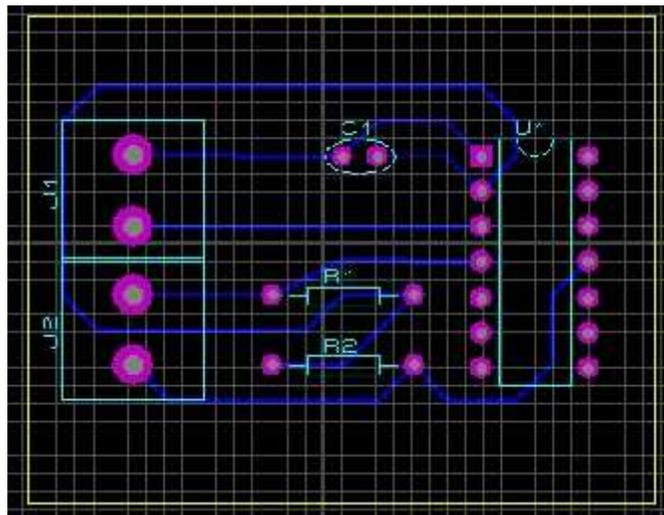


Figura 11 Circuito impreso en placa

3.4. Levantamiento de diagramas

3.4.1. Diagrama de flujo

A continuación, se muestra el diagrama de flujo del programa realizado para el método de inducción y una breve descripción para que se comprenda de mejor manera el funcionamiento del mismo.

La programación se realizó en el software LabVIEW versión 2011 de National Instruments, el cual a través de un lenguaje grafico permitió programar la adquisición y manipulación de datos para este método.

En la Figura 12, se muestra todos los subprocesos de la ventana de Calibración, en donde se inicia la adquisición de datos desde el contador y se hace un filtro para obtener los datos correctos y luego procesarlos con la herramienta estadística (Varianza de Allan) y poder obtener los parámetros que se necesitan para determinar si el cronómetro está funcionando correctamente.

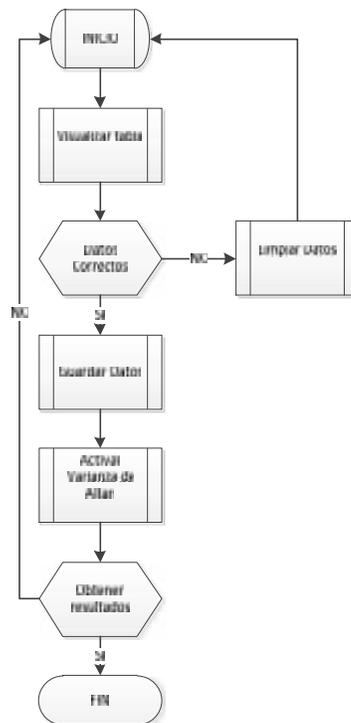


Figura 12 Diagrama de flujo Calibración

3.4.2. Diagrama de conexión

En la Figura 13, se muestra por medio de un diagrama las conexiones que existen entre todos los equipos para formar el sistema que permite capturar la frecuencia, visualizarla y analizarla dentro del software creado en LabVIEW, que permitirá realizar el respectivo análisis de estabilidad de la frecuencia.

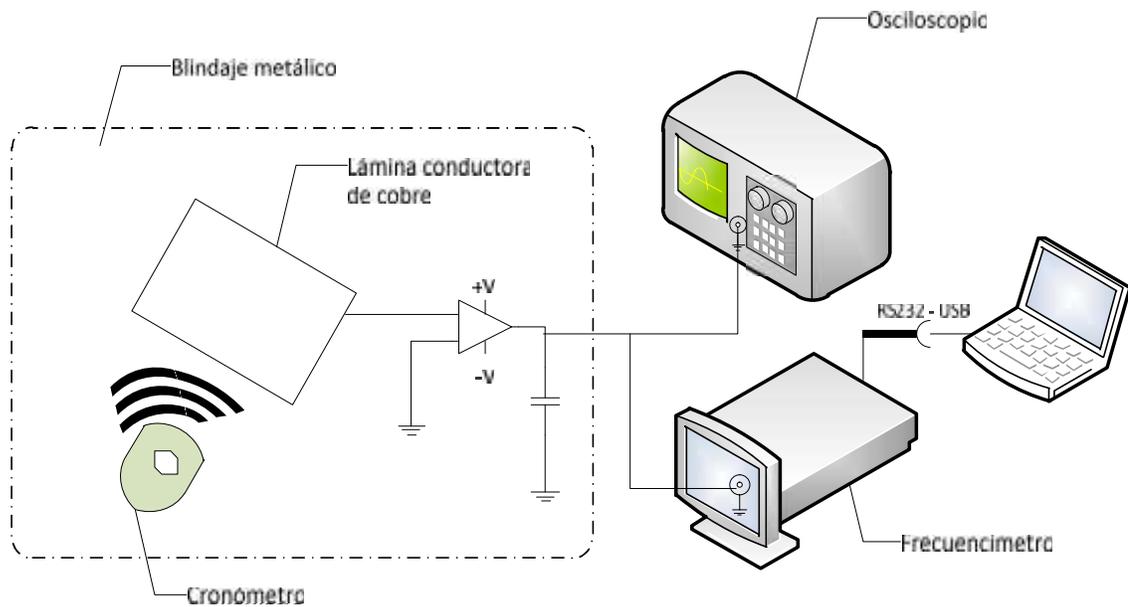


Figura 13 Diagrama de conexión

3.5. Adquisición de datos y aplicación de herramientas estadísticas.

La adquisición de datos se realiza vía puerto serial desde el contador universal hacia el computador, la cantidad de datos que se manejan en el programa depende del operador, es por eso que el operador puede escoger cuantos datos se desea analizar con las herramientas estadísticas que se muestran a continuación.

3.5.1. Varianza de Allan (AVAR)

D.W. Allan presenta en el año 1966 su nueva ingeniosa herramienta para caracterizar la inestabilidad en frecuencia de los patrones atómicos, seguramente no

imaginaría que se convertiría en la herramienta estadística más reconocida en el ámbito de la metrología del Tiempo y de la Frecuencia.

La AVAR es un parámetro estadístico aplicable a una serie continua de valores de desviación normalizada de frecuencia, relacionada con la frecuencia a través de la siguiente ecuación:

$$y(t_0) = \frac{f(t_0) - f_0}{f_0} \quad (1)$$

Siendo f_0 la frecuencia nominal, $f(t_0)$ la frecuencia instantánea en el instante t_0 , e $y(t_0)$ la desviación normalizada instantánea de la frecuencia en ese mismo instante.

La frecuencia instantánea se determina a partir de la variación de la diferencia de fase de la señal, al compararla con otra señal de referencia, en un tiempo infinitesimal y para un instante dado. En la práctica, cualquier instrumento de medida proporciona la frecuencia promediada durante un intervalo de tiempo (ventana temporal o tiempo de integración, que suele denominarse “tau”: τ), lo que es equivalente a calcular una razón de incrementos: diferencias en fase en dos instantes dados, dividido entre el intervalo de tiempo transcurrido entre ambos instantes (τ).

Por lo tanto, la AVAR se aplica a los valores:

$$\bar{y}(t_0, \tau) = \frac{\bar{f}(t_0, \tau) - f_0}{f_0} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x(t_0 + \tau) - x(t_0)}{\tau} \quad (2)$$

Siendo $\bar{f}(t_0, \tau)$ la frecuencia asociada al instante t_0 , promediada durante un intervalo de tiempo τ , y $x(t)$ la diferencia de fase de la señal en evaluación, respecto de la referencia.

Conocidas las diferencias de fase de una señal $x(t)$ a intervalos de tiempo fundamentales τ , suele calcularse la AVAR para tiempos de integración τ y sus

múltiplos, normalmente en décadas (1* , 2* , 4* , 10* , 20* , etc.) u octavas (1* , 2* , 4* , 8* , 16* , etc.).

En la práctica, los pares de muestras de frecuencia adyacentes pueden tomarse “sin solapamiento” (definición formal de AVAR, aplicada a una muestra) o “con solapamiento”. La segunda opción es más sencilla de aplicar y utiliza más información de la señal, aunque entraña más dificultad a la hora de estimar la bondad del estadístico debido a la dependencia derivada del solapamiento.

Para los tipos de ruido habitualmente presentes, la AVAR mantiene una dependencia con τ de tipo potencial. Esta es la razón por la que los diagramas “sigma-tau” (ADEV en función del tiempo de integración τ) son de tipo logarítmico-logarítmico: En este tipo de representación, el exponente de τ , característico según qué tipo de ruido predomine en cierto rango de tiempos de integración, se transforma en la pendiente de la curva característica. Cuando el ruido predominante permanece en un rango de valores de τ , la curva se reduce a una recta. En la Figura 14, se explica el cálculo de la Varianza de Allan.

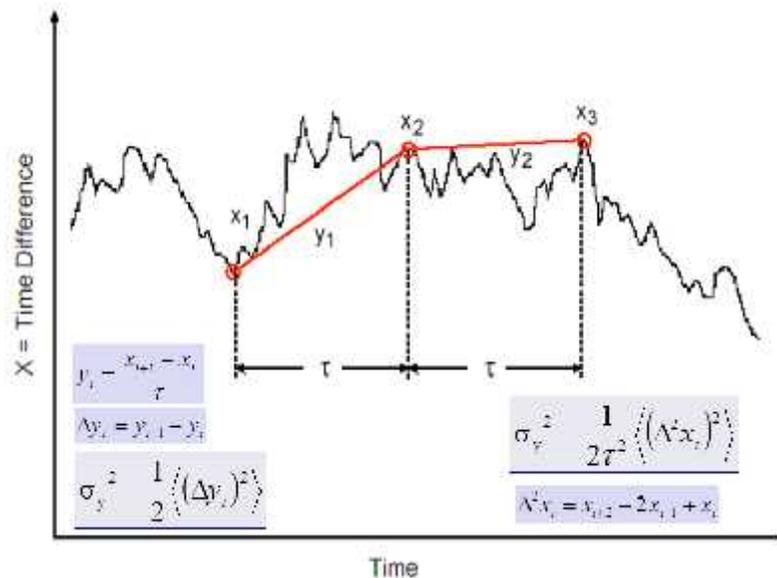


Figura 14 Varianza de Allan

Fuente: (R. M. J., 2010)

3.6. Certificado de Ingreso y Reporte de Calibración.

Para generar el certificado de ingreso primero llenamos todos los campos ya que son obligatorios, una vez hecho esto guarda el documento para luego elegir una impresora e imprimirlo. En la siguiente figura se muestra el diagrama de flujo del certificado de ingreso.

La norma del CMEE pide que el documento este grabado en formato .pdf y con contraseña para que no pueda ser alterado una vez emitido el certificado de ingreso.

Una vez realizado el certificado de ingreso se pasa a la calibración para obtener los datos del análisis de estabilidad de frecuencia que son grabados en dos archivos uno para respaldo de los técnicos que tiene una extensión en Excel .csv y otro que es un archivo .dat que servirá para hacer el cálculo de la varianza de Allan.

Para guardar estos dos documentos se usa el VI Open/Create/Replace File que ayuda a crear o reemplazar un archivo de cualquiera de las siguientes extensiones; (.txt), (.dat), (.csv), luego se determina el formato con el que se desea que se escriba en el archivo usando el VI Write to Spreadsheet File.vi. En la Figura 15 se muestra el diagrama de bloques de la adquisición de datos, que realiza la técnica de inducción por medio de los equipos descritos anteriormente.



Figura 15 Diagrama de bloques Adquisición de Datos

Para concluir se genera el reporte de calibración en donde estará la información importante para el técnico y el cliente, en la Figura 16 se explica el proceso para obtener el reporte de calibración.

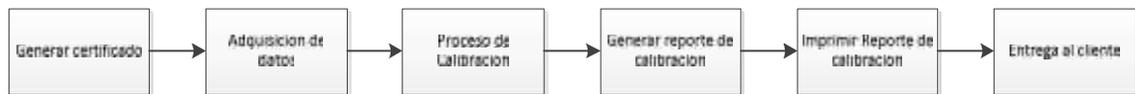


Figura 16 Diagrama de bloques Reporte de Calibración

Los diagramas de flujo del certificado de ingreso y el reporte de calibración se muestran en el capítulo IV ya que son los mismos para el método de inducción y la técnica de procesamiento de imágenes.

CAPÍTULO IV

4. TÉCNICA DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

4.1. Segundo

Una de las magnitudes que más incide en el procesamiento de señales y específicamente en el procesamiento de imágenes es la Unidad de Medida de Tiempo, que para el Sistema Internacional (SI) es el Segundo (s).

El Segundo está definido según el Sistema Internacional: “la duración de 9192.631.770 oscilaciones de la radiación emitida en la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del isótopo 133 del átomo de cesio (^{133}Cs), a una temperatura de 0 K.”

Dentro el procesamiento digital de imágenes, el segundo debe ser tratado con un cuidado apropiado, pues al ser este un proceso donde se desea calibrar equipos de tiempo mismo, se debe por medios computaciones reducir al máximo cualquier tipo de influencia externa e interna que puedan afectar los resultados esperados. Más adelante se analizará la influencia del tiempo, en los resultados de este procedimiento.

4.2. Visión por computadora

La visión por computadora, no es más que realizar la adquisición, procesamiento, clasificación y reconocimiento de imágenes digitales. Esta visión en computadora es muy utilizada en empresas internacionales con el fin de obtener información de facturas de sus clientes con el fin de reutilizar la información de dichos documentos para poder obtener mayor cantidad de datos en beneficio de la empresa.

4.3. Imagen

Una imagen no es más que un arreglo de píxeles con diferente intensidad luminosa (escala de gris). Donde pixel no es más que el elemento básico de una imagen. (Esqueda, 2012).

En la Figura 17, se indica un arreglo bidimensional de píxeles, datos que se deben procesar para determinar la información característica de cada imagen.

		x			
		→			
		0	1	1	2
		7	6	6	5
		6	0	4	0
		5	5	1	2
y	↓				

Figura 17 Imagen de 16 pixeles

Fuente: (Esqueda, 2012)

Si la intensidad luminosa de cada píxel se representa por n bits, entonces existirán 2^n escalas de gris diferentes, en este caso.

Matemáticamente, una imagen se representa por:

$$r = f(x, y) \quad (3)$$

Donde r es la intensidad luminosa del píxel cuyas coordenadas son (x, y) . Matemáticamente, un sistema para procesar imágenes se representa como:

$$g(x, y) = T[f(x, y)] \quad (4)$$

4.3.1. Color

El color se forma mediante la combinación de los tres colores básicos rojo, azul y verde (en inglés RGB). A continuación, se presentan algunas definiciones básicas para comprender los espacios de color:

- Brillo. - Indica si un área está más o menos iluminada.

- Tono. - Indica si un área parece similar al rojo, amarillo, verde o azul o a una proporción de ellos.
- Luminosidad. - Brillo de una zona respecto a otra zona blanca en la imagen.
- Croma. - Indica la coloración de un área respecto al brillo de un blanco de referencia.

Para obtener una imagen a color debe transformarse primero los parámetros cromáticos en eléctricos y representar los colores, lo cual puede realizarse de diferentes maneras, dando lugar a diferentes espacios de colores o mapas de color.

4.3.2. Espacio RGB

“Se basa en la combinación de tres señales de luminancia cromática distinta: rojo, verde, azul (*Red, Green, Blue*). La forma más sencilla de obtener un color específico es determinar la cantidad de color rojo, verde y azul que se requiere combinar para obtener el color deseado”, ver la Figura 18; en la cual se realiza la suma aritmética de las componentes: $X = R + G + B$, gráficamente representada por un cubo. (Esqueda, 2012)

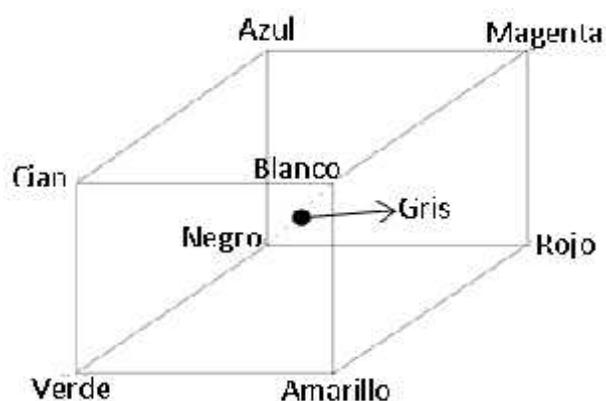


Figura 18 Espacio de colores RGB

Fuente: (Esqueda, 2012)

En la recta que une el origen con el valor máximo se encuentran ubicados los grises (escala de gris) debido a que sus tres componentes son iguales. Cuando una cámara adquiere una imagen a color, para cada píxel en color se tienen en realidad 3 componentes, una para cada uno de los colores básicos (rojo, verde y azul); la ganancia máxima para cada componente corresponde a la longitud de onda de los tres colores básicos.

4.4. Detección de caracteres patrones

La detección de patrones ha sido a lo largo de la historia computacional un problema clave, pues este proceso se ve afectado por influencia de factores externos que hacen de la visión computacional una rama de la computación más susceptible a errores, por lo que el ruido, la luz y los errores inherentes al procesamiento de imágenes como velocidad de procesamiento y resolución toman importancia.

Otra técnica de calibración que se utilizó en el CMEE, es el reconocimiento de caracteres basados en la selección de puntos y la comparación con un patrón previamente definido.

Para realizar el trabajo de reconocimiento de caracteres, en el caso del cronómetro UBP (Unidad Bajo Prueba), se deberá tomar patrones de referencia como lo son los indicadores de milésimas, segundos, minutos y horas, tal como la indica la Figura 19.

La detección de la imagen en tiempo real, a su correspondiente OCR; dependerá de la distancia a la que se encuentre el lente de la cámara de la pantalla LCD del cronómetro, de la resolución de la cámara, del tamaño del display del cronómetro, de la velocidad de obturación de la cámara, de los procesos computacionales que realiza la computadora que capta las imágenes y de la red inalámbrica que se configura para el trabajo de las cámaras, pues alguna falla en algunas de las consideraciones anteriores hará que se deba realizar nuevamente la configuración de las cámaras y el lugar de posicionamiento del cronómetro.



Figura 19 Patrones en el cronómetro

4.4.1. Adquisición de imágenes

Para la adquisición de imágenes en tiempo real se vio la necesidad en primera instancia de comprar cámaras especializadas para este tipo de trabajos, pero problemas logísticos del CMEE, no se pudo contar a tiempo con estas cámaras, por lo que se desarrolló la adquisición de imágenes por medio de dos cámaras de celular (Samsung Galaxy S4), las cuales tienen la tarea de convertir las ondas de luz en señales eléctricas o a su correspondiente formato de video.

Una vez establecido esta deficiencia en el proyecto, se procedió a verificar otras fuentes de posible solución al problema planteado, por lo que se vio la factibilidad de utilizar un Reloj de Rubidio para tomar datos directos de tiempo por protocolo ETHERNET y direccionamiento IP, junto con una sola cámara de alto obturado que posiblemente se iba a adquirir, pero esta teoría se diluyó debido a que no por Norma NTE ISO/IEC 17025, se prohíbe toma datos de patrones de trazabilidad para procesos de calibración.

Ya para el proceso final se utilizó 2 cámaras de celular Samsung S4 y como software el aplicativo IP CAMERA, que se lo graba e instala en el ordenador donde se va a controlar el procedimiento de calibración, y en el celular se procede a descargar de forma gratuita de PLAY STORE la aplicación llamada IP WEBCAM, que cumple la función de convertir la cámara del celular en una cámara web para el procesamiento de imágenes. Solucionando así el problema de toma de datos por cámaras para tratamiento OCR. Además, se apoyó en el Módulo de NI-Visión de LabVIEW para realizar la programación de la captura, reconocimiento, aplicación de filtros y presentación de los

resultados obtenidos gracias a las herramientas OCR (Reconocimiento Óptico de Caracteres) que brinda este módulo de LabVIEW.

Para utilizar las cámaras de los celulares como WEBCAM se sigue el siguiente algoritmo que se detalla en la Figura 20:

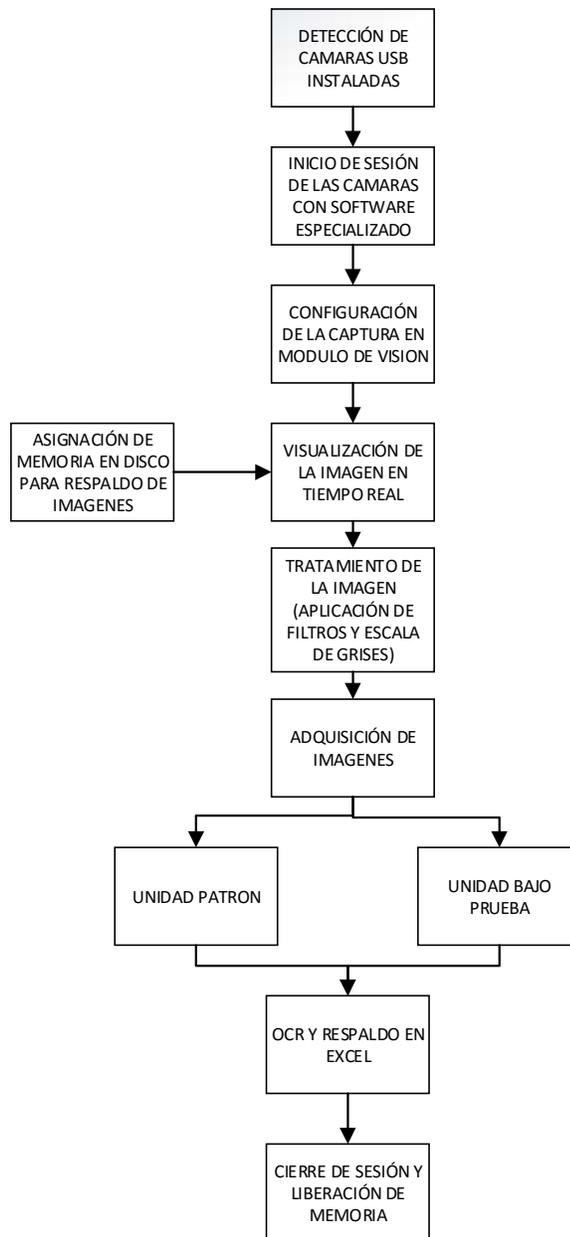


Figura 20 Algoritmo de adquisición de Imagen

4.4.2. Almacenamiento de imágenes

Para realizar el almacenamiento de las imágenes como un respaldo del trabajo y de la toma de datos dentro del programa se ubicó que esta información se almacene en la dirección D:\fotos para el respaldo de las fotos del cronómetro del patrón de trabajo y D:\fotos1 para el respaldo de las fotos de la UBP (Unidad Bajo Prueba).

4.4.3. Manejo o procesamiento de la imagen a través de la computadora.

Para el manejo o procesamiento de la imagen, se debe mencionar que se utiliza parte de los conocimientos adquiridos en la materia de Álgebra Lineal, ya que, en computación, una imagen para ser modificada se le realiza a través del manejo de operaciones con matrices.

Pero aquí nace la pregunta ¿Cuál es la relación entre matriz e imagen?, La respuesta es que una matriz, es un arreglo bidimensional de números, mientras que la imagen es un arreglo de elementos llamados píxeles, en donde cada píxel determina un espacio de memoria en la computadora, donde se almacena un número que representa la definición de color y de brillo de una parte de la imagen y que por influencia de métodos computacionales se podrá hacer cambios en la resolución de las imágenes.

4.4.3.1. Representación de imágenes mediante matrices

Cualquier color puede ser representado mediante la combinación RGB (Rojo, Verde, Azul), cada uno en diferente proporción. La combinación estándar, muestra 256 niveles por cada canal, es decir por cada color. Cabe mencionar que cada color se deberá a un único componente numérico RGB.

En la Figura 21, se muestra la relación que existe entre los planos RGB y las imágenes, el momento que se desea realizar una descomposición de colores para un tratamiento efectivo de la imagen.



Figura 21 RBG en las imágenes

Fuente: (Esqueda, 2012)

Para cambiar la apariencia de la imagen, se debe modificar de alguna manera esta matriz resultante de la imagen o matriz de píxeles, con el fin de obtener información, mejorar la nitidez, el brillo o simplemente afectar su estructura original con fines propios.

4.4.3.2. Filtros aplicados a la imagen

Un filtro se aplica a una imagen con el fin de:

- Suavizar la imagen. - Reducir la cantidad de variaciones de intensidad en píxeles vecinos. (Esqueda, 2012). La Figura 22 muestra una imagen aplicada un filtro suavizador.

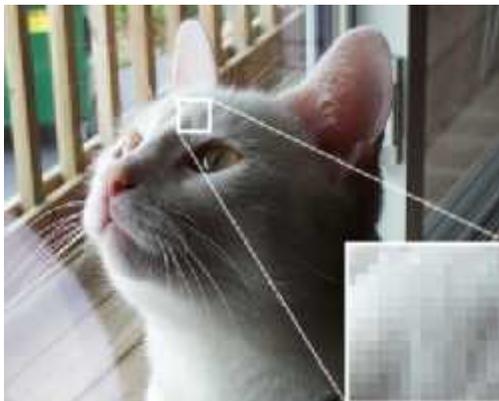


Figura 22 Imagen suavizada

Fuente: (Esqueda, 2012)

- Eliminar ruido. - elimina aquellos pixeles cuyo nivel de intensidad es muy diferente al de sus vecinos. (Esqueda, 2012). . La Figura 23 se muestra una imagen aplicada un filtro eliminar de ruidos.



Figura 23 Imagen con filtro elimina ruidos

Fuente: (Esqueda, 2012)

- Detectar bordes. - detectar los pixeles donde se produce un cambio brusco en la función intensidad, es el filtro más utilizado en operaciones OCR. (Esqueda, 2012). . La Figura 24 muestra una imagen aplicada un filtro para detectar bordes relevantes de una imagen.

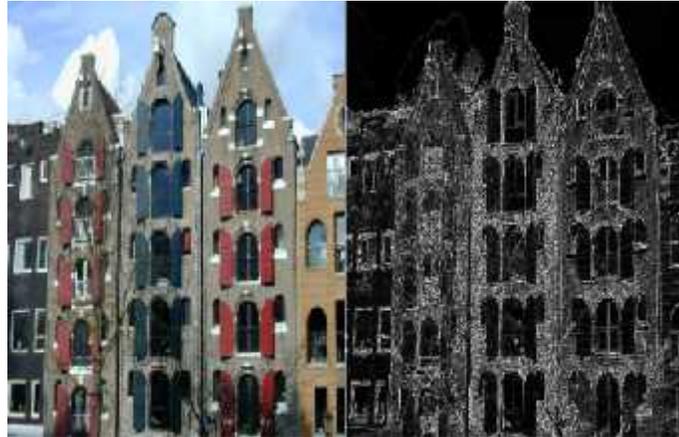


Figura 24 Imagen detecta bordes

Fuente: (Esqueda, 2012)

- Realzar bordes. - Detectan los bordes que se localizan en una imagen. (Esqueda, 2012). La Figura 25 muestra una imagen con un filtro que permite el realce de bordes para una efectiva toma de características de la imagen.



Figura 25 Imagen realzada bordes

Fuente: (Esqueda, 2012)

4.4.3.3. Transformaciones Geométricas de la imagen

Las transformaciones geométricas en la imagen no son más que ciertas modificaciones de origen matricial, que modifican cierta relación espacial entre píxeles de la imagen. Estas transformaciones pueden ser de dos tipos:

- Transformación espacial propiamente dicha, que es un cambio en la ubicación de los píxeles en el plano de la imagen.
- Interpolación de los niveles de grises, que son estrechamente relacionados con la intensidad de los píxeles de la imagen.

4.4.3.3.1. Ajuste de Brillo

Es uno de los ajustes más elementales dentro del ajuste de la imagen y uno de los más empleados el momento de tratar en plano de imagen.

Brillo no es más que un porcentaje de luminiscencia u oscuridad de un color, puede ir de un 0% que significa negro, hasta un 100% que significa blanco.

Matricialmente, brillo se afecta gracias a la operación siguiente operación:

$$\begin{pmatrix} m_1 & m_1 & \dots & m_{1n} \\ m_2 & m_2 & \dots & m_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{m1} & m_{m2} & \dots & m_m \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} (p, p, p) & (p, p, p) & \dots & (p, p, p) \\ (p, p, p) & (p, p, p) & \dots & (p, p, p) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (p, p, p) & (p, p, p) & \dots & (p, p, p) \end{pmatrix} = C \quad (5)$$

4.4.3.3.2. Ajuste de canales

Consiste en manejar únicamente un canal RGB a la vez, con el fin de mejorar la toma de información de la imagen en análisis.

$$\begin{pmatrix} m_1 & m_1 & \dots & m_{1n} \\ m_2 & m_2 & \dots & m_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{m1} & m_{m2} & \dots & m_m \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} (0, p, 0) & (0, p, 0) & \dots & (0, p, 0) \\ (0, p, 0) & (0, p, 0) & \dots & (0, p, 0) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (0, p, 0) & (0, p, 0) & \dots & (0, p, 0) \end{pmatrix} = C \quad (6)$$

Gracias al módulo de visión de NI Labview, esta programación se simplifica, ya que muchos de estos filtros, se encuentran materializados en la plataforma, por lo que un uso apropiado dará éxito en el procesamiento de la imagen.

4.4.4. Aplicación de configuraciones dentro del Módulo Visión de NI

Dentro del diagrama de programación del Ambiente de LabVIEW, se procede a tomar el asistente de Visión and Motion; dentro de este se encuentra Visión Express, de donde se procede a tomar el asistente para la configuración de la cámara web con la cual se trabajará (Visión Acquisition).

El icono de Visión Assistant, implementará el Modulo de OCR y los respectivos filtros de tratamiento de la imagen para obtener el carácter reconocido.

Ya dentro de este icono de Visión Assistant, se procede a identificar la imagen a trabajar y a ingresar al procesamiento de funciones de la imagen, específicamente a la parte de color, en donde se va a modificar la imagen tendiente a obtener solo los caracteres de importancia.

Para este proyecto se determinó la siguiente secuencia de configuraciones para dar un tratamiento apropiado de la imagen adquirida previo al proceso de OCR, tal como se muestra en la Figura 26, en donde se verifica la secuencia previa que le programador debe de realizar, previa a la especificación de áreas de detección OCR.

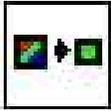
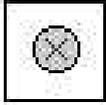


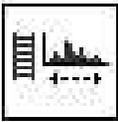
Figura 26 Configuración de la imagen previa a la técnica OCR.

En la Tabla 5 se muestra los resultados por icono insertado en el módulo de visión, en donde se puede evidenciar cuales con los cambios que sufre la imagen previo a la detección de áreas OCR:

Tabla 5

Resultados de aplicación de iconos de configuración Modulo Visión NI

ORD.	ÍCONO DEL MODULO	IMAGEN ORIGINAL	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	IMAGEN RESULTANTE
1	 Original Image Original Image		<p>Este icono se crea por defecto de la adquisición de la imagen del Asistente de Visión</p>	
2	 Color Plane Extraction		<p>Se determina los planos trabajo de color de imagen en sus tres gamas (RGB, HSL y HSV).</p> <p>Se ha escogido el modelo del color RGB en un plano rojo</p>	
3	 Filters		<p>Preparar a la imagen para el procesamiento, extrayendo solo la información que se necesita en este caso se filtra ruidos existentes con un filtro suavizador pasa bajos</p>	
4	 Threshold		<p>Consiste en seleccionar rangos de trabajo apropiados en los pixeles de la imagen a un rango de escala de gris. Objetivo es obtener solamente la información primordial para el OCR. Elimina el efecto de luz sobre la imagen</p>	 Continúa →

5	 <p>Adv. Morphology</p>		<p>Consiste en convertir la imagen a información binaria, removiendo pequeños objetos que afectan a la imagen. Se utilizó una opción de dilatación con una medida de 3 X 3 con una sola iteración.</p>	
6	 <p>Lookup Table</p>		<p>Da un brillo y un contraste más apropiado aplicando a los datos binarios obtenidos. Se utilizó la función ecualizable que mejor resultado dio al ser un fondo negro y dígitos blancos.</p>	

4.5. Reconocimiento Óptimo de Caracteres (OCR)

El Reconocimiento Óptimo de Caracteres (OCR), es una aplicación que en la actualidad ha tomado importancia debido al gran número de información que se maneja de forma digital, que una vez salida al usuario final y al no tener métodos de recuperar esa información, OCR es una solución para de documentos ya escritos regresarlos a una forma digital para su nuevo tratamiento.

Es por esta razón y basados en el proceso que se desea automatizar, OCR, lleva a cabo la conversión del texto que aparece en una imagen a caracteres legibles e iguales en el ordenador con el fin de nuevamente ser procesados y utilizados por cualquier otro programa de edición.

El Reconocimiento Óptimo de Caracteres se basa entonces según el proceso detallado anteriormente en una imagen legible de solo dos niveles de grises (Blanco y Negro). De aquí la identificación de caracteres se lo realizará computacionalmente a través de patrones o plantillas que contienen toda la información necesaria para poder convertir esta imagen en dato.

Este procedimiento de conversión se ve afectado por factores externos e internos que se detalla a continuación:

- El dispositivo que introduce o capta la imagen es este caso la cámara del celular utilizado como una cámara WEB, puede introducir información adicional a la imagen.
- La resolución de estas cámaras puede introducir ruidos adicionales afectando los pixeles de la imagen motivo de análisis.
- La distancia de separación entre la imagen y la cámara afecta gravemente la selección del carácter.
- La influencia de fuentes lumínicas adicionales puede afectar los filtros o los rangos de funciones del color de la imagen.
- La conversión a OCR se la realiza solo de los patrones que se seleccionaron para su aplicación.
- La conversión de la imagen a caracteres se lo realiza carácter a carácter para evitar problemas en su conversión.

En este proceso de calibración tanto en la UBP (Unidad Bajo Prueba) y en el patrón de trabajo se realizaron la selección de 4 campos (Milésimas de segundo, segundos, minutos y horas) para la conversión de imagen a carácter, se especifica áreas de identificación tal como se muestra en la Figura 27 y 28, de los dos elementos de prueba que se plantean para la calibración de cronómetros con el método de procesamiento de imágenes.



Figura 27 Localización de caracteres UBP (Unidad Bajo Prueba)



Figura 28 Localización de caracteres Patrón de trabajo.

Dentro del módulo de Visión NI, se procede a implementar un OCR icono por cada campo que se desea convertir, en este icono se procede al ingresar al mismo se debe determinar al área en la cual se encuentra el carácter motivo de análisis, luego se procede a editar las reglas de entrenamiento.

Así se evidencia la Figura 29, donde se procede a seleccionar el área a realizar el OCR para su entrenamiento, una vez seleccionada esta área, se procede a editar las reglas de entrenamiento, se abrirá la pantalla de la Figura 30, en donde básicamente se procede a definir los parámetros de detección, de brillo y de uniformidad de la detección OCR. Cabe resaltar que este entrenamiento es prioridad número uno, el momento de ejecutar la implementación de esta técnica sin este paso previo no se podrá realizar el Reconocimiento Óptico de caracteres (OCR).



Figura 29 Selección del área del OCR



Figura 30 Ventana reglas de entrenamiento OCR

En este instante aparece otra ventana en donde se procede a hacer un entrenamiento previo a la puesta en marcha. Para salir de esta ventana, se debe guardar el entrenamiento que se realizó para que la planilla se pueda ejecutar en futuras fases de entrenamiento.

Este entrenamiento se lo realiza con los 9 dígitos que pueden aparecer en el cronometro en las diferentes posiciones, considerando que cada digito tendrá una regla de entrenamiento diferente.

Se debe mencionar que los lugares en donde se seleccionó la identificación OCR pueden verse afectadas en cada calibración por lo que un conocimiento apropiado por parte del operador el momento de realizar la calibración de la herramienta de VISION NI es fundamental, cuando se requiera realizar este procedimiento.

4.6. Levantamiento de planos

4.6.1. Circuitos a implementarse

Los circuitos que se van a implementar para este módulo de Visión son básicamente para el encendido de los focos LEDs que van dentro del módulo de entrenamiento, además el control del encendido o puesta en marcha de los cronómetros para su calibración. La Figura 31, muestra el circuito básico de encendido de LEDs y de paso de 5 voltios a los bornes de arranque de los cronómetros. ,

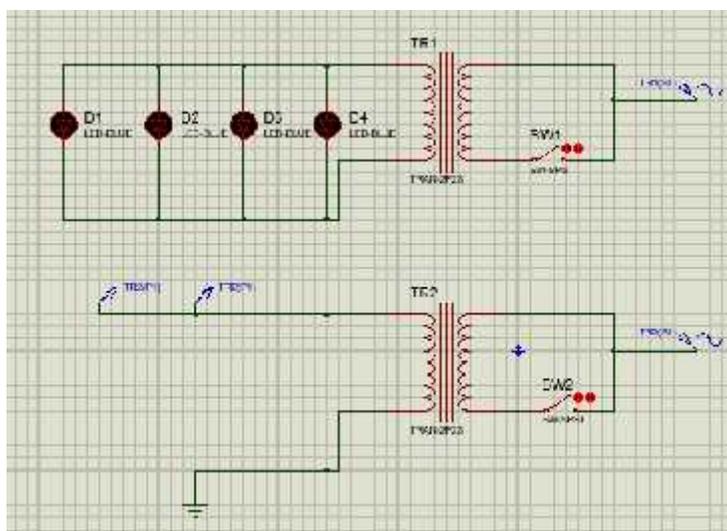


Figura 31 Diagrama eléctrico encendido LEDs y arranque de cronómetros

4.7. Diseño del módulo experimental

4.7.1. Planos de la estructura del módulo de visión

Para la elaboración del módulo de Visión para el proceso de calibración se utilizó la herramienta computacional de SolidWorks 2013 para poder visualizar su apariencia final gracias a las bondades del programa y su renderizado en 3D. ANEXO “A” (PLANOS DEL MODULO DE VISIÓN).

La Figura 32, muestra un renderizado del módulo final de Visión con la herramienta Solidworks.

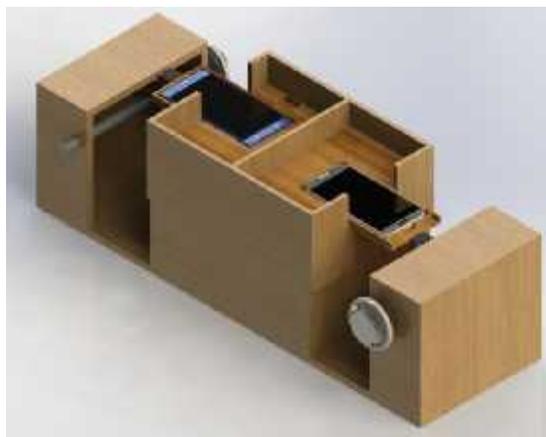


Figura 32 Módulo de Visión SolidWorks 2013

4.7.2. Reporte de calibración según Norma INEN ISO/IEC 17025

Los reportes de calibración en el CMEE (CENTRO DE METROLOGÍA DE LA FUERZA TERRESTRE), son los documentos que permiten validar un trabajo de calidad y de alta eficiencia, es por esta razón que un manejo apropiado dará más control y éxito en su manejo.

Es por esta razón que a estos documentos se los maneja al igual que el CMEE, bajo la Norma INEN ISO/IEC 17025 con el fin de mantener los estándares de calidad y eficiencia.

En estos documentos básicamente se detallan los patrones con los cuales se realizó la calibración, los rangos de incertidumbre permitidos y la Varianza de Allan a la cual funciona dicho equipo.

Los reportes y certificados de calibración que emite en CMEE (CENTRO DE METROLOGÍA DE LA FUERZA TERRESTRE), todos sus formatos se encuentran planteados en el Manual de Calidad y Competencia del Laboratorio de Calibración según la Norma INEN ISO/IEC 17025, formatos que se generaron por el Centro de Metrología según la indica la Norma 17025 en el Capítulo 4.3, referente al control documental, políticas de seguridad, aprobación y revisión de documentos y procedimientos adoptados para minimizar los riesgos, que se encuentran contemplados

en la norma, más todos los mecanismos de seguridad adoptados tendiente a evitar cambios por conflictos de interés en documentos, generando copias controladas por Passwords, y generando documentos que eviten la reproducción, descarga y modificación de los resultados de la calibración.

Es por esta razón que uno de los requerimientos del cliente fue la creación de dos tipos de documentos, un documento tipo Word para evidenciar ante organismos de control la elaboración del documento y otro tipo PDF con las restricciones de impresión, descarga, edición, con la finalidad de ingresar a un repositorio digital de trabajos realizados en el mes.

Los reportes de calibración previa a su legalización como “documentos habilitantes deberán pasar las pruebas de validación y estimación de los resultados”, (CMEE, 2015) generar un nuevo procedimiento bajo la modalidad automática que sea de mejora al sistema de calidad actual, por lo que este reporte emitido, previa la asesoría del cliente es una propuesta validada de acuerdo a las necesidades del cliente.

Para la elaboración de reportes de calibración, se debe ingresar todos los datos que la NORMA NTE ISO/IEC 17025 exige para la divulgación de un reporte, completados estos datos, se toma los datos de la calibración, se ubica un documento en Word, donde se ubicará el certificado, se seleccionará una impresora virtual .pdf, para respaldar este documento creado con fines de auditoria, se imprimirá mencionado documento y finalmente se enviará un correo al jefe técnico indicando el cumplimiento de la calibración. Esta misma secuencia se seguirá con la emisión de los certificados de calibración según la NORMA NTE ISO/IEC 17025.

A continuación, en las figuras 33 y 34, mediante un diagrama de flujo, se detalla cómo se obtiene el reporte y el certificado de calibración con la herramienta LabVIEW, y bajo los lineamientos de la NORMA NTE ISO/IEC 17025.

Reporte de calibración ver ANEXO “A” (REPORTE DE CALIBRACIÓN)

Certificado de calibración ver ANEXO “B” (CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN)

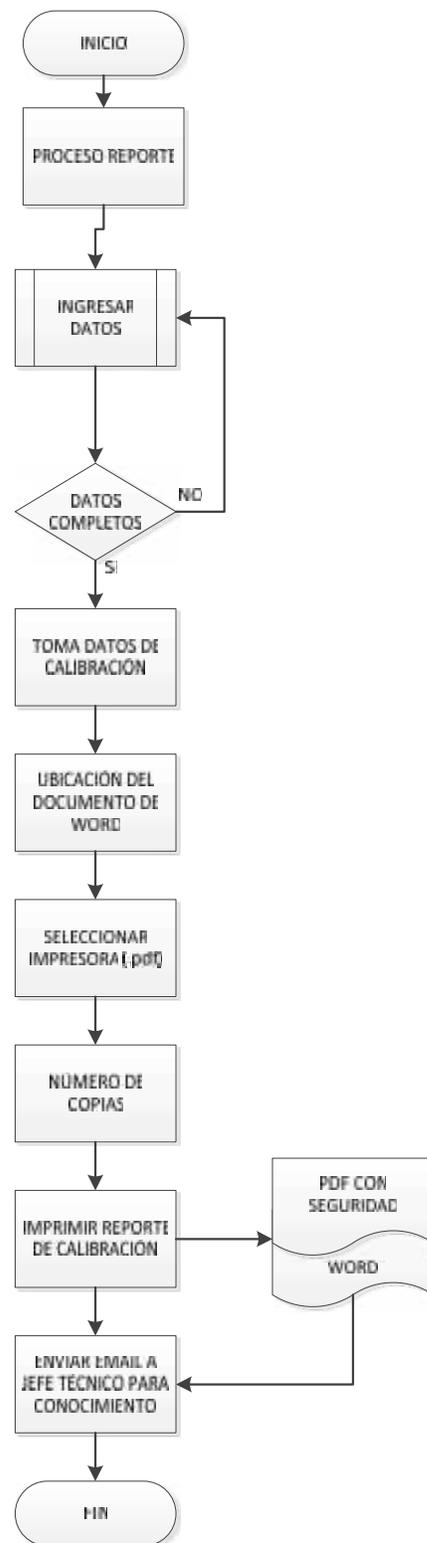


Figura 33 Diagrama de flujos de elaboración de reporte de calibración

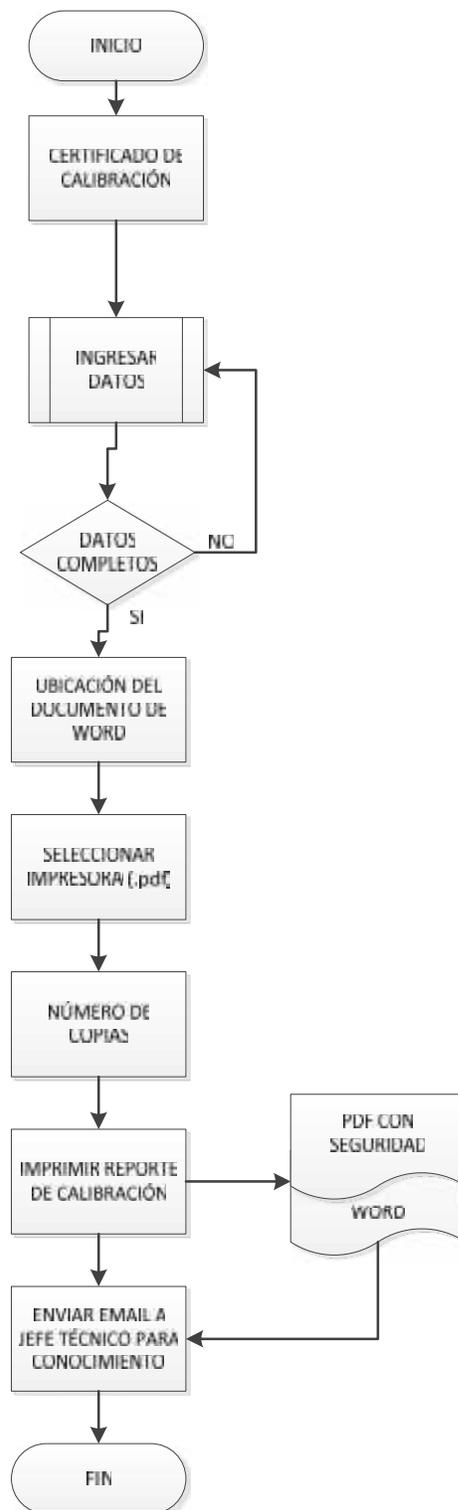


Figura 34 Diagrama de flujos de elaboración del Certificado de Calibración

CAPÍTULO V

5. INTERFAZ HUMANO – MÁQUINA PARA REPORTE

5.1. Diseño de la interfaz humano – máquina

La guía ergonómica de diseño de interfaces de supervisión (GEDIS), ha sido enfocada a ambientes industriales para salas de supervisión computarizadas y centralizadas.

La primera fase de la guía GEDIS contiene especificaciones de los principales elementos de la interfaz tales como la arquitectura, la navegación los estándares de colores, fuentes, simbología, etcétera, siguiendo un orden que será propuesto más adelante.

Por otro lado, como su especificación no es el producto final de la interfaz, es necesario desarrollar las pantallas de la misma ya sea conforme se vayan definiendo los elementos o bien, al final cuando la especificación este completa.

El consejo para la fase de desarrollo de las pantallas es el de seguir el primer enfoque, esto es, generar pantallas tan pronto existan elementos suficientes para iniciarlas, ya que de esta manera se puede ir depurando los prototipos y teniendo retroalimentación del producto elaborado.

5.1.1. Especificación de los Elementos de la Interfaz

Los elementos primordiales para una interfaz extraída de una investigación documental extensa de la Guía GEDIS, se han ordenado de lo general a lo particular tal como se muestra en la Figura 35, en donde según la guía Gedís, se recomienda dividir el trabajo de diseño de interfaces con niveles de diseño, planeamiento y ejecución, lo que permitirá un trabajo más efectivo y ordenado, además que dará a los clientes de esta futura interfaz orden en su operación y niveles de seguridad apropiados.

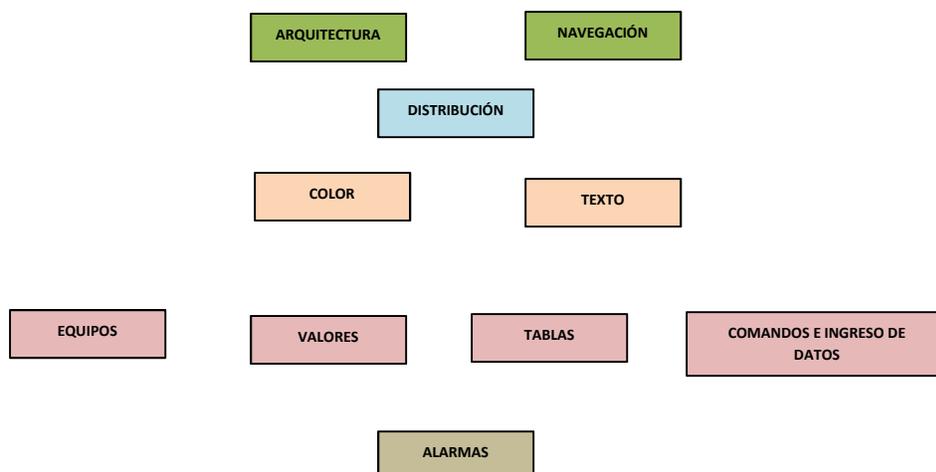


Figura 35 Esquema general de la metodología de desarrollo de la interfaz

Se siguió una secuencia para la especificación de la interfaz del Laboratorio de Tiempo del CMEE y específicamente del proceso de calibración de cronómetro, parte de los niveles superiores y va descendiendo hasta definir los aspectos específicos tales como la representación de los equipos, los valores analógicos, las alarmas y los comandos del operador.

Ahora bien, para cada uno de los diez pasos de la metodología GEDIS descritos arriba y con la finalidad de obtener las directrices más relevantes de cada uno de ellos se aplicó el procedimiento de investigación documental, obteniéndose los siguientes resultados relativos a la especificación de los elementos de una interfaz persona-máquina en salas de control centralizadas y computarizadas para procesos industriales

Como cada proceso tiene particularidades propias, los elementos de interfaz que serán descritos no son los únicos, pero si los más comunes, lo que significa que, al aplicar la metodología propuesta, estos conceptos podrán enriquecerse de acuerdo a las características específicas de cada aplicación.

5.1.2. Normas utilizadas

Las normas que se consideraron para la elaboración de la HMI (Interfaz Humano máquina) fueron:

- Norma INEN ISO/IEC 17025
- Guía GEDIS para desarrollo de interfaces.

5.1.3. Diseño de la HMI (según Guía GEDIS)

5.1.3.1. Criterios para el diseño y plantillas

5.1.3.1.1. Arquitectura y navegación

Para iniciar con el proceso de desarrollo, se estableció un mapa donde se definirán de manera general las diferentes pantallas con las que contará el operador para interactuar con el sistema de automatización y control del proceso de calibración.

Este mapa tiene las relaciones lógicas entre las pantallas de manera que pueda también servir posteriormente al diseño de la navegación del sistema. El mapa genera un listado que muestre las pantallas y su función específica. Los tipos de pantallas que deberán ser incluidas en este primer paso de la metodología.

La Figura 36, muestra la arquitectura tipo que se utilizará en el desarrollo de la HMI.

Es importante notar que en este paso de la metodología solamente se establecerá que pantallas deberán desarrollarse, pero NO se diseñarán propiamente.

Con la finalidad de llevar a cabo la especificación de la arquitectura se siguió las siguientes directrices:

- La arquitectura en forma de mapa debe reflejar la organización de la institución.
- Es mejor definir arquitecturas anchas que profundas para que el operador pueda acceder más rápidamente la información requerida
- Se recomienda también que el número de capas de la jerarquía no exceda de cuatro niveles



Figura 36 Arquitectura tipo de la HMI

Dentro de la navegabilidad que tendrá esta HMI, la Figura 37 evidencia mediante un diagrama de Flujo de la información la forma en la que se va a comunicar la HMI con sus diferentes ventanas del aplicativo.

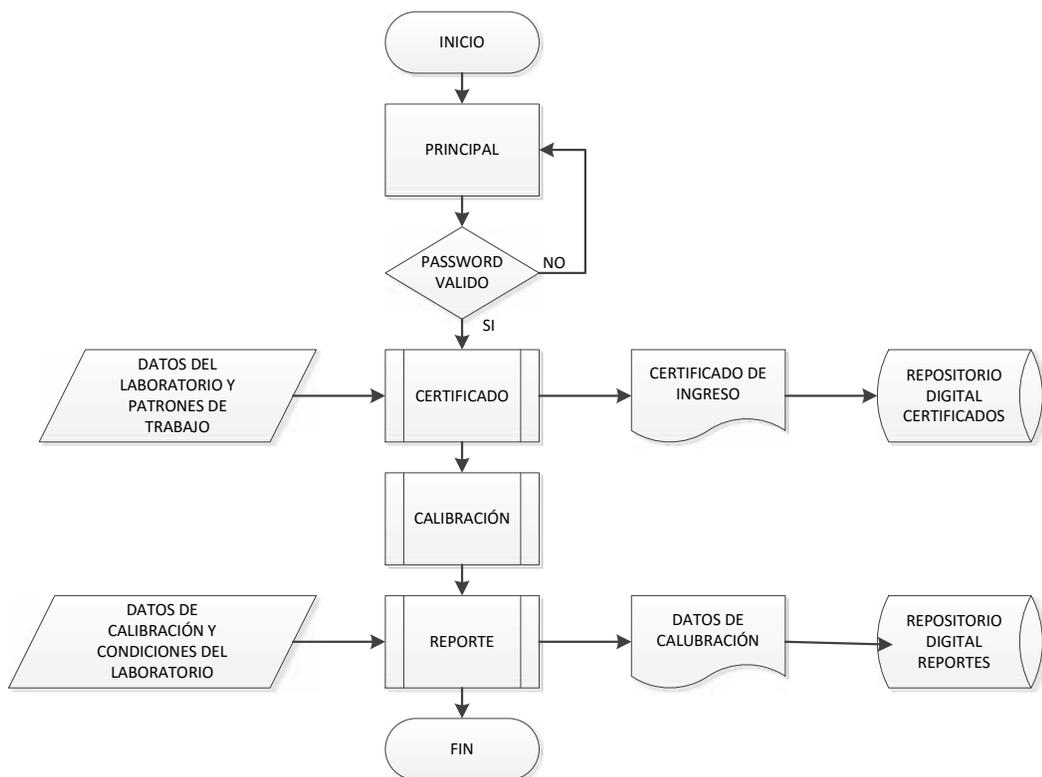


Figura 37 Diagrama de Flujo de navegabilidad de la HMI

5.1.3.1.2. Distribución de pantallas

En el segundo paso de la metodología se deben desarrollar las plantillas que regirán el desarrollo de la interfaz.

Se definirá formalmente la tipología de las pantallas, esto es, se deberá establecer cuantas clases de pantallas serán desarrolladas (mientras menor el número es mejor), para posteriormente generar una plantilla general para cada una de ellas. En estas plantillas luego de un análisis de los usuarios se determinó que no deberá prescindir de la siguiente información:

- Ubicación del título de la pantalla, hora, fecha y logotipo de la empresa.
- Si será utilizado, ubicación del menú del sistema
- Ubicación de las alarmas del proceso
- Ubicación del mímico del área
- Ubicación de funciones genéricas, tales como confirmación de alarmas.

Con la finalidad de llevar a cabo la especificación de la distribución de las pantallas se consideró la siguiente información:

- Considerar que, según el Diagrama de Gutenberg, el Movimiento del ojo va de arriba a abajo y de izquierda a derecha
- Considerar entonces que la información más importante debe ir arriba
- El centro de la pantalla es también un lugar de alta visibilidad
- La información miscelánea debe ir abajo a la izquierda.
- Sobre todo, las funciones e información críticas deben tener un lugar fijo en la pantalla.

- La mejor posición para los gráficos es a la izquierda del campo visual.
- Al desarrollar los prototipos de los sinópticos de proceso se debe controlar la densidad de los gráficos, la cual no debe sobrepasar del 50%, para que no se vean muy aglutinado
- En este mismo sentido, la simetría del gráfico debe ser también considerada, de manera que la carga de elementos en los sinópticos este balanceada en toda la pantalla
- Para el mismo nivel de información efectiva, se debe dar preferencia a las distribuciones simples sobre las complejas

La plantilla aprobada por los usuarios para este Proyecto se indica en la Figura 38.



Figura 38 Distribución ventana presentación

- Imagen del CMEE: Muestra una foto del CMEE con el fin de tener mantener la similitud con interfaces similares en el laboratorio.
- Indicadores de Alarma: este indicador indicará si esta la contraseña correcta para ingreso a la HMI.

- Autenticación y Password: mediante una contraseña se da acceso a la HMI

En Tabla 6 se establece las dimensiones de los elementos que tendrá la pantalla de presentación, y en la figura 39 se indica la distribución de áreas de las ventanas de Certificado y Reporte de la HMI propuesta.

Tabla 6

Dimensiones de los elementos de la HMI de la ventana de Presentación.

ELEMENTO	TAMAÑO	
	ANCHO [px]	ALTO [px]
VENTANA IMAGEN GENERAL	1200	780
AUTENTIFICACIÓN Y PASSWORD	50	80
INDICADOR DE ALARMA	90	50



Figura 39 Distribución ventana de certificado y reporte

- Alarmas: Aquí se ubican las alarmas e indicadores de los procesos que se están llevando a cabo.
- Botones de Navegación: Se encuentran los botones que permiten la navegación por las diferentes pantallas de trabajo.

- Menú de Impresión: Este menú permite la selección del documento a guardar (certificado o reporte de calibración), así como selecciona la impresora en la cual se va a imprimir el certificado o reporte.
- Datos de cliente o datos de calibración: nos permitirá ingresar de una forma manual los datos de interés para los reportes y los certificados.

En Tabla 7 se establece las dimensiones de los elementos que tendrá la pantalla de certificado y reporte y en la Figura 40 se muestra la distribución de áreas en la pantalla del proceso de calibración.

Tabla 7

Dimensión de los elementos de las pantallas de certificado y reporte

ELEMENTO	TAMAÑO	
	ANCHO [px]	ALTO [px]
TITULO	800	40
DATOS DEL CLIENTE O CALIBRACIÓN	800	900
ALARMAS E INDICADORES	300	100
BOTONES NAVEGACIÓN	500	90
MENU DE IMPRESIÓN	400	250
LOGO Y RAZON SOCIAL	900	100



Figura 40 Distribución ventana del proceso de calibración

- Alarmas: Aquí se ubican las alarmas e indicadores de los procesos que se están llevando a cabo.
- Botones de Navegación: Se encuentran los botones que permiten la navegación por las diferentes pantallas de trabajo.
- Menú de Impresión: Este menú permite la selección del documento a guardar (certificado o reporte de calibración), así como selecciona la impresora en la cual se va a imprimir el certificado o reporte.
- Datos de cliente o datos de calibración: nos permitirá ingresar de una forma manual los datos de interés para los reportes y los certificados.
- Cámaras de trabajo del patrón de trabajo y unidad bajo prueba: es el lugar donde se procede a la selección de las áreas de trabajo del OCR.
- Tabla de control de datos: es el lugar donde el programa visualmente muestra los datos que serán reportados a EXCEL.
- Cálculos estadísticos: Es el lugar en donde se procede ingresar los datos tratados en Excel para calcular la Varianza de Allan.

En Tabla 8 se establece las dimensiones de los elementos que tendrá la pantalla del proceso de calibración:

Tabla 8
Dimensión de los elementos de las pantallas del proceso de calibración

ELEMENTO	TAMAÑO	
	ANCHO [px]	ALTO [px]
TÍTULO	800	40
CAMARAS	600	600
ALARMAS E INDICADORES	300	10000
BOTONES NAVEGACIÓN	500	90
MENU DE IMPRESIÓN	400	250
LOGO Y RAZON SOCIAL	900	1000

5.1.3.1.3. Color y Texto

El color es uno de los elementos más importantes dentro del contexto de las interfaces persona-máquina, su uso adecuado (conservador, convencional y consistente) es determinante para la generación de una excelente interfaz.

En esta fase se deben definir los siguientes estándares referidos al color:

- Color para representar el estatus de los equipos de la planta (marcha, paro, falla, manual, etc.)
- Color de los principales materiales y fluidos del proceso (agua, aire, gases, materias primas, productos terminados, etc.)
- Color de las alarmas (críticas, advertencias, mensajes, etc.)
- Color del texto en general (Títulos, etiquetas, etc.)
- Colores del fondo de la pantalla (general, de detalle, etc.)
- Color de valores de proceso (Temperaturas, presiones, niveles, etc.)

Al definir cada uno de estos estándares es muy importante que sean congruentes entre ellos y que no supongan contradicciones. Otro factor que se tomó en cuenta es tanto el perfil de los operadores, así como la observación y cumplimiento de los estándares locales, nacionales e internacionales.

Algunas directrices que se deben tomar en cuenta para la especificación del color son las siguientes:

- Limitar el número de colores a cuatro y no utilizar más de siete colores en una pantalla y asegurarse que estos sean perfectamente diferenciables entre ellos.
- Cuando se combinen colores se debe maximizar el contraste entre ellos

- No utilizar combinaciones con contrastes incompatibles como Rojo-Azul, Rojo-Verde, Azul-Amarillo, Amarillo-Blanco, Verde-Azul.
- Debido a problemas fisiológicos que pudieran tener los operadores respecto a la distinción de colores, reforzar estos con otros elementos: texto, tamaño, forma o posición, cuando sea necesario (evitar entonces las combinaciones de texto y color del tipo texto rojo sobre fondo verde, texto azul sobre fondo amarillo)
- El color debe usarse para indicar calidad y no cantidad
- Para que el color sea visible, se debe usar en objetos de buen tamaño
- Evitar el uso de intermitencia (blink) de colores salvo en casos especiales y aislados

Particularmente respecto a la selección de los colores del fondo de la pantalla se tomaron en cuenta las siguientes recomendaciones de la Guía:

- Usar colores neutros para el fondo de la pantalla (gris, beige, arena, azul)
- No usar blanco y negro dado que dan mucho resplandor
- Los colores de fondo deben ser contrastantes con los demás elementos
- El uso de diferentes colores de fondo puede ser utilizado para diferenciar o agrupar procesos o áreas de la planta
- Evitar el uso de colores primarios o fuertes en zonas grandes de la pantalla

COLOR

Para la elección de colores es necesario referirse a la Guía GEDIS, la cual dentro de las especificaciones de color dicta la composición de colores RGB, sus diferentes usos y sus descomposiciones, así se lo deja evidenciado en las Tablas 9, 10, 11, 12, 13, 14, que indican los lineamientos que se deben considerar para la elaboración de ventanas HMI.

Tabla 9**Descripción de colores para fondos de pantalla**

Item	Color	Descripción	Matiz/Sat/Lum	Rojo/Verde/Azul
Sinópticos de Área y Subárea		Arena	208/204/191	31/37/188
Detalle Máquinas		Verde Oscuro	120/80/90	64/128/128
Menús y Analógicas		Gris Plata	160/0/224	238/238/238
Tablas en Sinópticos		Gris Plata	160/0/224	238/238/238

Fuente: (Ponsa & Granollers, 2006)

Tabla 10**Descripción de colores para estatus de Equipos de Proceso**

Item	Color	Descripción	Matiz/Sat/Lum	Rojo/Verde/Azul
Equipo Parado		Blanco	160/0/240	255/255/255
Equipo Trabajando		Verde	80/240/53	0/113/0

Fuente: (Ponsa & Granollers, 2006)

Tabla 11**Descripción de colores para Alarmas**

Item	Color	Descripción	Matiz/Sat/Lum	Rojo/Verde/Azul
Alarma Crítica		Rojo	0/240/120	255/0/0
Alarma de Advertencia		Amarillo	40/240/120	255/255/0
Mensaje General		Azul Claro	120/240/120	0/255/255

Fuente: (Ponsa & Granollers, 2006)

Tabla 12**Descripción de colores para Materiales del Proceso**

Item	Color	Descripción	Matiz/Sat/Lum	Rojo/Verde/Azul
Gas con Material		Amarillo Claro	40/240/180	255/255/128
Aceite		Café Oscuro	80/240/190	148/255/148
Agua		Verde	80/240/53	0/113/0
Aire		Azul Claro	120/240/120	0/255/255

Fuente: (Ponsa & Granollers, 2006)

Tabla 13**Descripción de colores para Señales Analógicas**

Item	Color	Descripción	Matiz/Sat/Lum	Rojo/Verde/Azul
Temperatura		Marrón	0/240/46	98/0/0
Presión, Depresión		Azul Rey	160/240/120	0/0/255
Potencia		Violeta	200/240/60	128/0/128
Caudal		Azul Marino	140/240/60	0/64/128
Velocidad		Verde Oscuro	80/240/53	0/113/0
Otras		Negro	160/0/0	0/0/0

Fuente: (Ponsa & Granollers, 2006)

Tabla 14**Descripción de colores para Ítems varios**

Item	Color	Descripción	Matiz/Sat/Lum	Rojo/Verde/Azul
Código Equipos Normal		Negro	160/0/0	0/0/0
Botón Confirmar Alarmas		Amarillo Claro	40/240/180	255/255/128
Títulos de Pantallas		Azul Marino	140/240/60	0/64/128
Texto Fallas Críticas		Rojo	0/240/120	255/0/0
Texto Advertencias		Amarillo	40/240/120	255/255/0
Texto General		Azul Marino	140/240/60	0/64/128

Fuente: (Ponsa & Granollers, 2006)

Ante estas recomendaciones de la guía se procedió a conjuntamente con las plantillas y los diferentes procesos a tomar las descomposiciones de colores RGB

- Color de fondo de la pantalla. - Para el color del fondo de las pantallas se eligió el color Área ya que no produce un alto contraste con los demás elementos utilizados para el diseño de la interfaz.
- Color de texto. - El color de texto elegido es el siguiente.
 - Títulos: Negro
 - Texto normal: Negro

Igualmente se evidencia en las tablas 15 y 16 para el color en fuentes de textos dentro de HMI.

Tabla 15**Tabla de colores de texto**

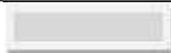
Texto		
Fondo Pantalla		Arena
Fondo Texto		Gris
Texto Titulo		Negro
Texto Normal		Negro

Tabla 16**Tabla de colores RGB para las ventanas HMI**

Color	Red	Green	Blue
Arena	31	37	188
Gris	178	178	178
Negro	0	0	0

TEXTO

La información del proceso es presentada al usuario por medio de varios elementos de los cuales el más comúnmente usado es el texto.

Es importante regular el uso de este elemento para informar eficazmente al operador respecto al estado del proceso, por lo que se debe establecer un estándar que rija su utilización.

Las características del texto que se deben definir para este fin son las siguientes: el uso de fuentes, el tamaño del texto, la alineación, el espaciamiento, los acrónimos y las abreviaturas.

Específicamente, las directrices que se consideraron para la definición de las fuentes son las siguientes:

- No se deben utilizar más de tres fuentes en la interfaz

- No usar más de tres tamaños de la misma fuente
- De preferencia usar fuentes Sans Serif
- El tamaño de la fuente debe ser tal que se pueda leer a distancia por el operador. Una fuente menor a 8 es difícil de leer
- No usar letras mayúsculas en todas las letras del texto, procurar combinarlas con las minúsculas
- No utilizar énfasis en el texto (subrayado, itálico, sombreado) salvo en casos especiales
- El color del texto debe contrastar con el fondo de la pantalla y debe respetar el código de colores previamente definido
- Cuando se usa color en el texto se debe usar en toda la palabra y no solo en ciertos caracteres
- Alinear el texto en pantalla: etiquetas a la izquierda, números a la derecha
- El punto decimal siempre debe ir alineado
- Utilizar el mínimo posible de alineamientos verticales
- Espaciar el texto tanto horizontal como verticalmente y así evitar aglutinamientos
- Sobre todo, cuando se muestra información crítica, esta debe ser espaciada con suficiencia

El tipo de texto seleccionado es el siguiente:

- Títulos:
 - Estilo: Sans Serif

- Tamaño: 26
- Color: Negro RGB: 0,0,0

- Texto Subtitulo:
 - Estilo: Sans serif
 - Tamaño: 16
 - Color: Negro RGB: 0,0,0

- Texto normal:
 - Estilo: Sans serif
 - Tamaño: 14
 - Color: Negro RGB: 0,0,0

5.1.3.1.4. Indicadores

En esta fase se debe definir el estándar gráfico de símbolos e íconos que representen el estatus de los diversos equipos de la planta tales como ventiladores, bombas, bandas, válvulas, filtros, etc, así como los cambios de estado digitales (On/Off) de eventos que se requieren representar en las pantallas de proceso.

Para este fin es importante recurrir a los estándares locales, nacionales o internacionales de manera que la simbología sea homogénea y fácil de reconocer y diferenciar por el operador.

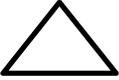
Al definir estos símbolos e íconos que representen a los equipos y eventos del proceso se observó las siguientes directrices:

- Deben ser simples, cerrados y de un tamaño suficientemente visible
- Se deben evitar detalles y realismo innecesarios
- Utilizar figuras geométricas simples para definir los símbolos e íconos
- Preferentemente deben ser enmarcados y delimitados con borde oscuro

- Los símbolos e íconos no deben ser ambiguos

Cuando se integra los símbolos que identifican al equipo con el estatus de colores asociado definido previamente debemos obtener los objetos que representan a los dispositivos de la planta y que informan al operador su estado de manera general (trabajando, parado, en falla, advertencia, etc.). La Tabla 17 muestra, los colores de relleno que se consideraron en la HMI dentro de botones de actividad o parado.

Tabla 17
Símbolos e iconos

ACCIÓN	SÍMBOLO	COLOR RELLENO	COLOR
ACTIVO			VERDE
PARADO			BLANCO

5.1.3.1.5. Alarmas

Las alarmas junto con la representación del estatus de los equipos y de los valores analógicos del sistema constituyen los principales elementos con los que se informa al operador sobre el estado de la planta.

Las alarmas son muy importantes ya que alertan al operador sobre las situaciones anómalas que se presentan en el proceso e implican una intervención de él.

En caso de que exista una situación informativa que no requiera una intervención del usuario, entonces será definido como un mensaje en vez de una alarma.

Alarmas y mensajes se deben clasificar por prioridades en cuanto a su criticidad:

- Críticas: las cuales amenazan la seguridad de la planta y/o que pueden implicar la detención de la producción

- Advertencias: las cuales se pueden convertir potencialmente en situaciones críticas después de un tiempo si el evento que originó la advertencia continúa empeorando el estado del equipo. Se puede considerar también una advertencia cuando se presenta una situación que afecta negativamente la conducción óptima de la planta
- Mensaje: eventos que conviene transmitir al operador, pero no representan una amenaza a la conducción del equipo, a la producción o a la seguridad de la planta

Las directrices que de manera general se observaron al definir las alarmas son las siguientes:

- Los mensajes y las alarmas deben ser congruentes con los estándares de color, fuentes, texto, tamaño, espaciamiento y alineamiento predefinidos
- Se debe evitar el exceso de alarmas y mensajes superfluos al operador
- En cambio, para constatar el reconocimiento de la situación, el operario debe validar las alarmas críticas (Ack)
- El código de colores de alarmas debe complementarse con otros elementos como un icono, la visibilidad de un texto, su posición en pantalla o un sonido

De manera general las directrices consideraron para ubicar el área de alarmas son las siguientes:

- La ventana o zona de alarmas debe ser distinguible por el operador y debe estar preferentemente siempre presente y visible.
- En caso que no puedan estar fijas siempre, se deben poder acceder de manera inmediata o mostrarse automáticamente al presentarse una nueva alarma

- Los mensajes en cambio no deben ser mostrados todo el tiempo, pero se debe poder acceder a ellos fácilmente

Asimismo, la representación de las alarmas y mensajes se guiaron por las siguientes directrices:

- El texto de las alarmas debe mostrar el área/equipo concreto, la condición o parámetro anómalo, la prioridad, además de la hora y fecha del evento
- En todo caso el texto debe ser conciso y claro
- Las alarmas de más alta prioridad (crítica) deben aparecer en la parte superior de la ventana o zona de alarmas
- Las alarmas se deben mostrar agrupadas lógicamente a parte de su prioridad y cronología, ya sea por área, subárea, equipos, etc.
- Las alarmas tienen normalmente un componente textual en su ventana y uno gráfico en el sinóptico de proceso respectivo
- Los cambios de estado en las pantallas de proceso deben corresponder a lo mostrado en la ventana de alarmas, para confirmar al operador lo sucedido además de permitirle visualizarlas con un mejor contexto
- No se recomienda el uso de intermitencia (blinking) para mostrar las alarmas ni en la pantalla de proceso ni en la ventana de textos de las mismas salvo en casos excepcionales
- El operador, debe poder reconocer las alarmas fácilmente y sin tener que desplazarse de su zona actual de trabajo

Resumiendo, estas consideraciones se establecieron las características principales del sistema de alarmas, el esquema de sus prioridades, la ubicación del listado de alarmas y completar la simbología relativa a la representación de las alarmas y

mensajes sobre los sinópticos de proceso. La Tabla 18 y 19 muestran los colores que se utilizaron dentro de la HMI con sus planos RGB respectivos en lo que a alarmas refiere.

Tabla 18

Tabla de colores de las alarmas

Item	Color	Descripción	Matiz/Sat/Lum	Rojo/Verde/Azul
Alarma Crítica		Rojo	0/240/120	255/0/0
Alarma de Advertencia		Amarillo	40/240/120	255/255/0
Mensaje General		Azul Claro	120/240/120	0/255/255

Fuente: (Ponsa & Granollers, 2006)

Tabla 19

RGB de las alarmas de la HMI

Color	Red	Green	Blue
Rojo	255	255	255
Amarillo	255	255	0
Azul Claro	0	255	255

5.1.4. Descripción de funcionamiento de la HMI

El funcionamiento de la Interfaz Humano – Máquina (HMI), empieza cuando en su conjunto se procede a abrir el proyecto en la carpeta de Proyecto 5 volts, en la cual al ingresar a esta carpeta se dispone de todas las VI que se establecieron para este proyecto.

Ya dentro de esta VI, LabVIEW procede a la inicialización del programa, en donde se puede ver que es una versión completa la que dispone el CMEE, por los iconos de configuración que existen en el mismo:

En el ambiente de arranque de LabVIEW se tendrá la siguiente apariencia en donde se procederá a dar arranque al proyecto implementado.

En la Figura 41, se muestra la pantalla principal de la HMI desarrollada, en la cual básicamente se procede a ingresar el Password de acceso al técnico que realizará esta calibración.



Figura 41 Ventana de Presentación de la HMI

Es en este momento donde se ingresa la contraseña configurada por el programador o que el técnico desea que se le ponga de acceso para seguridad de su manipulación y en cumplimiento a la estipulado en la Norma ISO 27000 y la Norma INEN ISO/IEC 17025, en lo referente a su capítulo 4 correspondiente a la seguridad que se debe tener en el manejo de registros, reportes y procedimientos de calibración existentes en el CMEE.

Si el acceso no es autorizado, se encenderá la alarma de autenticación, si el acceso es autorizado, ingresará a la Ventana de Certificado en el cual se procederá a ingresar los valores y parámetros ambientales, norma que se va a utilizar para la calibración de Equipos, marca modelos de la Unidad Bajo Prueba como se muestra en la Figura 42 .



Figura 42 Pantalla Certificado de calibración

Una vez ingresados la información en los campos, se procede a ingresar con ayuda del menú de navegación en la pestaña de REPORTE, tal como le indica la Figura 43:



Figura 43 Menú de navegación

Ya en la ventana de REPORTE, se procede nuevamente a ingresar información referente a la calibración que se va a empezar a realizar, por lo que se deberá considerar en los campos de textos, la información relevante que manda la NORMA INEN IEC/ISO 17025 para certificar la calibración de equipos, según lo indica la Figura 44.

 A screenshot of a software application window titled 'CALIBRACION DE EQUIPOS DEL LABORATORIO DE TIEMPO REPORTE'. The window contains several data entry sections:

- CLIENTE:** Fields for 'CLIENTE', 'REPRESENTANTE', 'DIRECCION', 'TELEFONO', 'REPORTE No', and 'FECHA IN CAL'.
- EQUIPO:** Fields for 'FECHA IN CAL', 'PROCESO APLICADO', 'PATRONES', 'MARCA DEL PATRON', 'MODELO DEL PATRON', and 'GENE'.
- PARAMETROS:** Fields for 'MARCA DEL EQUIPO', 'MODELO DEL EQUIPO', 'TEMPERATURA MEDA', 'HUMEDAD', and 'CODIGO'.

 At the top center, there is a 'SIGUIENTE' button and four status indicators (one red, three green) labeled 'Todos los campos son obligatorios', 'Guardado', 'Impreso', and 'Creado nuevo'. At the bottom, there is a 'MENU PRINCIPAL' section with buttons for 'PRINCIPAL', 'CERTIFICADO', and 'PROCESO DE CALIBRACION'. The footer of the application features the logo and name of the 'CENTRO DE METROLOGIA DEL EJERCITO ECUATORIANO' and a 'REGISTRADO' button.

Figura 44 Información de reporte de calibración

En esta pantalla básicamente, se ingresa datos como, Cliente, representante, dirección, teléfono, numero de reporte, fechas de inicio y finalización de la calibración, que son los requerimientos básicos que impone la NORMA INEN IEC/ISO 17025, para emitir un certificado.

5.2. Ventanas de la interfaz

5.2.1. Ventana de Interface Principal



Figura 45 Pantalla Principal de Calibración

5.2.2. Ventana de Interface Secundaria Datos de calibración



Figura 46 Ventana secundaria Calibración.

5.3. Indicadores de la Interface

Esta interface se desarrolló con el objetivo de realizar un control efectivo de los procesos que se realizan en el proceso total de calibración como es: Calibración, Impresión de reportes, envío de mail. En la Figura 47 se muestra área de indicadores y alarmas planteado para la HMI de los procesos de calibración



Figura 47 Indicadores del proceso

5.4. Navegabilidad de ventanas

En la parte inferior derecha de las ventanas, se encuentra la navegabilidad a las diferentes ventanas que tiene esta HMI, con el objeto de poder intercomunicarse con cada uno de los campos de texto, en vista que, para poder empezar el proceso de calibración, uno de los requisitos de la Norma INEN ISO/IEC 17025 es que se encuentre llenos en su totalidad antes de iniciar el proceso de calibración.

5.5. Menú de impresión

En este menú, se desarrolla la selección de la impresora en pdf que se utilizará para imprimir los reportes y los certificados de calibración, este menú hace al usuario técnico ahorrar tiempo en el proceso de entrega de certificados y reportes, explotando al máximo las bondades de Módulo de Reportes de Microsoft que trae LabVIEW para sus usuarios. La Figura 48 muestra el menú de Guardado e Impresión de la HMI propuesta.



Figura 48 Grabado en impresión clave

CAPÍTULO VI

6. IMPLEMENTACIÓN

6.1. Método de Inducción

La selección de componentes se la realizó de acuerdo a que parámetros satisface las necesidades del sistema y a la petición del cliente que para el caso del proyecto es el CMEE.

6.1.1. Selección de Componentes

6.1.1.1. Construcción de Caja Metálica

Para llegar al modelo final de nuestra caja metálica que hace la función de jaula de Faraday se fabricaron modelos anteriores y por medio de prueba y error se llegó a construir una caja que permitió aislar todas las perturbaciones externas. En la Figura 49, se evidencia la primera versión de la jaula de Faraday.



Figura 49 Primer modelo de blindaje metálico

Al no existir parámetros de diseño para jaulas de Faraday, se construyó este primer prototipo de madera y forrado de papel aluminio, una vez realizadas las pruebas con este prototipo se llegó a la conclusión que no es lo suficiente robusto para aislar de las señales externas, así que se construyó un nuevo modelo con láminas de aluminio de 5mm de espesor logrando el objetivo propuesto.

El prototipo final además de cumplir con la función de aislar las señales externas cuenta con un conector bnc hembra por los dos lados, que va empotrado a la caja y nos permite acoplar la tierra de los equipos de medición con la tierra de la caja metálica, asimismo cuenta con una tapa que cierra herméticamente y no permite el ingreso de señales externas, algo que no sucedía en el anterior diseño. Las dimensiones de la caja se determinaron a partir de diferentes pruebas y mediciones del nivel de ruido que ingresa del exterior, empezando desde dimensiones reducidas hasta obtener la señal deseada. La Figura 50 muestra, el prototipo final de la Jaula de Faraday propuesta para este proyecto.



Figura 50 Prototipo final del blindaje metálico

6.1.1.2. Módulo de Acrílico para posicionar elementos

Este módulo fue diseñado para posicionar todos los elementos dentro de la caja metálica y mantenerlos en una posición fija donde no existan interferencias y se pueda obtener la señal del oscilador del cronómetro.

Para esto se crearon varios módulos, inicialmente se creó un módulo de madera, pero no cumplía las necesidades del sistema, es por eso que el módulo final fue fabricado en acrílico logrando así obtener un módulo de menor tamaño y mayor eficiencia.

El material de construcción de este módulo debe ser de un material no metálico que no interfiera en el sistema electrónico captador de frecuencia, es por eso que el acrílico

fue el material más idóneo para este proyecto, además que es un material transparente que nos permite ver si el cronómetro y el resto de elementos están bien conectados.

En la Figura 51 se puede ver el módulo de acrílico con todos sus elementos interconectados listos para ser introducidos dentro del blindaje metálico y empezar la calibración.



Figura 51 Módulo acrílico con todos los elementos

Este módulo permite posicionar al cronómetro en la parte inferior para esto cuenta con un agujero en la base que permite mantener al cronómetro inmóvil durante la calibración, esto ayuda a tener datos más precisos durante la calibración. Además, cuenta con un sistema que permite variar la altura de la placa de cobre, esto nos sirve cuando se tienen cronómetros de diferentes modelos y tamaños.

6.1.1.3. Sistema electrónico captador de frecuencia

El sistema electrónico permite captar la frecuencia que viene de la placa de cobre para esto se ha usado un amplificador operacional como comparador que permite comparar la señal proveniente de la placa con la referencia (0v). El momento que la

señal supera los 0v automáticamente se tiene a la salida una señal del valor con el cual esta alimentado el amplificador.

Para eliminar una de las fuentes de ruido, se eliminó la fuente externa de voltaje y se sustituyó por una batería alcalina de 9v, a esta batería se le hizo un divisor de frecuencia para tener el voltaje negativo y positivo para alimentar el circuito comparador. Se determinó que no era necesaria una fuente de voltaje mayor ya que el consumo del circuito a implementarse es muy bajo.

La placa de cobre es uno de los elementos más importantes porque es aquí donde se captan las ondas de frecuencia que vienen del oscilador interno del cronómetro, mediante prueba y error se determinó que el tamaño de la placa no debe ser mayor a la del cronómetro porque empieza a funcionar como una antena y capta señales que no se necesitan, el tamaño tampoco debe ser muy pequeño porque caso contrario no captaría ninguna señal. Es así como se llegó a determinar el tamaño correcto de la placa, sus dimensiones son 12cm x 10cm. Esta placa cuenta con un zócalo para conectar el cable coaxial de 50ohm al circuito electrónico. En la Figura 52 se observa la placa de cobre terminada con su respectivo conector bnc.



Figura 52 Placa de cobre

Para tener una mayor protección del circuito hecho en baquelita se lo instaló dentro de una caja de proyectos para que el circuito sea más robusto, esta caja cuenta con conectores bnc a la entrada y salida del circuito, esto ayuda a mantener la señal protegida de interferencias. La Figura 53 muestra una caja de proyectos terminada con el circuito captador de frecuencia en su interior así como su fuente de alimentación respectiva, que para este caso será una pila de 9 voltios, la misma que según la NORMA INEN IEC/ISO 17025, antes de realizar unja calibración, todas las fuentes de alimentación a batería será reemplazadas a fin de garantizar la medición a efectuarse.



Figura 53 Circuito Terminado

6.1.2. Integración de Elementos de Instrumentación y Sistema de Control

Lo primero que se debe hacer es conectar los equipos de medición que son el osciloscopio y el contador de frecuencia a la red eléctrica, además el contador de frecuencia debe estar conectado al computador por medio del cable RS232-USB.

La caja metálica debe estar conectada a un conector bnc tipo T para luego conectar el osciloscopio y el contador de frecuencia por medio de cable coaxial de 50ohms.

Dentro de la caja metálica conectar la salida de la placa de cobre a la entrada del circuito electrónico y la salida del mismo al conector bnc empotrado en la caja metálica.

En la Figura 54 se puede ver todos los elementos conectados y listos para el proceso de calibración

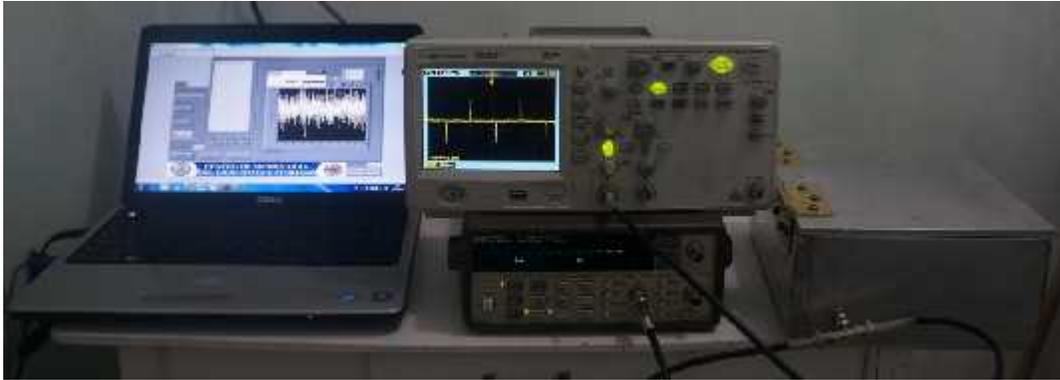


Figura 54 Integración de los elementos

6.1.3. Puesta en marcha

Para la puesta en marcha se explica paso a paso que se debe hacer para lograr una calibración correcta.

1. Recepción del cronómetro

Al momento de recibir el cronómetro según la norma del CMEE se debe cambiar la batería interna del cronómetro para asegurar su correcto funcionamiento, además se debe quitar cordones o cualquier elemento que impida que el cronómetro sea ubicado dentro del módulo de acrílico.

2. Posicionamiento del cronómetro

El cronómetro debe estar posicionado de manera que no se mueva durante la calibración junto con el resto de elementos situados en las posiciones correctas dentro del módulo de acrílico.

3. Conexión de elementos de medición

Asegurarse que los elementos estén conectados de manera correcta en el osciloscopio y el contador de frecuencia, tomar en cuenta que los equipos deben estar en una superficie nivelada y sin vibraciones

4. Configuración de Contador de Frecuencia

- Elegir el canal por el que va a medir usando la opción Freq & Ratio del Panel frontal del contador.
 - Aplicar el filtro de DC en el canal que este midiendo
 - Activar la opción print: on para poder enviar datos por el puerto serial al computador, por medio del botón Save & Print del panel principal.
 - Usando el botón Gate & ExtArm configurar el Gate Time en 1s, este valor es de suma importancia ya que es el de este sistema, esto quiere decir que cada segundo el contador enviará un dato al computador.
5. En el computador abrir el programa con el nombre “principal”, ahí empieza el proceso de calibración ingresando con la contraseña “contrasena”.
 6. Abrir la ventana Certificado y llenar todos los datos del cronómetro patrón de trabajo.
 7. Abrir la ventana de Calibración y visualizar los datos que está enviando el contador en la etiqueta CONTADOR DE FRECUENCIA, si los datos se están enviando con normalidad activar TABLA, una vez que se hayan tomado los datos necesarios GUARDAR y activar ALLAN.
 8. Abrir la ventana de Reporte y llenar los datos necesarios para generar el reporte que será emitido al cliente.

6.2. Técnica de procesamiento de imágenes

6.2.1. Selección de Componentes

6.2.1.1. Construcción del Módulo de Visión

El módulo inicial de visión se montó inicialmente en una caja de cartón de 20X20X20cm, con una ranura para colocar la cámara del celular en la parte superior, la misma que inicialmente nos ayudó a realizar la programación de un solo procedimiento para la unidad de prueba, el mismo que luego nos ayudaría a replicar para el patrón de referencia. En la Figura 55, se muestra el módulo de visión versión 1 que se ideó inicialmente para verificar la utilidad de las cámaras de Celular en la realización de este proyecto.



Figura 55 Módulo de visión versión 1

Luego se elaboró la versión 2 del módulo de visión en una caja madera con separación intermedia la misma que básicamente se vio afectada por la altura, ya que debía ser regulada apropiadamente para una mejor calidad de la imagen. Por lo que se decidió que este módulo de visión ya en su etapa final debería tener las características de ser regulable en altura. En la Figura 56 se puede evidenciar, una caja de madera, con ranuras para las cámaras y los flashes de los teléfonos celulares a fin de realizar una iluminación directa del área de extracción de la información



Figura 56 Módulo de visión versión 2

Se pensó igual en la posibilidad de prescindir de una cámara para el tratamiento de imágenes del patrón de trabajo, direccionando la calibración en la dirección IP del Servidor de Tiempo (Reloj de Rubidio), pero al intentar finalizar este proceso, expertos Panameños recomendaron que esta técnica fracasaría el momento de su validación numérica, ya que un proceso de calibración debería compararse entre elementos iguales o de la misma exactitud, ya que el comparar cronómetro con datos de un servidor de tiempo más exacto que el anterior no tiene una trazabilidad fiable en su comparación.

Por lo que recomendó continuar con el procedimiento de dos cámaras WEB para comparar la Unidad Bajo Prueba y el Patrón de trabajo.

Para la implementación de la técnica de procesamiento de imágenes, se consideró un módulo de entrenamiento y captura de la imagen, dos cámaras de teléfonos celulares y la unidad de procesamiento, como se detalla en el ANEXO “C” (DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA TÉCNICA DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES).

Bajo este precedente, el módulo de visión final se desarrolló en la herramienta computacional SolidWorks, en módulo que tenga las siguientes características, compacto, funcional, regulable, adaptable a las necesidades del cliente, que pueda albergar tanto al patrón de trabajo como a la unidad bajo prueba, que permita sostener a dos cámaras de teléfonos celulares, que tenga iluminación independiente en cada una de las fosas de trabajo y que impida el ingreso de fuentes de iluminación externa tal como lo indica la Figura 57.



Figura 57 Esquema renderizado del Módulo de Visión

6.2.2. Puesta en Marcha

Se utilizaron para la puesta en marcha de este procedimiento dos cronómetros de marca Casio, uno como patrón de trabajo y uno como unidad bajo prueba.

Previo a colocar los cronómetros en el interior del módulo, estos son conectados a sus pines de arranque para dar inicio, al conteo. Según lo muestra la Figura 58, donde se ve conectores lagarto sujetos a los pines de arranque de los cronómetros.



Figura 58 Conexión de cronómetros en pines de arranque posteriores

El módulo en su interior aloja a dos cronómetros los mismos que son conectados a un circuito que genera 5 [V], este circuito la función que cumple es alimentar 5 voltios a los pines de arranque del cronómetro con el objeto de arrancar el conteo de los mismos cuando el programador vaya a iniciar el proceso de calibración en medios controlados. En la Figura 59 se muestra la conexión de los cronómetros a las fuentes de arranque.



Figura 59 Cronómetros conectados a fuente de arranque

En la soporte de la cámaras, en su parte baja se encuentran instaladas las lámparas LED, las mismas que servirán como fuentes de iluminación indirecta, que no interferirán en la mica de los cronómetros, haciendo del proceso OCR, una técnica más fiable al

momento de la toma de datos. Esta arreglo de luces LED, van conectadas al circuito de 12 [V], para alimentar su arranque, además se debe mencionar que estos circuitos se encuentran alojados en una caja de conexiones de 5 [V] y de 12 [V]. Tal como lo muestra la Figura 60 y 61.



Figura 60 Lámparas LED utilizadas para iluminación indirecta.



Figura 61 Módulo de visión conectado a fuentes de arranque

Cabe resaltar que en la figura se muestra una fuente de alimentación con medidor analógica, la misma que controla que los voltajes de 5 [V] y de 12 [V], necesarios para el funcionamiento del módulo sean los que se necesita para el normal desenvolvimiento del proceso de calibración.

Ya en la parte de conexión con el computador, se debe indicar que las cámaras de los teléfonos Samsung S4, que se han utilizado en el presente proyecto, se conectarán al computador mediante cables mini-USB a USB, ocupando dos puertos de la computadora, además previo a la conexión con el programa del proceso de calibración, se deberá descargar del internet pero el equipo PC, el paquete **IP Camera Adapter**, que cumple la función de cambiar las funciones de la cámara del celular, transformándola en una cámara WEBCAM, en donde se asigna la dirección IP con la que estará trabajando la cámara del celular en el puerto 8080. Mientras que en los celulares se descargará del Play Store de Android, la aplicación IP WEBCAM. En la Figura 62 se muestra el software necesario para la configuración de las cámaras en la PC

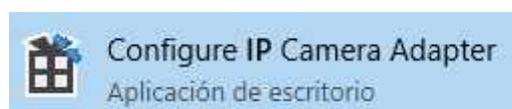


Figura 62 Software para cambiar cámara de celular a WEBCAM

En la Figura 63 se muestra el software IP CAMERA ADAPTER ya grabado y corrido en la PC del aplicativo, pantalla en la cual se debe ingresar la IP que tiene la cámara del teléfono para su conexión exitosa.

Se debe mencionar además que esta aplicación es gratuita y cumple con todas la exigencias necesarias para convertir la cámara del Celular en una cámara WEB de lata calidad de imagen tal como lo evidencia las características técnicas de cada cámara de los celulares Samsung S4, que son los elementos primordiales y los cerebros de este proceso de calibración. En la Figura 64 se muestra la APP que debe ser grabada en cada teléfono celular para cumplir con este la función de convertir la cámara celular de los Smartphones en cámaras WEBCAM de alta calidad.

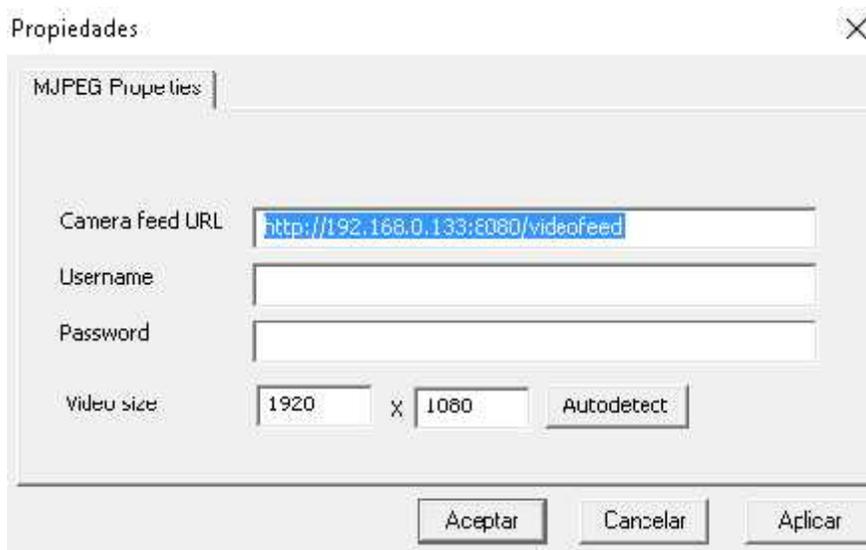


Figura 63 Asignación de la IP WEBCAM en el celular



Figura 64 Aplicación de celular IP WEBCAM

Una vez descargadas e instaladas estas aplicaciones y software en los teléfonos y en la PC, se procede a configurar las mismas, en el teléfono se procede a abrir la aplicación, aparecerá un menú de opciones, las cuales no se modificará nada, se utilizará las opciones por defecto del programa, a excepción de la que permite dar inicio al servicio de imagen, esta opción es **START SERVER**.

La opción **START SERVER**, inicia la difusión del video a través de la red local a la que se está conectado. Una vez iniciado el servidor, ya cuando la imagen se viene a la pantalla del celular, en la parte inferior central del teléfono se puede apreciar la dirección IP completa, incluyendo el puerto, que está utilizando la cámara para su conexión en la red. Si la dirección tiene una dirección distinta a la que se muestra en la Figura 65, es

que no se está utilizando una red local sino la red de datos del celular. En la Figura 66 se muestra la conexión de la cámara del celular a un red WIFI asignando un IP que posteriormente se deberá ingresar en el software de la PC para su trabajo normal, además muestra las funciones básicas de esta APP para el trabajo que se desea realizar.

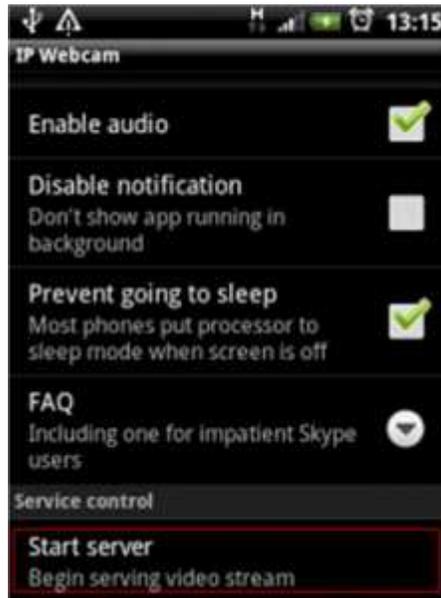


Figura 65 Inicio de APP con START SERVER

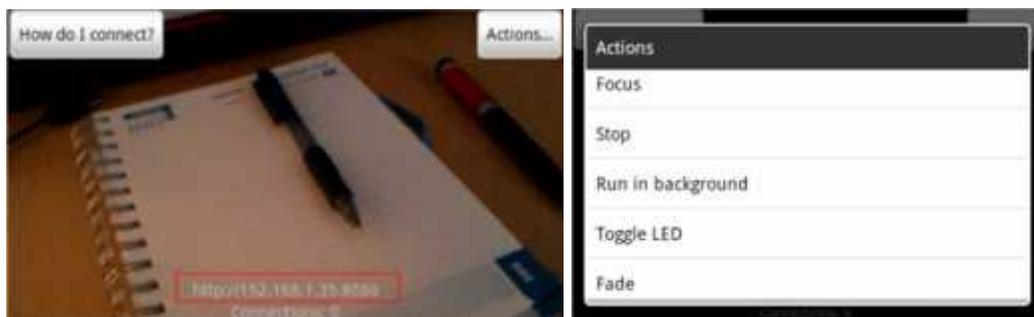


Figura 66 IP que se asignará a Software PC

Para poder conectarse desde la PC se debe configurar el adaptador de cámara en red universal para Windows que se instaló anteriormente IP CAMARA ADAPTER, cuya función básica es el dar soporte a los dispositivos con salida MJPG. Por lo que para configurarlo se ingresa a CONFIGURE IP CAMERA ADAPTER, tal como lo muestra la Figura 67.



Figura 67 Arranque de IP CAMERA ADAPTER

El último paso para la instalación del módulo de Visión es el ingresar la IP que nos dan los teléfonos al programa CONFIGURE IP CAMERA ADAPTER y le se hace clic en Aceptar. Así lo muestra la Figura 68.



Figura 68 Ingreso de la IP del celular

Ya configurado las cámaras, se procede por medio de los cables USB de los celulares conectarlos a la PC y ejecutar el programa para iniciar el proceso de calibración. La Figura 69 muestra el módulo de visión instalado, listo para iniciar el proceso de calibración.



Figura 69 Módulo de Visión conectado a PC e impresora

Una vez realizadas estas configuraciones previas, se revisa las configuraciones del asistente de Visión de NI y del OCR para evitar fallos en la identificación OCR luego se seguirán al igual que en el método de inducción los siguientes pasos:

1. En el computador abrir el programa con el nombre “principal” de módulo de visión, ahí empieza el proceso de calibración ingresando con la contraseña “contrasena”, misma que podrá ser cambiada por programación por el usuario.
2. Se abre la ventana Certificado y se llena todos los datos del cronómetro patrón de trabajo, condiciones ambientales del laboratorio, niveles de confianza del CMEE.
3. Se abre la ventana de Calibración y visualizar las imágenes que se captan en la HMI activando el botón de Activar cámaras, si los datos se convierten en OCR se activa los datos de visualización a la TABLA de control, una vez que se hayan tomado los datos necesarios GUARDAR y activar el método no especificado aun para tabular los datos por parte del CMEE.
4. Abrir la ventana de Reporte y llenar los datos necesarios para generar el reporte que será emitido al cliente.

CAPÍTULO VII

7. PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se realizará las pruebas necesarias para comprobar el funcionamiento del sistema y justificar por qué se usó ciertos elementos para la construcción de los diferentes módulos, analizando cada una de estas pruebas y obteniendo los resultados deseados.

7.1. Pruebas Método de Inducción

En el método de inducción se planteó cuatro pruebas, las cuales permitirán determinar el material y las dimensiones adecuadas para la construcción de este módulo.

7.1.1. Prueba #1 Material y Dimensiones

Tabla 20

Prueba #1 Material y Dimensiones

MATERIAL	DIMENSIONES	OBSERVACIONES	IMAGEN
Triplex cubierto con papel aluminio	29x21x11cm	No se obtiene el aislamiento de las señales exteriores por lo que no se obtiene la señal deseada en el osciloscopio.	
Triplex cubierto con papel aluminio y con malla metálica.	29x21x11cm	Se mejoró el aislamiento, pero el ruido sigue presente y no se obtiene una señal clara en el osciloscopio.	
Aluminio de 5mm de espesor	26x21x10cm	El aislamiento es el adecuado y se obtiene la señal deseada.	

Análisis

Dado que no existen parámetros para el diseño y construcción de este tipo de aislamientos se realizó varias pruebas usando diferentes materiales, donde se pudo verificar que usando incluso varias capas de papel aluminio el blindaje no era lo suficientemente bueno para aislar señales externas, es por eso que usando placas de aluminio de 5mm para la construcción del blindaje se logró aislar por completo las señales externas.

7.1.2. Prueba #2 Tamaño Placa de cobre

Tabla 21

Prueba #2 Tamaño Placa de cobre

TAMAÑO PLACA	OBSERVACIONES	IMAGEN
21x15cm	Al ser la placa muy grande captura señales que no son necesarias.	
5x5cm	La señal capturada es inestable y no se la visualiza correctamente en el osciloscopio.	
12x10cm	La señal capturada es la correcta y está lista para ser enviada al contador de frecuencia para continuar con el proceso.	

Análisis

Al capturar la señal con placas de cobre de distintas dimensiones se pudo verificar que al ser muy grande la placa con respecto al cronómetro, empieza a funcionar como una antena y capta señales de frecuencia que no necesitamos para nuestro proceso, en cambio si la placa de cobre es de menores dimensiones que las dimensiones del cronómetro, la señal capturada es muy baja y por lo tanto no puede ser leída claramente en los equipos de medición. Por lo tanto, se determinó que el tamaño adecuado para obtener la señal correcta y que pueda ser medida por los equipos es de 12x10cm, con este tamaño se logra cubrir toda la superficie del cronómetro.

7.1.3. Prueba #3 Fuente de Alimentación

Tabla 22

Prueba #3 Fuente de Alimentación

TIPO DE FUENTE	OBSERVACIONES	IMAGEN
Fuente ATX de computador	Induce mucho ruido al circuito captador de frecuencia.	
Fuente DC Gwinstek GPS-3303	La señal mejora, pero no se obtiene el resultado esperado.	
Batería alcalina 9v dc	La señal esta sin ruido y es la esperada.	

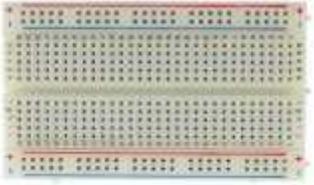
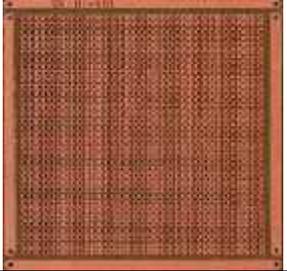
Análisis

El circuito electrónico se probó con 3 tipos diferentes de fuentes de voltaje, aquí se pudo observar que la fuente de computador ATX induce ruido al circuito electrónico y esto no permite visualizar la señal correcta, es por esta razón que se decidió usar una fuente de voltaje externa de precisión, como es la fuente de DC Gwinstek GPS-3303, esta fuente permite mejorar la señal del circuito electrónico pero todavía induce ruido, es por esta razón que se suprimió la fuente externa de voltaje para disminuir la cantidad de ruido al sistema. La batería alcalina de 9v es la nueva fuente de voltaje y se la ubicó dentro del blindaje metálico, de esta manera se eliminó el ruido inducido por la fuente y se logró obtener la señal correcta.

7.1.4. Prueba #4 Circuito Electrónico

Tabla 23

Prueba #4 Circuito Electrónico

IMPLEMENTACIÓN	DIMENSIONES	OBSERVACIONES	IMAGEN
Protoboard	6x17cm	No se obtiene los resultados deseados ya que es una señal con muchas interferencias.	
Placa experimental de cobre	7x9cm	La señal mejora y se logra visualizar en el osciloscopio.	
Circuito impreso en baquelita	4.5x3.5cm	Mejora considerablemente y la señal es visualizada claramente y leída por el contador de frecuencias.	

Análisis

Para comenzar el circuito fue implementado en el protoboard lo cual permitió evidenciar la cantidad de ruido que puede ser añadido en este tipo de implementación, el momento de conectar la salida del circuito al osciloscopio la señal está llena de ruido y no se puede visualizar la frecuencia deseada. Una vez probado el circuito en el protoboard se pasa a implementarlo en la placa experimental de cobre en donde se mejoró notablemente la señal, pero todavía no estaba lo suficientemente clara para ser leída por el contador de frecuencia. Para finalizar, el circuito fue impreso en una placa de cobre en donde el tamaño se redujo notablemente y eso permitió minimizar el consumo y también eliminar el ruido que estaba causando inconvenientes.

7.2. Resultados Método de Inducción

Una vez implementado el sistema cumpliendo todas las necesidades del CMEE, se analiza los resultados obtenidos, estos resultados permitirán analizar las ventajas y desventajas del método de inducción implementado en el sistema de calibración para cronómetros digitales.

El cronómetro usado para realizar este proceso es un EXTECH Instruments con una precisión de centésimas de segundo como se muestra en la Figura 70.



Figura 70 Cronómetro EXTECH Instruments

Los datos obtenidos para realizar una calibración se tomaron, teniendo en cuenta los siguientes parámetros, algunos de ellos establecidos por la norma INEN ISO/IEC 17025:

- La batería de 9v para el circuito electrónico es nueva.
- El cronómetro debe estar cambiado la batería interna.
- Los cables coaxiales deben ser de 50ohms.
- El contador de frecuencia debe estar previamente calibrado.

La parte más importante dentro de este método es la toma de datos y el análisis de estabilidad de frecuencia, por lo tanto, a continuación, se muestra en una tabla los datos adquiridos por el contador de frecuencia.

Tabla 24

Datos de Calibración Método de Inducción

Número de dato	Frecuencia	τ (s)
1	42,6653815	1
2	42,6653809	1
3	42,6653809	1
4	42,6653819	1
5	42,6653819	1
6	42,6653813	1
7	42,6653800	1
8	42,6653815	1
9	42,6653814	1
10	42,6653815	1
11	42,6653811	1
12	42,6653820	1
13	42,6653817	1
14	42,6653818	1
15	42,6653819	1
16	42,6653819	1
17	42,6653825	1
18	42,6653821	1
19	42,6653821	1
20	42,6653819	1

En esta tabla se puede visualizar la toma de datos que provienen del frecuencímetro, estos datos vienen numerados porque de esta manera se introducen en el programa de análisis de estabilidad de frecuencia. La cantidad de datos que se desea tomar depende únicamente del operador, una vez finalizado la toma de datos se los guarda en un archivo .csv para ser visualizado y en un archivo .dat para calcular la varianza de Allan.

Para analizar la cantidad de datos necesarios para realizar una calibración adecuada se tomó distintas cantidades de datos y se realizó el análisis de estabilidad de frecuencia que es el dato que realmente importa para obtener el reporte de calibración.

Tabla 25

Resultados de la Calibración del Método de Inducción

CANTIDAD DE DATOS [No DE MUESTRAS]	Tiempo de cálculo [seg]	Método de Var. De Allan [All tau]	Método de Var. De Allan [Tau 2ⁿ]
100	0,001	2,51189E-6	6,60693E-5
200	0,002	1,57663E-5	0,000142608
300	0,002	4,61712E-5	0,000223668
400	0,003	9,89598E-5	0,000307813
500	0,004	0,00017876	0,000394327
600	0,006	0,000289802	0,000482778
700	0,007	0,000436023	0,000572874
800	0,008	0,000621139	0,0006644
900	0,009	0,000848677	0,000757198
1000	0,011	0,00112202	0,000851138
6000	0,116	0,133316	0,00629653

Aquí se muestra el cálculo de la varianza de Allan para los dos métodos; All Tau y $\text{Tau}=2^n$, aquí se puede ver que el valor converge cuando la cantidad de datos está entre 700 y 800 datos.

Por otro lado hay que tener en cuenta que el valor numérico de la desviación de Allan mide la estabilidad relativa entre el oscilador bajo calibración y el oscilador de referencia, y esta incluye la incertidumbre asociada a cada medición individual introducida por el propio sistema de medición debida a diversos parámetros. Por lo cual la incertidumbre de medición estará dada en función de la desviación de Allan.

7.3. Pruebas Técnica de Procesamiento de Imágenes

En el módulo de Procesamiento de Imágenes, se empezó por hacer pruebas con la captura de imágenes en ambientes no aislados, medio aislado con iluminación directa a la mica del cronometro y medio aislado con iluminación indirecta a la mica del cronómetro. En la Tabla que se detalla a continuación, se muestra los resultados obtenidos en la construcción de los módulos de Visión propuestos en sus diferentes versiones.

Tabla 26

Prueba 1 (Construcción de los Módulos de Visión)

MATERIAL/AMBIENTE	DIMENSIONES	OBSERVACIONES	IMAGEN
Al Aire Libre con iluminación ambiental	No presenta dimensiones más que una altura apropiada en donde se visualiza los caracteres a reconocer	Se obtiene una imagen no realista por presencia de la iluminación ambiental, además el movimiento natural de la mano influye en la toma de datos	
Caja de cartón con ranura para visualizar imagen por medio de cámara con iluminación directa a la mica del cronómetro	20X20X20 CM	Mejora la estabilidad de la imagen gracias a la superficie donde descansan las cámaras, no se puede regular la altura a la cual se colocan las cámaras	

Continúa →

Caja de madera con dos zócalos de independientes con iluminación indirecta	30X15X10 CM	Mejora la toma de datos, pero la altura a la cual se colocan las cámaras no se puede regular.	
Caja de MDF, con regulación de altura, zócalos independientes para cada cronómetro, iluminación indirecta y regulación de altura	49X18X22,5 CM	Mejora notablemente la toma de imagen, la altura es regulable lo que permite un mejor enfoque de la imagen.	

En la prueba 1 materializada en la tabla 26, se puede indicar, que la construcción de los módulos de Visión, se fueron afectando de acuerdo a las necesidades de mejorar la calidad de la toma de imágenes, con el fin de obtener mejores resultados el momento de aplicar el OCR. Se determinó que el módulo final debe tener cierta similitud a la toma de datos de forma ambiental, ya que la iluminación indirecta general que se tienen en el ambiente ayuda notablemente en la toma de datos, se debe considerar que la altura a las que se coloca las cámaras debe ser regulable y evitar el ingreso de iluminación exterior.

La siguiente prueba que se aplicó a la técnica de procesamiento de imágenes, fue la que se experimentó con la iluminación dentro de los zócalos donde se colocan los cronómetros en los tres diferentes módulos de Visión desarrollados para el análisis. En la tabla que se muestra a continuación se indica los resultados obtenidos.

Tabla 27

Prueba 2 (Iluminación dentro de los Módulos de Visión)

CAJA / MÓDULO	ILUMINACIÓN	OBSERVACION	IMAGEN
Caja de cartón	Iluminación directa del Flash de la cámara del celular	Se presenta un brillo en la mica del cronómetro que dificulta la toma de la imagen.	 Continúa →

Caja de Visión en madera Triplex con dos zócalos para los cronómetros	Iluminación indirecta con lámparas LED de 12 V	Se reduce los efectos del brillo de la luz del flash sobre la mica del cronómetro, mejorando notablemente la toma de datos de las imágenes adquiridas	
Caja de MDF, con iluminación indirecta y restricción del LED central de las lámparas propuestas	Iluminación indirecta con restricción del LED central de las lámparas.	Mejora notablemente la toma de imagen, se asemeja mucho esta iluminación a un ambiente abierto.	

El módulo de visión se vio afectado inicialmente por factores de iluminación, por lo que se decidió aislar a la Unidad Bajo Prueba de cualquier tipo de influencia de luz exterior, así como también de influencia directa de luz sobre las unidades de prueba o cronómetros, pues al tener una iluminación directa, los datos se distorsionaban causando pérdida de la información. Por lo que se diseñó el módulo para utilizar una iluminación indirecta a través de luces LED, en donde se obtuvo los mejores resultados en la toma de datos. La Figura 71 muestra cómo influye una iluminación directa en los objetos bajo prueba.

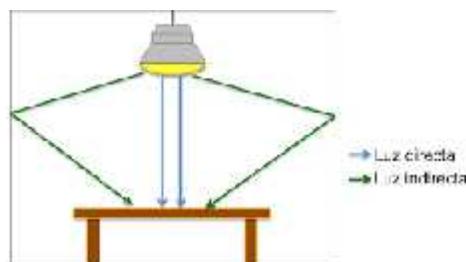


Figura 71 Iluminación indirecta del módulo de visión

En el módulo de Procesamiento de Imágenes, se empezó por hacer pruebas con cámaras convencionales, pero muchas de las cámaras no se activan al momento de su

conexión, los puertos seriales (COM), para poder realizar una captura efectiva de la imagen.

Se procede luego a verificar si se puede realizar este trabajo con cámaras especiales de alta resolución y obturado, Se entiende por obturación la acción que consiste en pulsar el disparador de la cámara, a esta acción se cierran unas cortinillas situadas delante del negativo, las cuales, al abrirse, dejan pasar la luz que impresionará la película o el sensor.

El tiempo de exposición hace referencia al periodo de tiempo durante el cual está abierto el obturador de una cámara fotográfica. Se expresa en segundos y fracciones. Es decir, cuando se escoja una cámara de tiempo de exposición de 500 segundos, se está aplicando una velocidad de $1/500$ de segundo. La luz llegaría al negativo o el sensor digital sólo durante esa pequeña fracción de tiempo.

Cuanto mayor sea la velocidad (más grande el número que se escoja en el dial de velocidades) más pequeño será el tiempo de exposición. Si se disminuye o aumenta en un punto la velocidad se está duplicando o reduciendo a la mitad respectivamente el tiempo de exposición.

La velocidad máxima de las cámaras reflex digitales suele encontrarse entre $1/2000$ y $1/4000$ de segundos, aunque también se pueden encontrar cámaras con velocidades de hasta $1/8000$ de segundos.

Naturalmente, cuanto más alta sea la velocidad, menor riesgo existirá de que la imagen no salga perfectamente nítida a causa de la trepidación de la cámara (el enfoque es otra cuestión). Sin embargo, con mucha frecuencia la elección de la velocidad está condicionada por la cantidad de luz. La Figura 72 muestra una comparación entre las diferentes velocidades de obturación de las cámaras existentes en el mercado y su función principal. En la cual se puede evidenciar que para trabajos de mayor nitidez en captura de imágenes en movimiento, se debe contar con cámaras especialistas en la captura de imágenes en movimiento. Para este caso del módulo de visión se necesita cámaras de velocidad de obturado superior a los $1/4000$ de segundo.

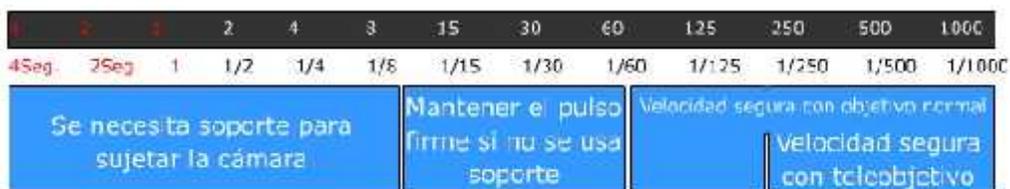


Figura 72 Velocidades de Obturación de cámaras

Fuente: (F, 2011)

La mejor cámara para el empleo de esta técnica sería la Cannon EOS= 650D, actúa como una cámara Web. El costo estimado de esta cámara esta por los 1500 dólares en el mercado Norte Americano. Dentro de la tabla 28 se demuestra el porqué de la utilización de una cámara de mejor obturado o velocidad de disparo.

Tabla 28

Prueba 3 (Selección de la cámara idónea)

CÁMARAS EMPLEADAS	RESOLUCIÓN DE LA IMAGEN	VELOCIDAD DE OBTURADO	OBSERVACIÓN
Cámara digitales	20 Mpx y toma en ráfaga de 4 fotos por segundo	1/30 segundos	Cámara presenta limitación al conectarse a la PC, no reconoce puerto serial
Cámaras WEB	4 Mpx y toma una sola foto el momento de su disparo.	1/3 segundos	Esta cámara permite conectarse a la PC ya que funciona como una cámara propia del equipo gracias a sus drivers que permite su uso, imagen obtenida no permite un OCR
Cámaras de celular convertida por software a cámara WEB	8 Mpx y toma hasta 3 fotos por segundo el momento de su disparo, gran nitidez.	1/100 segundos	Las cámaras de los celulares solución lo más apegada a la realidad de las cámaras de alto obturado, corrigiendo el error al reconocer puertos seriales, mejora la calidad de la imagen.

Continúa ➔

Cámara Cannon EOS= 650D	18 Mpx con capacidad de realizar disparos a alta velocidad, disparos en serie a 5 fotos por segundo para realizar ráfagas de hasta 22 fotos por segundo	1/4000 segundos	Esta cámara permite la toma de imágenes a grandes velocidades haciendo que los instantes más importantes de la imagen no se pierdan, es controlada por software gracias a sus drivers propios para edición de imágenes.
----------------------------	---	-----------------	---

El tener equipo necesario para el tratamiento eficiente de imágenes que se mueven a grandes velocidades le permitirán a este procesamiento un mejor nivel de exactitud el momento de la conversión de los datos obtenidos a la técnica de OCR.

Ya en el tratamiento de los datos obtenidos por el método de procesamiento digital de imágenes, se vio afectado principalmente por la manera de dar tratamiento a los datos tomados directamente desde las unidades bajo prueba y al computador, los datos obtenidos se ven afectados por milésimas de segundo de retraso de la toma real de datos, lo que dificulta o aumenta los niveles de error en la toma de datos. No se puede controlar aún este tipo de retraso en la toma de datos, ya que, al ser la calibración de equipos metrológicos específicamente de tiempo, su requerimiento principal es el de reducir los niveles de errores e incertidumbres de medición con métodos confiables y fiables.

Por todo lo antes expuesto, se pudo determinar que al ingresar los datos desde las cámaras al equipo de procesamiento, existe una variación de valores desde la simple percepción humana a los datos que toman las cámaras, producto de un retardo en la cámara a la toma misma de la imagen, la cual se quiso controlar con fórmulas estadísticas pero aumenta el error aún más que el error humano, el retardo igualmente se ve afectado directamente con los procesos computacionales que se estén realizando ese momento por el computador, esto sumado a la falta de equipos de mayor obturado como son las cámaras que se utilizan en las competencias de velocidad (Formula 1, por ejemplo), donde básicamente la necesidad de tomar imágenes en cuerpos a altas

velocidades, son una necesidad primordial, ante esta premisa, el CMEE debería disponer de estos equipos para reiniciar el estudio de este procedimiento.

Este método de procesamiento digital de imágenes, específicamente en procesos de calibración de equipos de tiempo, una vez hechas las pruebas de verificación y toma de datos no es muy recomendable, ya que el factor tiempo durante todo el proceso se ve afectado, pero no puede ser controlado para reducir los niveles de error e incertidumbre que pide el CMEE. Este método de toma de datos se puede utilizar en otras magnitudes donde el factor tiempo no sea específicamente el motivo de análisis.

7.4. Resultados Técnica de Procesamiento de Imágenes

Este método de procesamiento digital de imágenes, ante todo lo expuesto anteriormente, es un procedimiento que se desarrolló de acuerdo a las necesidades del CMEE, tratando de solucionar e implementar dos nuevos métodos de calibración de equipos de tiempo (cronómetros), pero debido a factores externos como son la falta de equipos de alta obturación como son las cámaras fotográficas, se redujo este procedimiento a un procedimiento muy poco confiable debido a los factores analizados anteriormente.

Este procedimiento, en las condiciones actuales que se encuentra se debería utilizar en laboratorios de otras magnitudes diferentes al Laboratorio de Tiempo del CMEE, en donde el tiempo no sea un factor principal de análisis, sino que se aplique en laboratorios donde su funcionamiento se base en repetitividad de medidas en tiempos no establecidos.

La altura en la cual se colocan las cámaras sobre los cronómetros, deben ser regulables, de tal forma que se pueda garantizar la toma de datos efectiva y la consiguiente técnica OCR para tomar datos veraces.

El módulo de visión se encuentra funcional al 100%, pero su aplicación en la magnitud de tiempo no permite evidenciar eficientemente la utilidad de este procedimiento, por lo que este procedimiento en otros laboratorios o con otros empleos

tendría gran éxito y ayudaría enormemente en la reducción del tiempo de calibración de equipos.

Una iluminación indirecta sobre el cronómetro de trabajo, ayuda considerablemente el momento de realizar la calibración de los parámetros de trabajo en la imagen previo a aplicar la técnica OCR sobre los caracteres reconocidos.

Se verificó que el gasto computacional en el equipo que se da el tratamiento de los datos debe ser de uso exclusivo para esta aplicación, ya que, a mayor cantidad de servicios activos en el computador, aumenta aún más los tiempos de retardo en la toma y tratamiento de los datos.

Se debe disponer de una red inalámbrica exclusiva para tratamiento de imágenes con este módulo, ya que igualmente a existir muchos equipos en la red, la toma de imágenes y el tratamiento de datos se ven también afectados a niveles considerables e incluso hacen pensar que los datos tomados son extremadamente erróneos.

7.5. Estudio Comparativo

Una vez implementados, el método de inducción y el método de procesamiento de imagen, se procede a comparar los métodos propuestos con el método actual del CMEE, esto permitirá sacar una conclusión, de cuál de los métodos es el q mejor se adapta a los requerimientos del CMEE. La Tabla 29 evidencia un estudio comparativo de las técnicas antes estudiadas y las que dispone el CMEE.

Tabla 29

Estudio comparativo diferentes métodos

CRITERIO DE COMPARACIÓN	MÉTODO ACTUAL	MÉTODO DE INDUCCIÓN	MÉTODO DE PROCESAMIENTO DE IMAGEN
Error de medición del sistema	8,2993E-4	2,820652E-5	1,18E-3
Tiempo de Calibración	24 horas laborables (3 días)	30 minutos	120 minutos Continúa →

Incertidumbre por Factores externos	Error humano	Resolución del equipo de contaje	Error de equipamiento y oscilador de cristal. (fuente de arranque)
Variable medida	Tiempo (Segundos)	Frecuencia (Hz Recomendable)	Tiempo (Segundos)
Resolución del cronómetro	0,01	0	0,01
Tiempo de reacción	0,1(s)	0	10 (ns)
Resolución del contador	0	1E-12	No Aplica

Análisis

Para obtener el error de medición del sistema se usó el Programa AMTyF, que permite ingresar los datos obtenidos de cada método y calcular el respectivo error, una vez obtenidos estos datos se evidencia que el método con menor error es el método de inducción.

Se reduce el tiempo de calibración de 24 horas (3 días laborables) a 30 minutos en el método de inducción y 120 minutos en el método de procesamiento de imágenes, hay que recordar que la incertidumbre de error humano se eliminó con el método de inducción y ahora solo depende de la resolución del equipo en el método de inducción.

El método de inducción es mucho más confiable ya que los datos a capturar no están procesados y se adquiere directamente la frecuencia de oscilación del cuarzo, a diferencia de los otros métodos que sus datos están en unidades de tiempo, además se eliminó el tiempo de reacción para iniciar el sistema.

Por todo esto el método de inducción es el más idóneo para ser implementado dentro del Laboratorio de frecuencia en el CMEE, ya que tiene muchas ventajas respecto de los otros métodos.

Conclusiones

- Una vez levantada toda la información referente a las técnicas de calibración de cronómetros digitales, se puede concluir que en todos los centros de metrología a nivel nacional e internacional, no existe una herramienta de calibración de cronómetros digitales infalible, por el contrario todas las técnicas son complementarias en su uso, puesto que en la técnica de inducción, no todos los cronómetros se pueden calibrar por esta técnica ya que muchos de los cronómetros disponen de protección que evitan la extracción de frecuencias de un forma exacta. Por lo que, se ve prioritario el seguir contando con la técnica manual ante estos inconvenientes.
- Se diseñó un circuito captador de frecuencia apropiado, pues luego de las respectivas pruebas, el circuito con el integrado AD704, cumple con las exigencias del proyecto en un 100%, lo que le hace al circuito captador la fortaleza básica de este proyecto.
- Se diseñó un módulo experimental funcional y replicable, para la técnica de inducción, bajo el concepto de una Jaula de Faraday que elimina la posibilidad de obtener al circuito captador frecuencias externas no deseadas, lo que permite la obtención de datos precisos libres de perturbaciones externas.
- El método de inducción permite calibrar los cronómetros sin ser encendidos ya que se obtiene directamente la frecuencia de oscilación del cuarzo del cronómetro en prueba, esto permite trabajar con datos más confiables y ahorrar recursos al momento de la toma de datos.
- El método de inducción para calibrar cronómetros digitales aumenta la confiabilidad de las mediciones porque el factor humano no forma parte en la toma de datos del proceso, el proceso es totalmente automatizado y la toma de datos se la realiza cada segundo y con menor incertidumbre.
- En el método de inducción se determinó que el blindaje es una de las partes más importantes porque la señal con la cual se está trabajando es muy baja y fácilmente puede ser confundida con señales de frecuencia de los equipos

conectados a la red eléctrica, es por eso que todo el sistema tiene apantallamiento y conectores para que no exista interferencia con otras señales.

- Con el método de inducción se logró reducir el tiempo de calibración de 3 días laborables, que es el tiempo que toma actualmente calibrar un cronómetro en el CMEE a aproximadamente 30 minutos, este tiempo disminuye considerablemente por el periodo de muestreo que es 1s.
- A pesar que el método de inducción reduce incertidumbres y tiempo de calibración, es un método que no permite calibrar todo tipo de cronómetros porque depende de la construcción interna del mismo y esta varía dependiendo de la marca y modelo.
- Ante la tendencia tecnológica de automatizar los procesos de calibración, el tener sistemas OCR es lejos de ser un lujo, en los centros de investigación y calibración, son una necesidad que permiten reducir tiempos respecto a los convencionales métodos de calibración, pero esta automatización solo se la logra con la compra de equipos y licencias en software especializados.
- Al ser el segundo la unidad de tiempo motivo de análisis en el proceso de calibración, el procesamiento digital de señales se ve gravemente afectado por consecuencia de: retardos en toma de datos por falta de un sistema eficiente de obturación de la cámara, retardo en el procesamiento de datos en la unidad de procesamiento, los niveles de detección del carácter en OCR está en un 90% de credibilidad con el programa propuesto; puede mejorar esta eficiencia con ayuda de una mejor cámara y con filtros más apropiados producto de una cámara más precisa para este tipo de trabajos.
- El uso de módulos especializados como es el Modulo de Visión de NI, simplifica enormemente la programación de filtros, escala de espacios, escala de grises, brillantes, OCR, etc., ya que como se vio inicialmente, este tipo de tratamiento puede ayudarse de la Algebra Lineal tradicional para el manejo de imágenes.

- Los módulos de Visión en la parte física, pueden ser mejorados, ya que actualmente este módulo tiene una regulación de 5 mm en altura, pudiendo ser esta regulación mejorada, así como los soportes de la misma ante la presencia necesaria de cámara con niveles de obturación más eficientes y acorde a las necesidades del proyecto.
- Una vez implementados los dos métodos de calibración, se concluye que el método de inducción es el más ideal para ser usado en el CMEE porque esta funcional al 100% y permite reducir el tiempo de calibración, además que, los datos son más confiables que los datos obtenidos en el método usado actualmente.

Recomendaciones

- Aunque no se pudo obtener todos los recursos esperados para materializar el procedimiento de calibración por la técnica de procesamiento de imágenes, se puede recomendar el uso de cámaras digitales apropiadas y alta nitidez en la obtención de la imagen y de obturación más rápida para tener el éxito esperado en este proceso de calibración.
- Se realice un estudio estadístico de los datos que arroja la técnica de procesamiento de imágenes, de manera que se pueda evidenciar y determinar matemáticamente y estadísticamente la viabilidad de mantener o no como esta este proyecto, ya que por los problemas presentados en este proceso estadísticamente pueden ser corregidos y se podría determinar una exactitud en este proceso.
- Se realice una implementación de la técnica de procesamiento de imágenes, similar a la realizada en el laboratorio de tiempo, pero en el laboratorio de presión, en donde el tiempo en la toma de datos se podría reducir gracias a este método adaptado a multímetros en donde la variación de voltaje no varía a la velocidad que lo realiza en segundo dentro de las milésimas que se debe tomar.
- Para el método de inducción se recomienda sacar una base de datos de los cronómetros que se pueden calibrar por este método con sus respectivas características técnicas para tener conocimiento de cuáles son los cronómetros que no se les puede calibrar por este método.
- Se recomienda para el método de inducción usar el estándar de conexión GPIB para comunicar el computador con el contador de frecuencia, porque de esta manera se podrá configurar el equipo desde LabVIEW.

Referencias Bibliográficas

bipm.org. (11 de 11 de 2015). Recuperado el 21 de abril del 2015 de <http://www.bipm.org/en/publications/si-brochure/second.html>

Asociados, M. &. (Julio de 2005). *Métodos de medición, Prueba y Calibración*. Recuperado el 27 de abril del 2015 de <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-05-07-metodos-de-medicion.pdf>

Asociados, M. &. (Julio de 2007). *Cronómetros y temporizadores*. Recuperado el 27 de abril del 2015 de <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-07-07-cronometro-temporizador.pdf>

Barragán, E. (2011). Diseño e Implementación del Sistema de Control vehicular utilizando Reconocimiento Óptico de Caracteres en el laboratorio de Automatización Industrial de la E.I.S. Riobamba.

CMEE. (2015). *Manual de Calidad Competencia del laboratorio de Calibración*. Quito.

Cruz, J. (2013). Guía de Inicio Módulo de NI-VISION de LABVIEW. Bogotá, Chapinero, Colombia.

Devices, A. (s.f.). Datasheet ad704. Estados Unidos.

Díaz, H., & Postigo, H. (2012). Calibración de cronómetros digitales por el método de inducción con una incertidumbre de medición $< 0,1$ us/s. *Revista de la SNM*, 1-4.

Esqueda, J. (2012). *Fundamentos de Procesamiento de Imágenes*. Valle de las Palmas, Tijuana, México.

F, G. (01 de 09 de 2011). *Vive la naturaleza*. Recuperado el 27 de febrero del 2016 de <http://www.vivelanaturaleza.com/fotografia/obturador.php>

Gutierrez, E., & Ricardo, V. (2011). *MOdernización del Laboratorio de Metrología Eléctrica. El ININ hoy*, 1-7.

INEN. (2015). *NTE INEN ISO/IEC 17025*. QUITO.

Jimenez, J. (Febrero de 2009). *Sistema automatizado de calibración de cronómetros y relojes mediante la medición de la frecuencia de operación del oscilador interno*. Cartago, Costa Rica.

Mauricio, L. (2005). *Calibración de cronómetros*. México D.F, El Marqués, México.

Mojica, L., & Solis, R. (2010). *Sistema de calibración de cronómetros digitales. CENAMEP AIP*, 1-7.

NI. (2012). En NI, *Programación del Control Mediante LABVIEW* (págs. 48-60).

NI. (2013). *Adquisición de Datos y acondicionamiento de la señal*. México: National Instruments.

Pabón, H. (2010). *Probabilidad y Estadística con MATLAB para investigadores*. Cundinamarca: Universidad de Cundinamarca Colombia.

Ponsa, P., & Granollers, T. (Julio de 2006). *Diseño de Pantalla*. Recuperado el 27 de diciembre del 2015 de <http://www.epsevg.upc.edu/hcd/material/lecturas/pantalla.pdf>

Rodríguez, R., & Velázquez, Ó. (Junio de 2013). *Calibrador de Cronómetros Digitales por medio de Inducción*. Valladolid, España.