



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO PARA CALIBRACIÓN DE  
CRONÓMETROS UTILIZANDO UN OSCILADOR DE RUBIDIO  
PARA EL LABORATORIO DE METROLOGÍA DE LA FACULTAD  
DE MECÁNICA”**

**Trabajo de titulación**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado a optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTOR: CARLOS LUIS GUSQUI GUANANGA**

**DIRECTOR: Ing. MAYORGA PEREZ DIEGO FERNANDO**

Riobamba – Ecuador

2021

**©2021, Carlos Luis Gusqui Guananga**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos por cualquier medio o procedimiento incluyendo a la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Carlos Luis Gusqui Guananga, declaro que el presente trabajo de titulación es mi autoría y los resultados del mismo son auténticos.

Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 26 de enero de 2021

A handwritten signature in black ink, enclosed in an oval shape. The signature is cursive and appears to read 'Carlos Luis Gusqui Guananga'.

**Carlos Luis Gusqui Guananga**

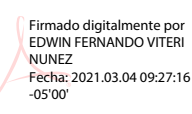

**060476487-8**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

El tribunal del trabajo de titulación certifica que : el trabajo de titulación: Tipo: Propuesta Técnica, **IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO PARA CALIBRACIÓN DE CRONÓMETROS UTILIZANDO UN OSCILADOR DE RUBIDIO PARA EL LABORATORIO DE METROLOGÍA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA**, realizado por el señor: **CARLOS LUIS GUSQUI GUANANGA**, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación:

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	<b>EDWIN FERNANDO VITERI NUNEZ</b>  Firmado digitalmente por EDWIN FERNANDO VITERI NUNEZ Fecha: 2021.03.04 09:27:16 -05'00'	2021 – 02 – 12
Ing. Diego Fernando Mayorga Pérez <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACION</b>	<b>DIEGO FERNANDO MAYORGA PEREZ</b>  Firmado digitalmente por DIEGO FERNANDO MAYORGA PEREZ Fecha: 2021.03.04 09:43:02 -05'00'	2021 – 02 – 12
Ing. Lidia Del Rocío Castro Cepeda <b>MIEMBRO DE TRIBUNAL</b>	<b>LIDIA DEL ROCIO CASTRO CEPEDA</b>  Firmado digitalmente por LIDIA DEL ROCIO CASTRO CEPEDA Fecha: 2021.03.04 10:25:31 -05'00'	2021 – 02 – 12

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi Creador, a mi Dios que desde el cielo día a día me llena de bendiciones y milagros. Siendo una persona rota, llegando al fondo del abismo me encontró y lo conocí, imposible no dedicarle este y todos los logros de mi vida al ser que me ama tal y como soy. Toda la Honra y la Gloria a ti Padre amado.

Carlos

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar agradecer a Dios por permitirme concluir una etapa más de mi vida; es imposible nombrar a cada persona que ayudo y fomento este gran paso en mi vida profesional por temor a olvidar a alguien, de la misma manera es imposible dejar de nombrar a mi mamá que fue padre y madre, que conjuntamente con mi abuelita que es una segunda madre y resto de familia que con su amor fueron pilares fundamentales en mi vida universitaria. Finalmente dar las gracias a la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo conjuntamente con sus docentes por los conocimientos brindados.

Carlos

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT .....	xviii
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPITULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA .....	2
1.1	Antecedentes .....	2
1.2	Formulación del problema .....	3
1.3	Justificación .....	3
1.3.1	<i>Justificación Práctica</i> .....	3
1.3.2	<i>Justificación Teórica</i> .....	4
1.3.3	<i>Justificación Metodológica</i> .....	4
1.4	Hipótesis.....	4
1.5	Alcance .....	5
1.6	Objetivos .....	5
1.6.1	<i>Objetivo General</i> .....	5
1.6.2	<i>Objetivos Específicos</i> .....	5

### CAPITULO II

2.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	6
2.1	Metrología.....	6
2.2	Calibración .....	6

<b>2.3</b>	<b>Métodos de Calibración en instrumentos de tiempo.....</b>	<b>7</b>
2.3.1	<i>Método de comparación directa.....</i>	7
2.3.2	<i>Método de comparación mediante el uso de un totalizador o contador .....</i>	8
2.3.3	<i>Método de comparación mediante la medición de la base de tiempo.....</i>	9
<b>2.4</b>	<b>Cronómetros .....</b>	<b>10</b>
2.4.1	<i>Cronómetros tipo I .....</i>	10
2.4.2	<i>Cronómetros tipo II.....</i>	10
2.4.3	<i>Relación cronómetros tipo I y tipo II .....</i>	11
<b>2.5</b>	<b>Teoría de errores.....</b>	<b>12</b>
2.5.1	<i>Errores aleatorios.....</i>	12
2.5.2	<i>Error sistemático .....</i>	12
2.5.3	<i>Medición del error.....</i>	13
2.5.3.1	<i>Error absoluto .....</i>	13
2.5.3.2	<i>Error relativo.....</i>	14
2.5.3.3	<i>Error porcentual.....</i>	14
2.5.4	<i>Representación grafica .....</i>	14
<b>2.6</b>	<b>Oscilador .....</b>	<b>15</b>
2.6.1	<i>Relojes Atómicos .....</i>	15
2.6.2	<i>Rubidio .....</i>	16
2.6.3	<i>Oscilador de Rubidio .....</i>	16
<b>2.7</b>	<b>Estabilidad de la frecuencia .....</b>	<b>18</b>
2.7.1	<i>Estabilidad a corto plazo .....</i>	19
2.7.2	<i>Estabilidad a largo plazo.....</i>	19
<b>2.8</b>	<b>Desviación de Allan.....</b>	<b>19</b>
<b>2.9</b>	<b>Incertidumbre.....</b>	<b>22</b>
2.9.1	<i>Incertidumbre Tipo A.....</i>	23
2.9.1.1	<i>Evaluación de la incertidumbre Tipo A.....</i>	24
2.9.2	<i>Incertidumbre Tipo B.....</i>	25
<b>2.10</b>	<b>Trazabilidad .....</b>	<b>28</b>



<b>2.10.1</b>	<b><i>Elementos en la trazabilidad</i></b> .....	28
<b>2.10.1.1</b>	<i>Cadena interrumpida de comparaciones</i> .....	28
<b>2.10.1.2</b>	<i>Tipo de incertidumbre presente</i> .....	28
<b>2.10.1.3</b>	<i>Documentación</i> .....	29
<b>2.10.1.4</b>	<i>Competencia</i> .....	29
<b>2.10.1.5</b>	<i>Referencia al Sistema Internacional de Unidades (SI)</i> .....	29
<b>2.10.1.6</b>	<b><i>Recalibración</i></b> .....	30
<b>2.10.2</b>	<b><i>Influencia de la trazabilidad en la incertidumbre</i></b> .....	30
<b>2.11</b>	<b>Certificados de calibración</b> .....	30
<b>2.11.1</b>	<b><i>Beneficios del certificado de calibración</i></b> .....	31
<b>2.11.1.1</b>	<i>Correcciones</i> .....	31
<b>2.11.1.2</b>	<i>Incertidumbre</i> .....	31
<b>2.11.1.3</b>	<i>Evidencia de calibración</i> .....	31
<b>2.11.1.4</b>	<i>Evidencia de trazabilidad</i> .....	31
<b>2.11.2</b>	<b><i>Estructura de un certificado de calibración</i></b> .....	32
<b>2.11.3</b>	<b><i>Notaciones</i></b> .....	33
<b>2.12</b>	<b>Criterios de aceptación y rechazo</b> .....	33

### **CAPITULO III**

<b>3.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	37
<b>3.1</b>	<b>Diagnóstico de los equipos</b> .....	37
<b>3.1.1</b>	<i>Oscilador de rubidio</i> .....	37
<b>3.1.2</b>	<i>Reloj LED</i> .....	40
<b>3.2</b>	<b>Principio de funcionamiento y selección de componentes</b> .....	42
<b>3.2.1</b>	<i>Conversión de la onda senoidal a onda cuadrada</i> .....	44
<b>3.2.2</b>	<i>Reducción de frecuencia</i> .....	45
<b>3.2.3</b>	<i>Multivibrador Monoestable</i> .....	45
<b>3.2.4</b>	<i>Circuito para obtención de un valor DC</i> .....	46

3.2.5	<i>Ajuste de Rango y Aumento de Corriente de Salida</i> .....	46
3.3	<b>Simulación de Circuito</b> .....	47
3.3.1	<i>Multivibrador monoestable</i> .....	48
3.3.2	<i>Conversión de onda senoidal a cuadrada</i> .....	53
3.3.3	<i>Reducción de frecuencia</i> .....	54
3.3.4	<i>Obtención del valor DC</i> .....	59
3.3.5	<i>Ajuste de rango</i> .....	61
3.3.6	<i>Ajuste de corriente en el sistema</i> .....	64
3.4	<b>Circuito Impreso</b> .....	64
3.4.1	<i>Alimentación y encendido del circuito</i> .....	65
3.4.2	<i>Conversión de onda senoidal a cuadrada</i> .....	66
3.4.3	<i>Reducción de frecuencia</i> .....	66
3.4.4	<i>Multivibrador monoestable</i> .....	67
3.4.5	<i>Obtención del valor DC</i> .....	68
3.4.6	<i>Ajuste de rango y corriente en el sistema</i> .....	68
3.5	<b>Montaje del sistema</b> .....	69
3.5.1	<i>Circuito para la conversión de frecuencia en estampas de tiempo</i> .....	69
3.5.2	<i>Oscilador de rubidio</i> .....	70
3.5.3	<i>Alimentación del circuito y conexión del LED</i> .....	72
3.6	<b>Normativa</b> .....	75

## CAPITULO IV

4.	<b>RESULTADOS</b> .....	76
4.1	<b>Método de calibración</b> .....	76
4.2	<b>Validación del sistema patrón</b> .....	77
4.3	<b>Validación del oscilador</b> .....	79
4.4	<b>Pruebas de funcionamiento</b> .....	79
4.5	<b>Certificado de calibración</b> .....	81

<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>85</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>86</b>
<b>GLOSARIO</b>	
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1 – 2 :</b>	Relación entre los métodos de calibración.....	9
<b>Tabla 2 – 2 :</b>	Comparación entre cronómetros Tipo I y II .....	11
<b>Tabla 3 – 2 :</b>	Características de un oscilador de rubidio .....	17
<b>Tabla 4 – 2 :</b>	Valores unitarios -adimensionales y porcentajes .....	27
<b>Tabla 5 – 2 :</b>	Prefijos de medida .....	29
<b>Tabla 1 – 3 :</b>	Hoja de vida de oscilador de rubidio .....	38
<b>Tabla 1 – 3 :</b>	Hoja de vida de oscilador de rubidio .....	41
<b>Tabla 1 – 3 :</b>	Intervalos de tiempo.....	74
<b>Tabla 1 – 3 :</b>	Intervalos de tiempo.....	79
<b>Tabla 1 – 3 :</b>	Intervalos de tiempo.....	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1 – 2.</b>	Comparación directa.....	7
<b>Figura 2 – 2.</b>	Comparación por contador .....	8
<b>Figura 3 – 2.</b>	Medición de la base de tiempo .....	9
<b>Figura 4 – 2.</b>	Cronómetro Tipo I.....	10
<b>Figura 5 – 2.</b>	Cronómetro Tipo II.....	10
<b>Figura 6 – 2.</b>	Representación gráfica del error.....	15
<b>Figura 7 – 2.</b>	Oscilador de rubidio .....	16
<b>Figura 8 – 2.</b>	Representación gráfica del circuito del oscilador de rubidio.....	16
<b>Figura 9 – 2.</b>	Espectro de un oscilador de rubidio de baja estabilidad.....	18
<b>Figura 10 – 2.</b>	Espectro de un oscilador de rubidio de alta estabilidad.....	18
<b>Figura 11 – 2.</b>	Espectro de un oscilador de mal comportamiento en 10000 mediciones .....	20
<b>Figura 12 – 2.</b>	Espectro de un oscilador de mal comportamiento – 3D.....	20
<b>Figura 13 – 2.</b>	Espectro de un oscilador de buen comportamiento en 10000 mediciones .....	21
<b>Figura 14 – 2.</b>	Definición de la varianza de Allan .....	21
<b>Figura 15 – 2.</b>	Definición de la varianza de Allan .....	26
<b>Figura 17 – 2.</b>	Influencia de la trazabilidad en la incertidumbre.....	30
<b>Figura 18 – 2.</b>	Estructura de un certificado de calibración .....	32
<b>Figura 19 – 2.</b>	Límite de aceptación.....	34
<b>Figura 20 – 2.</b>	Aceptación bajo criterio conservador .....	35
<b>Figura 21 – 2.</b>	Rechazo conservador .....	35
<b>Figura 1 – 3.</b>	Secuencia de implementación del sistema.....	37
<b>Figura 2 – 3.</b>	Placa – Oscilador de Rubidio .....	38
<b>Figura 3 – 3.</b>	Frecuencia – Oscilador .....	39
<b>Figura 4 – 3.</b>	Cable de poder .....	39
<b>Figura 5 – 3.</b>	LED .....	40
<b>Figura 6 – 3.</b>	LED .....	41
<b>Figura 7 – 3.</b>	Protocolo NTP.....	42
<b>Figura 8 – 3.</b>	Diagrama de bloques del sistema completo.....	44
<b>Figura 9 – 3.</b>	Comparador analógico MAX907EPA.....	44
<b>Figura 10 – 3.</b>	Resistencia.....	44
<b>Figura 11 – 3.</b>	Contadores de década 74HC190.....	45
<b>Figura 12 – 3.</b>	Integrado <i>Timer 555</i> .....	45
<b>Figura 13 – 3.</b>	Capacitor.....	46
<b>Figura 14 – 3.</b>	Circuito Integrado <i>LM324</i> .....	46

<b>Figura 15 – 3.</b> Transistor TIP31C .....	47
<b>Figura 16 – 3.</b> Software Proteus .....	47
<b>Figura 17 – 3.</b> Diagrama del multivibrador monoestable .....	48
<b>Figura 18 – 3.</b> Comportamiento a la salida del monoestable (señal digital) .....	49
<b>Figura 19 – 3.</b> Red de filtro .....	49
<b>Figura 20 – 3.</b> Diagrama del multivibrador monoestable (sin red de filtro) .....	50
<b>Figura 21 – 3.</b> Comportamiento a la salida del monoestable (sin filtro) .....	50
<b>Figura 22 – 3.</b> Comportamiento a la salida del monoestable (señal analógica) .....	51
<b>Figura 23 – 3.</b> Salida del monoestable (50% de la frecuencia) .....	52
<b>Figura 24 – 3.</b> Circuito de conversión de onda .....	53
<b>Figura 25 – 3.</b> Señal de salida a 10 MHz .....	53
<b>Figura 26 – 3.</b> Señal de salida a 5 MHz .....	54
<b>Figura 27 – 3.</b> Voltaje a la salida del comparador .....	55
<b>Figura 28 – 3.</b> Diagrama de contadores de década .....	55
<b>Figura 29 – 3.</b> Bloque de reducción de frecuencia .....	56
<b>Figura 30 – 3.</b> Reducción de frecuencia (5MHz) .....	56
<b>Figura 31 – 3.</b> Reducción de frecuencia (10MHz) .....	57
<b>Figura 32 – 3.</b> Acople de etapas .....	57
<b>Figura 33 – 3.</b> Comportamiento del monoestable (10MHz) .....	58
<b>Figura 34 – 3.</b> Comportamiento del monoestable (5MHz) .....	58
<b>Figura 35 – 3.</b> Filtro pasa bajos .....	59
<b>Figura 36 – 3.</b> Señal de salida filtrada (5MHz) .....	60
<b>Figura 37 – 3.</b> Filtro pasa bajos .....	60
<b>Figura 38 – 3.</b> Señal de salida filtrada (5MHz) .....	61
<b>Figura 39 – 3.</b> Diagrama de amplificadores operacionales .....	61
<b>Figura 40 – 3.</b> Fase de amplificación .....	62
<b>Figura 41 – 3.</b> Fase de reducción .....	62
<b>Figura 42 – 3.</b> Ajuste de rango (10MHz) .....	63
<b>Figura 43 – 3.</b> Ajuste de rango (5MHz) .....	63
<b>Figura 44 – 3.</b> Ajuste de corriente .....	64
<b>Figura 45 – 3.</b> PCB .....	65
<b>Figura 47 – 3.</b> Conversión de onda .....	66
<b>Figura 48 – 3.</b> Reducción de frecuencia .....	66
<b>Figura 49 – 3.</b> Multivibrador monoestable .....	67
<b>Figura 50 – 3.</b> Análisis transitorio .....	67
<b>Figura 51 – 3.</b> Filtro pasa bajos .....	68
<b>Figura 52 – 3.</b> Ajuste de voltaje y corriente .....	68

<b>Figura 53 – 3.</b> Circuito general del sistema.....	69
<b>Figura 54 – 3.</b> Circuito general del sistema.....	69
<b>Figura 55 – 3.</b> Circuito general del sistema (etapas).....	70
<b>Figura 56 – 3.</b> Vista frontal y posterior de oscilador.....	71
<b>Figura 57 – 3.</b> Conexión a 110V del oscilador .....	71
<b>Figura 58 – 3.</b> Oscilador encendido .....	72
<b>Figura 59 – 3.</b> Oscilador en estado estable.....	72
<b>Figura 60 – 3.</b> Fuente de 12V.....	73
<b>Figura 61 – 3.</b> Conexión a 110V .....	73
<b>Figura 62 – 3.</b> Circuito general del sistema en funcionamiento.....	73
<b>Figura 63 – 3.</b> Funcionamiento general del sistema.....	74
<b>Figura 64 – 3.</b> Termohigrómetro.....	75
<b>Figura 65 – 3.</b> Termohigrómetro.....	75
<b>Figura 1 – 4.</b> Método de calibración directa (FF. AA).....	76
<b>Figura 4 – 2.</b> Temperatura y humedad .....	76
<b>Figura 2 – 4.</b> Red americana de tiempo y frecuencia .....	77
<b>Figura 3 – 4.</b> Hora continental .....	77
<b>Figura 4 – 4.</b> Hora continental .....	78
<b>Figura 5 – 4.</b> Mapa continental de los osciladores.....	78
<b>Figura 6 – 4.</b> Calibración del cronómetro .....	80

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1 – 4:</b> Intervalos de tiempos .....	80
<b>Gráfico 2 - 4 :</b> Error relativo .....	83
<b>Gráfico 3 – 4:</b> Error porcentual .....	84
<b>Gráfico 4 – 4:</b> Incertidumbre de la medición .....	84



## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** ONDA DE COMPORTAMIENTO DEL OSCILADOR A FRECUENCIAS DESDE 1 MHZ A 10 MHZ
- ANEXO B:** DIAGRAMA DE CIRCUITO CONVERSION DE SEÑALES DE FRECUENCIA A ESTAMPAS DE TIEMPO
- ANEXO C:** DIAGRAMA DE CIRCUITO DEL DISEÑO DEL PCB
- ANEXO D:** MANUAL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación, desarrollado en el actual documento tuvo como principal objetivo el desarrollo de un banco de calibración para instrumentos de tiempo, específicamente cronómetros basado en un oscilador de rubidio BELL EFRATON, donado por parte del Centro de Metrología Del Ejército Nacional Ecuatoriano, para la Facultad de Mecánica. El proyecto se desarrolló dentro de tres campos el estadístico, electrónico y metrológico; en el campo electrónico se analizó y desarrollo un circuito el cual consta de varias etapas, para la transformación de las señales de frecuencia emitidas por el oscilador a señales de voltaje para la alimentación de un LED en el cual se pudo observar de manera óptima las lecturas de tiempo; mientras que el campo metrológico analizó las señales emitidas por oscilador ya no transformadas a valores de voltaje sino como estampas de tiempo que sirven como sistema patrón para proceso de calibración; el campo estadístico analizó estas lecturas para determinar errores e incertidumbre en las mismas. Una vez validados sistema patrón, errores y funcionamiento óptimo del circuito se realizó la calibración de un cronómetro marca CASIO con la toma de diez lecturas a intervalos de tiempo dispares. El proceso se realizó a condiciones físicas controladas tal como menciona la normativa ISO 17025 entre otras. La primera mostró un error de 0.33% y la última de 0.0139%, siendo estas la de mayor y menor valor correspondientemente al igual que en la incertidumbre; estas lecturas están por debajo del porcentaje de error mínimo del 5% para ser rechazadas por lo que el proceso de calibración fue aceptado y validado, posteriormente se emitió un certificado de calibración con formato propio del autor. Durante el proceso es sumamente importante controlar la propagación de errores, así como un mal manejo del equipo, especialmente del oscilador.

**Palabras clave:** <METROLOGÍA>, <OSCILADOR (EQUIPO)>, <CALIBRACIÓN>, <INCERTIDUMBRE>, <ACEPTACIÓN>, <TIEMPO>, <CRONÓMETRO>.



Firmado electrónicamente por:  
JHONATAN RODRIGO  
PARREÑO UQUILLAS



17/02/2021

0640-DBRAI-UPT-2021

## **ABSTRACT**

The present research work, developed in the current document, had as its main objective the development of a calibration bench for time instruments, specifically chronometers based on a BELL EFRATON rubidium oscillator, donated by the Ecuadorian National Army Metrology Center, for the Faculty of Mechanics. The project was developed within three fields: statistical, electronic and metrological; In the electronic field, a circuit was analyzed and developed which consists of several stages, for the transformation of the frequency signals emitted by the oscillator to voltage signals for the supply of a LED in which the readings of time could be optimally observed; while the metrological field analyzed the signals emitted by the oscillator, no longer transformed to voltage values, but as time stamps that serve as a standard system for the calibration process; the statistical field analyzed these readings to determine errors and uncertainty in them. Once the standard system, errors and optimal operation of the circuit had been validated, the calibration of a CASIO brand chronometer was carried out with the taking of ten readings at different time intervals. The process was carried out under controlled physical conditions as mentioned in the ISO 17025 standard among others. The first showed an error of 0.33% and the last of 0.0139%, which were correspondingly the highest and lowest value, as well as the uncertainty; These readings are below the minimum error percentage of 5% to be rejected, so the calibration process was accepted and validated, later a calibration certificate with the author's own format was issued. During the process it is extremely important to control the propagation of errors, as well as a bad handling of the equipment, especially of the oscillator.

**Keywords:** <METROLOGY>, <OSCILLATOR (EQUIPMENT)>, <CALIBRATION>, <UNCERTAINTY>, <ACCEPTANCE>, <TIME>, <CHRONOMETER>.

## INTRODUCCIÓN

Al hablar de metrología es sinónimo de hablar de calibración de instrumentos; en el mundo hay infinidad de instituciones, ya sean públicas, privadas o a su vez educacionales que cuentan con un equipo apropiado para calibración de instrumentos, en específico de tiempo, sin embargo, se hace imposible dejar de nombrar quizá los más importantes. LACOMET (Laboratorio Costarricense de Metrología), INACAL (Instituto Nacional de Calidad, división de Tiempo y Frecuencia – Perú). Quizá por las publicaciones realizadas, investigaciones, equipo técnico y demás, las importantes de américa a criterio reservado como lo son el CENAM (Centro Nacional de Metrología, división de Tiempo y Frecuencia – México) y NDMC (*Albania. National Directorate of Metrology and Calibration*), siendo estos miembros de la Red NIST (*National Institute of Standards and Technology*) (DIAZ, PALMA, (2009), p. 01 ; DIAZ, POSTIGO, (2015), p. 01 ; JIMENEZ, 2009, p. 16 ; HORSKÝ, HORSKÁ, 2013, p. 01 ; FALLAS-CORDERO et al., 2015, p. 02).

En el Ecuador si bien no es común el manejo de la calibración de instrumentos a un nivel cotidiano, a nivel industrial sí lo es, debido a que no existe empresa de producción alguna que no necesite la mayor de las precisiones en lecturas de diversos equipos. De entre todos los equipos existentes en la industria, muchos de ellos tienen el mismo principio de medición sin tener muy en cuenta las magnitudes que se estén manipulando. Entre ellas, una de las más importantes el tiempo; de las instituciones que prestan servicios en el país es innegable decir que el que cuenta con el equipo apropiado, personal especializado y demás es el Centro de Metrología del Ejército Ecuatoriano (CMEE). Precisamente la magnitud del tiempo, hace la diferencia entre este laboratorio y el INEN (Servicio Ecuatoriano de Normalización) (FARFÁN DURÁN, 2018, p. 13; VICENTE, 2013, p. 22; SALAZAR, 1995, p. 14).

A nivel local, el conocimiento teórico en el campo de calibración de instrumentos de tiempo es de un alto estándar, en contraste a lo que se refiere al manejo de equipo apropiado y adecuado para fines pertinentes al tema; existe un nivel bajo y de consideración, teniendo como factor principal el económico. También a su vez influye el desconocimiento de la importancia de este proceso y de su influencia en la formación de un profesional o de los servicios que se pueden prestar en base al tema. Por último, para hacer mención de forma simple y puntual, se entiende por metrología como aquella ciencia que se encarga de las mediciones, ya sean estas de carácter absoluto o relativo. Mediciones bajo diferentes sistemas patrón abarca una gran variedad de magnitudes físicas, de las cuales quizá una de las más importantes a nivel industrial, investigativo y demás sea el tiempo, misma a tratar durante el desarrollo de la presente tesis (KAMAS, 1990, p. 14; MEDINA-SMITH, WICK y WICK, 2017, p. 16; SALAZAR, 1995, p. 15).

## CAPÍTULO I

### 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Antecedentes

La calibración en base al dominio del tiempo si bien a nivel local es poco conocido, se describe al mismo como un fenómeno que se presenta como un objeto digno de análisis y estudio minucioso dentro de lo que a la ciencia de metrología se refiere. Dentro de dicho campo se han realizado realizados varios estudios tomando en cuenta diferentes equipos, así como diversos sistemas y maneras de calibración (SÁNCHEZ, 2015, p.45).

Partiendo de trabajos tan elementales de varios años atrás como un “Análisis Para Una Estructuración Física De Un Laboratorio De Calibración”, allá por el año de 1995 en el Ecuador, hasta llegar a investigaciones de alto impacto como la “Calibración De Forma Inalámbrica Mediante Señal De Internet “en el 2015, en Europa; la importancia de una estandarización correcta previa a una calibración ha ido tomando fuerza en los últimos años, más que nada a nivel industrial (HORSKÝ y HORSKÁ, 2013, p. 03; SALAZAR, 1995, p. 10)

Si bien a nivel internacional destacan entidades como CENAM, LCPC, como se mencionó anteriormente; Ecuador no puede ser la diferencia tal como se lo reconoce, en estudios como “Control Y Sincronización De La Zona Horaria Utc-5. En La Red De Comunicación Del Centro De Metrología De Las FF. AA”. mismo estudiando donde se destaca que el Ejército Ecuatoriano en calidad de organismo técnico en el país, además de ser miembro principal del reconocido sistema nacional de calidad, tiene a su haber un laboratorio de metrología, con equipos de alta gama. Este laboratorio, está constituido por varios laboratorios: Tiempo, Presión, Baja y Alta Frecuencia que constituyen el laboratorio de pruebas de calibración (JIMENEZ 2009, p. 17; SALAZAR 1995, p. 06).

Trabajos como “Medición de la base de tiempo del cronómetro digital por el método de inducción” hace referencia que todo lo que conlleva hablar de metrología, implica directamente hablar de procesos de calibración y por ende de una medición correcta haciendo énfasis a lo que en magnitud tiempo se refiere; escogiendo de entre todos los métodos posibles el método de la inducción. Dicho proceso se lo puede tener a nivel industrial, además de ciertos laboratorios e instituciones públicas o privadas (KO et al., 2015, p. 21 ; DIAZ, PALMA, 2009, p. 02).

## **1.2 Formulación del problema**

La metrología implica directamente toda acción controlada y monitoreada por los distintos patrones y normativas vigentes en el país. Todo proceso desarrollado bajo dichos patrones, genera siempre un cierto grado de confianza en los resultados finales obtenidos. Los distintos patrones de medida, requieren que se hagan verificaciones de los mismos antes de que sean empleados en la calibración de los distintos tipos de instrumentos. Siendo contemplados valores como incertidumbre, desviaciones típicas, distribuciones y demás, siendo estos propios del campo estadístico. Para verificar que la calibración y por ende las medidas estén dentro del rango permitido, muchas de las veces diversos laboratorios y empresas tanto públicas como privadas, realizan la contratación de entes especializadas en brindar este tipo de servicio (FRANCISCO y TAPIA, 2009, p. 05; RODRIGUEZ y VELAZQUEZ, 2013, p. 12).

El Laboratorio de Metrología de Facultad de Mecánica de la ESPOCH cuenta con un Oscilador de Rubidio. Se trata de un oscilador marca BELL BFRATON, modelo MES 294, serie 95 con código PR -ORB-012-1.PA mismo que fue donado por parte del Centro de Metrología del Ejército Ecuatoriano, que se encuentra ubicado en la ciudad de Quito. El oscilador a pesar de que se encuentra en condiciones óptimas de funcionamiento, carece de guías o manuales que muestren sus diversas funciones o posibles aplicaciones del mismo. Cabe resaltar que el presente documento hace énfasis a lo que es la calibración, siendo esta una de las más comunes de las tantas aplicaciones que posee este tipo de equipos. La metrología es un importante conocimiento que los estudiantes deben manejar, ya que la escuela forma profesionales que pueden estar involucrados en las áreas de producción y control de calidad de diversas industrias nacionales o internacionales. Se hace necesario brindar el entrenamiento necesario para que el profesional sea capaz de desempeñar su trabajo en estas industrias.

## **1.3 Justificación**

### ***1.3.1 Justificación Práctica***

La presente tesis de grado tiene como finalidad profundizar en el conocimiento estudiantil con respecto a la calibración de instrumentos. Además del análisis de frecuencias presentes en un Oscilador MES 294, comprobar si estos cumplen los estándares locales e internacionales de calidad. Para lograr esto de una manera efectiva, se requieren de los accesorios y guías técnicas para hacer los ensayos calibración en base al sistema patrón ubicado en el laboratorio de metrología de las Fuerzas Armadas Ecuatorianas. Una vez terminado este proceso quedara implementado un banco de calibración completo y didáctico para la realización de prácticas.

### ***1.3.2 Justificación Teórica***

Todos los conocimientos, principalmente teóricos, adquiridos en el área de metrología, conjuntamente con diversos laboratorios como los de física, además de asignaturas tales como control automático y automatización industrial, van a ser implementados en la presente tesis. Se va a disponer de información detallada de la aplicación y uso del oscilador *BELL BFRATON* donado por la Fuerzas Armadas Ecuatorianas. Se pretende un enfoque total en lo que tiene que ver a la calibración de instrumentos de medida de tiempo, específicamente cronómetros y horómetros. Se determinarán las variaciones, posibles errores y alteraciones en los posibles ensayos de laboratorio a realizarse con el equipo.

### ***1.3.3 Justificación Metodológica***

La metodológica para la calibración de instrumentos de tiempo es basta y concisa, poco o nada existe de lo que conlleva la implementación de un banco de calibración de este tiempo. Mucho menos todo lo que implica un manejo de un oscilador de rubidio, por lo cual como resultado se obtendrán metodologías de calibración para este tipo de instrumentos, así como el manejo de un oscilador de rubidio. Conjuntamente se elaborarán guías técnicas propias para los estudios de calibración, análisis de frecuencias entre otras, desviaciones y posibles errores en general.

Se pretende introducir el concepto y la elaboración de procedimientos de operaciones relacionadas con el control de la medida agrupados en un solo documento. Mediante análisis obtendrán indicadores metrológicos que ayudará a reducir la variabilidad en los procesos y productos y tomar decisiones con un alto grado de exactitud. Una de los logros a obtener es mejorar la competitividad del estudiante en la vida profesional.

## **1.4 Hipótesis**

Verificadas las principales frecuencias de resonancia emitidas por parte de oscilador Bell Bfraton, las mismas deben de ser operadas mediante un circuito electrónico que las transforme, con la finalidad de ser tratadas como estampas de tiempo para posteriormente ser utilizadas en un proceso de calibración de un instrumento de tiempo determinado de forma directa. Realizado el proceso de calibración el mismo es respaldado mediante una certificación apropiada.

## **1.5 Alcance**

El presente proyecto tiene como finalidad implementar un banco para la calibración de instrumentos de medida de tiempo. El patrón de oscilación esta dado por un oscilador BELL BFRATON que usa un cristal de rubidio, mismo que se encuentra en el laboratorio de Metrología de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH; en la tesis, se contempla detallar el proceso de calibración y la elaboración de las guías técnicas para la realización de la misma.

## **1.6 Objetivos**

### ***1.6.1 Objetivo General***

Implementar un banco de pruebas para realizar calibración de instrumentos de tiempo, así como elaboración de los procedimientos para realizar la misma de forma adecuada, mediante la aplicación de patrones vigentes en el país.

### ***1.6.2 Objetivos Específicos***

- Compilar guías y manuales de instrumentos utilizados en el Ecuador para calibración de instrumentos de tiempo.
- Determinar las herramientas estadísticas principales para monitorear los sistemas de medición en función de las frecuencias que tiene el oscilador.
- Definir los indicadores metrológicos que se utilizan para mejorar los sistemas de medición, así como de calibración.
- Implementar un modelo físico y utilizable para el proceso de calibración, usando un Oscilador BELL BFRATON, modelo MES 294, serie 95.
- Estructurar las guías y manuales de procedimiento para la correcta calibración y uso de instrumentos de tiempo.



## CAPÍTULO II

### 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1 Metrología

La metrología poder ser considera una de las ciencias con mayor antigüedad del mundo debido a su conocimiento e infinidad de aplicaciones, teniendo como finalidad poder cuantificar toda magnitud física presente a nuestro alrededor, como el tiempo, presión temperatura y demás. En un contexto simple se puede referir a la metrología como la ciencia que se encarga de dimensionar magnitudes bajo una unidad coherente de medida y a su vez y lo más importante, bajo normas, sistemas de referencia y demás completamente que validen dicha medición (SALAZAR 1995, p. 19)

De la infinidad de campos cubiertos por la metrología, entre los principales se tienen 4, los cuales son:

- a. Unidades y patrones de medida, como se mencionó anteriormente.
- b. Métodos y formas de medición.
- c. Equipo de medición.
- d. Observadores, personal con amplias cualidades en los que tiene que ver al proceso de la medición.

#### 2.2 Calibración

El proceso de calibración, consiste en la evaluación de la desviación que presentan los instrumentos de medida en comparación a un instrumento de referencia o medida patrón. La calibración puede ser de campo, o de laboratorio; una calibración de campo, como su nombre lo indica es realizad fuera ambientes controlados, mientras que en la calibración de laboratorio sucede todo lo contrario. Los mismo procesos son aplicados tanto en la calibración de campo como de laboratorio (JEFF C. GUST MICHAEL A. LOMBARDI, 2004, p. 04).

La calibración, involucra directamente aspectos económicos, ya sea por ahorrar costos o debido a una falta de presupuesto, este proceso es descuidado; de ser el caso en un elemento vital en un proceso, esto podría llegar a acarrear paros completos, periodos inciertos de inactividad, y de ser el caso, una pésima calidad en el productos o servicio en el que se vea involucrado el equipo sin una calibración adecuada (VICENTE 2013, p. 27).

### 2.3 Métodos de Calibración en instrumentos de tiempo

Antes de realizar cualquier proceso de calibración en un instrumento de tiempo, o cualquier otra magnitud física, es importante contemplar la presencia necesaria de ciertos elementos de vital importancia, como son (JIMENEZ, 2009, p. 02; FRANCISCO y TAPIA, 2009, p. 20).

- Un oscilador o patrón de referencia muy bien establecido.
- Un instrumento de comparación, sírvase como ejemplo un osciloscopio.
- Un oscilador o equipo sujeto a calibración.

Entre los principales métodos de calibración tenemos:

#### 2.3.1 Método de comparación directa



**Figura 1 – 2.** Comparación directa

**Fuente:** (Francisco y Tapia 2009, p. 21)

El presente método consiste en poder comparar un cierto intervalo de tiempo, obtenido tanto del instrumento a calibrar, ya sea este un reloj, cronómetro u horómetro, contra un intervalo de tiempo o señal de audio, obtenidos frecuentemente de un radio de onda corta, un LED calibrado bajo un cristal o un patrón de referencia que haya sido validado anteriormente, de preferencia que trabaje bajo señal de sincronización con el NIST (JIMENEZ 2009, p. 18; Francisco y Tapia 2009, p. 21).

Quizá este sea uno de los métodos más comunes y conocidos debido a su requerimiento mínimo de equipos para su realización, además de las facilidades que presenta. A falta de un radio de onda corta, o señal de audio muchos ensayos han demostrado que el simple uso de un teléfono celular para este método es suficiente, arrojando resultados muy cercanos al real; una de las deficiencias que presenta este método es la incertidumbre, principalmente en intervalos de tiempos cortos (López 2005a, p. 11).

### 2.3.2 Método de comparación mediante el uso de un totalizador o contador



**Figura 2 – 2.** Comparación por contador

**Fuente:** (Francisco y Tapia 2009, p. 27)

A diferencia de método de la comparación directa el método del totalizador consiste en tener como referencia un sistema trazable un patrón de tiempo ya establecido y validado, superándolo en una menor manipulación de equipo (Francisco y Tapia 2009, p. 25).

Se puede decir que el método del totalizador llega a un nivel en el que la incertidumbre por alteración de tiempo debido al personal de operación desaparece de forma parcial. El método se basa principalmente en que un sintetizador de frecuencia genera una señal ajustable, misma que es recibida por el totalizador (Fallas-Cordero, Castro-Blanco y Sánchez-Vargas 2015, p. 08).

Uno de los atractivos que presenta este método es que el totalizador permite ver los n-ciclos que son generados por la señal de referencia ya sea en un computador, LED, o cualquier otra pantalla, haciendo las fácil al operador poder seleccionar la frecuencia optima de acuerdo a la resolución del instrumento a calibrar para tener un conteo de tiempo (JIMENEZ 2009, p. 19).

En este método, los factores que generan incertidumbre son los siguientes (JIMENEZ 2009, p. 20):

- Frecuencia de entrada
- Reacción humana
- Resolución del totalizador
- Resolución de instrumento a calibrar

### 2.3.3 Método de comparación mediante la medición de la base de tiempo



**Figura 3 – 2.** Medición de la base de tiempo

**Fuente:** (Jeff C. Gust Michael A. Lombardi 2004, p. 64)

Este método es de preferencia y muy comúnmente aplicado a la calibración de temporalizadores y cronómetros, debido a que la base del tiempo es dimensionada de forma directa, lo que genera un nivel de incertidumbre mínimo (FRANCISCO y TAPIA, 2009, p. 29).s

Este método puede ser aplicado principalmente de dos formas, por inducción o a su vez de carácter acústico; en lo que tiene que ver a inducción se hace referencia a un receptor de onda corta, mismo que recibe una intensidad de corriente, sintonizada a la misma frecuencia de la base de tiempo del oscilador utilizado durante el proceso; mientras que el sistema acústico trabaja con lo que son las vibraciones obtenidas del mismo oscilador (JIMENEZ 2009, p. 20).

Para fines del lector se pone a consideración una tabla resumen elaborada por el mismo NIST, donde se muestra la relación existente entre los métodos antes mencionados.

**Tabla 1-2:** Relación entre los métodos de calibración

FACTORES	Método Directo	Método del Totalizador	Método de la Base de Tiempo
Equipo especializado	Bueno	Muy Bueno	Muy Bueno
Rapidez del Proceso	Regular	Bueno	Muy Bueno
Nivel de Incertidumbre	Regular	Regular	Bueno
Aplicabilidad	Regular	Bueno	Muy Bueno

**Fuente:**(JIMENEZ 2009, p. 20)

**Realizado por:** Gusqui Carlos; 2021

## 2.4 Cronómetros

En el sector industrial, con la presencia de la actual revolución industrial, principalmente se distinguen dos clases o tipos de cronómetros, que son comúnmente conocidos como Cronómetros Tipo I o Tipo II, siendo su principal diferencia que los del Tipo I pueden llegar a ser considerados ya digitales o valga el termino electrónicos, mientras que los del Tipo II, son considerados analógicos o mecánicos (Jeff C. Gust Michael A. Lombardi 2004, p. 23).

### 2.4.1 Cronómetros tipo I



**Figura 4 – 2.**  
Cronómetro Tipo I

**Fuente:** (JEFF C. GUST  
MICHAEL A. LOMBARDI, 2004, p. 09)

Basan su principio de funcionamiento en oscilador de cristal de cuarzo que de por sí mismo tiene una frecuencia que bordea los 33000 Hz, misma que es manejada por todo reloj de muñeca. El Oscilador tiene obtiene su energía de un oxido donde el metal elegido es plata, además esta fuente de energía también abastece a la parte electrónica además de mantener la frecuencia antes mencionada. Este tipo de cronómetros se caracteriza por un bajo consumo de energía. En el sistema o circuito de conteo existe un sistema digital (1/0), (ON/OFF), para la determinación del número de oscilaciones en base de tiempo (JEFF C. GUST MICHAEL A. LOMBARDI, 2004, p. 25).

### 2.4.2 Cronómetros tipo II



**Figura 5 – 2.**  
Cronómetro Tipo II

**Fuente:** (JEFF C. GUST  
MICHAEL A. LOMBARDI, 2004, p. 09)

Este tipo de cronómetro puede ser considerado como del tipo conservador. Base su principio de funcionamiento en un análisis netamente mecánico; debido a que su fuente principal de energía es un resorte de tipo helicoidal que almacena la misma en su devanado. Un mecanismo mecánico de variación de velocidad, conocido como tren de engranes hace las veces de contador en este tipo de cronómetros, proporcionando la velocidad exacta y precisa para cada una de las manecillas del reloj. En la actualidad este tipo de cronómetros han sufrido una leve variación con la implementación de un motor síncrono. Este motor provoca una variación del valor nominal de la frecuencia, que bordea los 60 Hz. Los circuitos tanto del contador y forma de visualización por muy parecidos a un cronómetro mecánico simple (JEFF C. GUST MICHAEL A. LOMBARDI, 2004, p. 27).

### 2.4.3 Relación cronómetros tipo I y tipo II

Existen similitudes, como la fuerza de accionamiento; diferencias bien marcadas como el principio de funcionamiento entre los dos tipos de cronómetro, tal como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 2 – 2:** Comparación entre cronómetros Tipo I y II

Descripción	Cronómetro Tipo I	Cronómetro Tipo II
<b>Principio de funcionamiento</b>	oscilador en base de tiempo	movimiento mecánico
<b>Base de funcionamiento</b>	oscilador en base de cuarzo	resorte helicoidal
		motor síncronico
<b>Carcasa</b>	el plástico resiste a la corrosión	
	el metal resiste a los impactos	
<b>Pantalla de cristal</b>	cubre la pantalla	protege el dial
	permite una adecuada visualización	permite una adecuada visualización
	puede emplear aumento	no posee matices
<b>Intervalos de tiempo mínimo</b>	48 horas sin fuente de energía	3 días sin cuerda o rebobinar
<b>Reinicio</b>	reestablecer el cronómetro a cero posiciones	
<b>Fuerza de accionamiento</b>	1,8 N	
<b>Dial y manecillas</b>	N/N	disco de cara blanca
		numeración de color fuerte
		manecillas distinguidas
<b>Información necesaria</b>	número de serie	
	nombre del fabricante	
	especificación del modelo	
<b>Incremento mínimo</b>	0,2 segundos	
<b>Tiempo entre vueltas</b>	1 hora	30 minutos
<b>Influencia física</b>	el cronómetro cumple con la tolerancia independientemente de la influencia física	

Fuente:(Jeff C. Gust Michael A. Lombardi 2004, p. 24)

Realizador por: Gusqui, Carlos; 2021

## 2.5 Teoría de errores

Se sobre entiende que por más precaución, diligencia y cuidado que se tenga mientras una práctica física ya sea esta una medición, calibración o entre otras, resulta imposible no llegar a cometer errores, siendo estos llegar a ser considerados como la diferencia o una especie de variación entre lo estimado y lo esperado, entre lo real o la medida falsa. Los errores pueden clasificarse en dos grandes grupos, como son los errores sistemáticos y aleatorios (TORRELAVEGA, 2016, p. 01) .

### 2.5.1 Errores aleatorios

Este tipo de errores principalmente son atribuidos a factores humanos y de carácter accidental. En referencia al termino accidental, este tipo de erros aleatorio es resultado de la variación en las condiciones en las cuales fue desarrollado el experimento; ejemplos prácticos de este tipo son principalmente factores físicos como el ruido, humedad, temperatura, entre otros. Los errores tipo humano hacen referencia a cálculos y procesamiento de datos deficientes, así como una mala interpretación de los instrumentos de mediad. Siempre una medida de cualquier magnitud tendrá más confiabilidad que otra (SCURO, 2004, p. 03 ; GIL y RODRIGUEZ, 2000, p. 06).

Una particularidad de este tipo de errores es que, por su misma naturaleza y origen, los mismo no pueden cuantificarse; una fluctuación por las leve, en las condiciones del desarrollo del experimento hace imposible determinar algún valor o asegurar que el experimento es igual a sus predecesores. Reducir los errores aleatorios por debajo del límite de precios de los equipos e instrumentos es lo más recomendable (SCURO, 2004, p. 03).

Al final, el error aleatorio de puede dividir en (JASEN y GONZ, 2012, p. 05):

- Carácter observacional, es decir propios del criterio personal del observador
- Netamente condiciones físicas del experimento

### 2.5.2 Error sistemático

Este tipo de error se caracteriza por ser unidireccional, es decir el valor sujeto a medición puede ser superior o inferior al valor real o emitido por el sistema patrón; un cambio sistemático puede ser originado por un instrumento defectuoso o no sujeto a calibración del mismo (Scuro 2004, p. 03; Gil y Rodriguez 2000, p. 07) .

Por su naturaleza, los errores sistemáticos son controlables y accesibles a reducir tanto y como sea posible; factores como calibración, ajustes en los equipos, experiencias por parte del personal influencias de forma directa y positiva en este tipo de errores (Scuro 2004, p. 02; Gil y Rodriguez 2000, p. 07) .

Resumiendo, se puede decir las causas del error sistemático son (Jasen y Gonz 2012, p. 05):

- ❖ Instrumental
- ❖ Personal

- ❖ Formas de medida
- ❖ Conocimiento teórico

Independientemente del tipo o naturaleza de error; se puede decir que todo error base su origen en cuatro principales factores (Jasen y Gonz 2012, p. 06):

- ❖ Debido al observador técnico
- ❖ A causa del instrumento
  - 1) Escala no apropiada
  - 2) Desgaste a razón del tiempo de la vida útil
  - 3) Limitaciones propias del instrumento
- ❖ Mala elección del modelo físico
- ❖ Errores propios del sistema y procedimientos en el acto de medición

### 2.5.3 *Medición del error*

En ingeniería, el concepto de error está asociado directamente a la incertidumbre. Un concepto básico en cualquier proceso de medición es que se conoce la precisión y la exactitud con la que fue realizado el mismo siempre y cuando se conozcan sus errores. Con la expresión cuantitativa del error, se hace tangible las limitaciones y carencias en el proceso de medición de cualesquiera que fuera la magnitud a tratar (Jasen y Gonz 2012, p. 06) .

Se puede cuantificar el error por medio de:

#### 2.5.3.1 *Error absoluto*

Este término al igual que error relativo son considerados formas de expresión, ya que ambos hacen referencia a cualquier error que sea factible a ser sujeto a medición. El error absoluto expresado en formas ya cuantitativa expresa la fluctuación que experimenta la medida, siendo este valor superior o inferior al referencial; debido a esto puede ser positivo o negativo por lo que se recomienda un análisis modular o absoluto. Este valor debe ser expresado en un sistema de unidades contantes. Suele venir expresado por (Posadas Chincilla 2009, p. 03):

$$E_a = |\text{valor esperado} - \text{valor observado}|$$

Donde:

$E_a$ : Error absoluto

*valor esperado*: valor entregado por el sistema patrón o referencial

*valor observado*: valor observado o entregado por un instrumento de medida

Por la similitud en el concepto muchos autores expresan que el error absoluto puede ser considerado como la incertidumbre en la medida, siendo esto un concepto poco aceptado ya que



al hablar de incertidumbre la misma abarca mucho más que valores observado y/o esperados (Ku 1966, p. 04).

### 2.5.3.2 *Error relativo*

Corresponde a la razón entre el error absoluto y el valor referencial o sistema patrón. Por lógica y análisis dimensional el error relativo carece de dimensión alguna. El error relativo principalmente muestra la calidad con la que fue realizada la medida, y en base a la misma se puede acceder a criterios de aceptación o rechazo. Viene expresado por la siguiente ecuación (Posadas Chincilla 2009, p. 03):

$$E_r = \frac{|valor\ esperado - valor\ observado|}{valor\ esperado}$$

### 2.5.3.3 *Error porcentual*

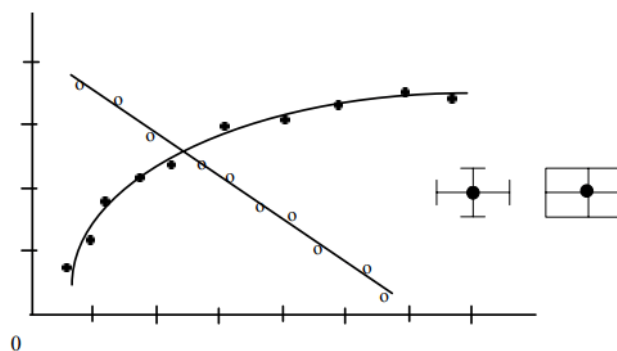
Este tipo de error es la representación en porcentaje del error relativo, es decir el relativo multiplicado por 100. En el error porcentual no hay cabida a respuestas negativas. De conservarse el signo este solo podría indicar si el valor de la medida está por encima o debajo del referencial, teniendo en cuenta las cifras significativas. Este tipo de error surge a partir de un análisis integral de errores, y viene expresado por (Posadas Chincilla 2009, p. 04):

$$E_p = E_r \times 100\%$$

## 2.5.4 *Representación grafica*

En teoría de errores es de gran utilidad la construcción de una gráfica a partir de los datos obtenidos en una medición para poder observar la dispersión de los mismos, así como su comportamiento, por lo tanto, se deberá hacer de la forma más clara posible, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones (Corchete 2008, p. 11):

- ❖ Nombre de la gráfica, con una breve descripción de proceso de medición
- ❖ Correcta división o escala en los ejes coordenados
- ❖ Asignar de forma clara y concisa las unidades y magnitudes correspondientes a cada eje
- ❖ De ser el caso de que en una misma gráfica se tenga que representar varios experimentos, los mismos deben distinguirse mediante colores y símbolos



**Figura 6 – 2.** Representación gráfica del error

Fuente: (POSADAS CHINCILLA, 2009, p. 13)

## 2.6 Oscilador

### 2.6.1 Relojes Atómicos

Un reloj atómico es un dispositivo que utiliza en un determinado recurso atómico. Una de sus muchas funciones es producir una frecuencia altamente estable y adecuada. Los relojes atómicos juegan un papel crítico en el mundo sistemas de navegación por satélite (GNSS). La base fundamental de un estándar de frecuencia atómica (AFS) es la utilización de una resonancia atómica que en principio es una propiedad natural inherente e invariante. En la práctica el AFS, debe idear un aparato que permita observar una resonancia atómica de manera detectable y con mínima perturbación externa (Riley 2019, p. 03).

Los requisitos para implementar una frecuencia atómica estándar son medios para confinar los átomos, prepararlos en un estado particular y luego interrogarlos para sondear su respectiva frecuencia. En el caso del RFS común, los átomos de Rb están confinados en un gas amortiguador inerte en una pequeña celda de vidrio, se preparan en un estado atómico hiperfino particular por un proceso llamado óptico bombeo con una lámpara espectral Rb y su resonancia atómica (Riley 2019, p. 03).

Se utilizan relativamente pocos relojes atómicos como soporte de frecuencia, más bien como fuentes de tiempo preciso. Se posee una estabilidad al nivel de microsegundos, durante unos días requiere un error de fuente de frecuencia muy por debajo del nivel  $1 \times 10^{11}$ , que es un requisito exigente para un oscilador de cristal de cuarzo al horno. Por lo tanto, un RFS puede ser la opción más práctica. Aplicaciones de temporización RFS comunes los cationes incluyen telecomunicaciones celulares, datos geofísicos registro, adquisición rápida de GPS / robustez y salto de frecuencia radios de ping. Los relojes Rb de alto rendimiento se han convertido en el dispositivo de elección a bordo de satélites GPS (Riley 2019, p. 04).

## 2.6.2 Rubidio

El rubidio es un átomo alcalino, uno que tiene un solo electrón en su capa externa, y es el estado de energía de ese electrón de valencia que se usa como referencia de frecuencia atómica. En particular, la llamada resonancia hiperfina que representa la pequeña diferencia de energía entre los dos electrodos externos además de sus estados de giro, es muy adecuado para ese propósito, ya que tiene una frecuencia en el rango de microondas. El rubidio es especialmente adecuado para esto propósito porque, como se explica a continuación, existe como dos comunes isótopos, Rb-85 y Rb-87, que facilitan su selección de estado por bombeo óptico (Riley 2019, p. 02).

## 2.6.3 Oscilador de Rubidio

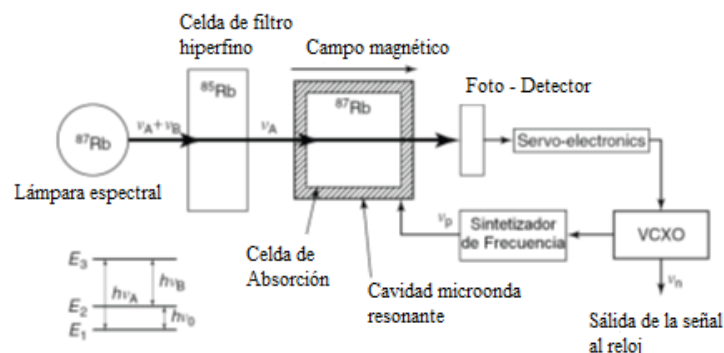
En palabras simples y nada complejas se puede decir que un oscilador es nada más que un generador de señales periódicas de alta precisión y estabilidad, pudiendo ser estas de carácter cuadrada, senoidal, rampa o demás (PÉREZ 2008, p. 75).



**Figura 7 – 2.** Oscilador de rubidio

**Fuente:** (TRIGO Y SLOMOVITZ, 2011, p. 02)

Esta clase de osciladores se caracterizan por tener una celda con gas rubidio. El rubidio tiene una frecuencia a resonancia atómica de 6 834 682 608 Hz. Es innegable pensar que los átomos de rubidio dentro de la celda no posean cierto grado de entropía, por lo que para disminuir la misma se inyecta a la celda gas argón a una milésima de la presión atmosférica normal (KAMAS 1990, p. 48).



**Figura 8 – 2.** Representación gráfica del circuito del oscilador de rubidio

**Fuente:** (PÉREZ 2008, p. 88)

Este tipo de osciladores tiene una vida útil muy larga ya que la misma se basa en la capacidad de entropía generada por rubidio. La estabilidad en la frecuencia de estos osciladores se ve afectada por diversos factores como la misma colisión de átomos, la influencia del efecto de luz además de las mismas señales tipo microondas del mismo elemento, esta variación en la frecuencia ronda el valor de  $1 \times 10^{-9}$ . A estos factores también se les suma la temperatura y la presión a las que se encuentra el argón. En función de estos parámetros se toma la decisión para la proceder a fabricar y/o seleccionar el oscilador de rubidio para una determinada aplicación (KAMAS 1990, p. 48).

Por más pequeño que sea el valor del cambio de frecuencia en un oscilador, debido al mismo, se hace necesaria una recalibración del oscilador. Los osciladores de rubidio se caracterizan por un alto rendimiento. Un oscilador en el lapso de un segundo genera una estabilidad de  $1 \times 10^{-11}$ ; este último valor es el mismo en el que la frecuencia es desviada a lo largo de un mes, en osciladores específicos (KAMAS 1990, p. 49).

A continuación, se muestran algunas características típicas de este tipo de osciladores:

**Tabla 3 – 2 :** Características de un oscilador de rubidio

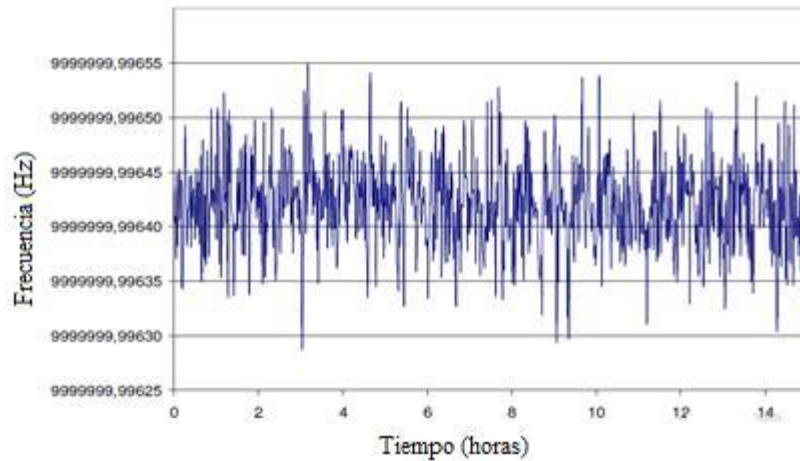
<b>Oscilador de Rubidio</b>				
<b>Características</b>				
<b>Frecuencia de salida</b>	<b>Frecuencia relativa (1s)</b>	<b>Frecuencia relativa (1 día)</b>	<b>Causas de inestabilidad</b>	<b>Tiempo de reloj fuera</b>
1 a 10 MHz	$2 \times 10^{-11}$ a $5 \times 10^{-12}$	$5 \times 10^{-12}$ a $3 \times 10^{-13}$	Envejecimiento de celda de gas, filtro, y luz	1 día a 10 días
<b>Marcha post reloj fuera</b>	<b>Tiempo de vida útil</b>	<b>Peso</b>	<b>Consumo de energía</b>	<b>Costo estimado (Dólares)</b>
10 minutos a 1 hora	Mucho más de tres años	1 a 20 Kg	12 a 35 W	\$5000 a \$10000

Fuente: (KAMAS 1990, p. 52)

Realizador por: Gusqui, Carlos; 2021

Estos equipos gozan de una gran ventaja, por lo que son cotizados y valorados en el mercado. Poseen un bajo nivel de ruido; el ruido bordea  $3 \times 10^{-12}$  en intervalos de tiempo de 100 s (TRIGO Y SLOMOVITZ, 2011, p. 02).

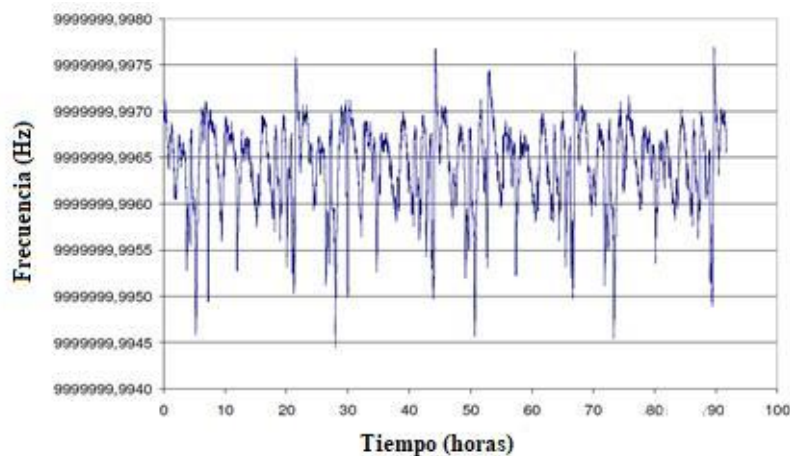
Un oscilador que goza de una alta estabilidad de emisión en la señal de frecuencia, equivale a un ruido de baja fase; un bajo índice de ruido es traducido a una leve variación en el ángulo de modulación, este último haciendo visibles en un espectro estable de frecuencia. En la siguiente imagen se muestra el espectro de un oscilador de baja estabilidad (FERNÁNDEZ, 2017, p. 25).



**Figura 9 – 2.** Espectro de un oscilador de rubidio de baja estabilidad

Fuente: (TRIGO y SLOMOVITZ, 2011, p. 02)

Un oscilador de rubidio no tiene tendencia a la deriva pues el mismo consta de un control en el sistema de posicionamiento global realizado de forma remota, con ayuda de un reloj atómico primario en base de cesio. Esto de manera contradictoria ya que este último tipo de oscilador posee un gran ruido, pero mayor estabilidad (TRIGO Y SLOMOVITZ, 2011, p. 02).



**Figura 10 – 2.** Espectro de un oscilador de rubidio de alta estabilidad

Fuente: (TRIGO Y SLOMOVITZ, 2011, p. 02)

## 2.7 Estabilidad de la frecuencia

Si existen parámetros de vital importancia en el funcionamiento de un oscilador, el de mayor importancia es la estabilidad de frecuencia (*Frequency Stability*). Esta característica a su vez se divide en estabilidad de corto y largo plazo. De forma analítica, este aspecto es determinado de forma estadística mediante la desviación de Allan (SÁNCHEZ, 2016, p. 46).

### 2.7.1 Estabilidad a corto plazo

La estabilidad a corto plazo produce variaciones de igual índole, esto en función a la posición del circuito de frecuencia. Es de suma importancia tomar en cuenta factores externos que puedan causar perturbaciones que agraven la estabilidad, en el lugar de implementación. Se debe verificar que las aplicaciones necesiten una extremada estabilidad por lo que las ondas de corto plazo son de gran consideración. En los osciladores de rubidio, la estabilidad puede llegar a ser 100 veces mejor que en otro tipo de oscilador, con unidad de alto rendimiento empezando desde  $1 \times 10^{-11}$  para lapsos de un segundo (PÉREZ 2008).

### 2.7.2 Estabilidad a largo plazo

Este tipo de estabilidad hace referencia al transcurso de tiempo, mismo que produce desgaste y envejecimiento en el equipo. A un determinado transcurso de tiempo, se hace inevitable la recalibración del oscilador, cualquiera que sea su cristal patrón. Todo oscilador posee indicaciones para ajustar su frecuencia cierto tiempo (meses, años). El envejecimiento de este tipo de osciladores puede venir especificador por lo general en años, y se le recomienda hacer una vez transcurrido el tiempo de post reloj fuera, esta desviación bordea  $1 \times 10^{-26}$  anual (PÉREZ 2008).

## 2.8 Desviación de Allan

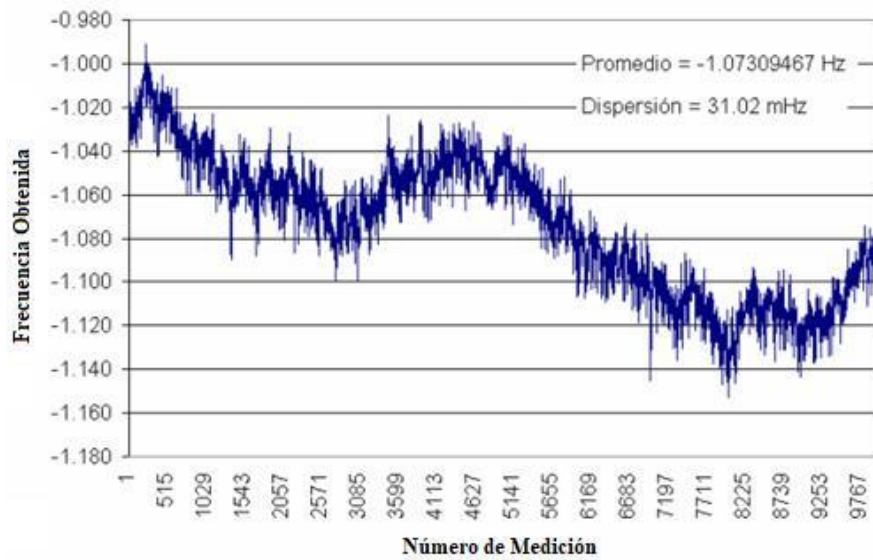
A inicios de la época de los años 70 el *Institute of Electrical and Electronics Engineers* o más conocido como por sus iniciales IEEE, exactamente un subcomité de la división de Estabilidad en Frecuencia, impulsó la desviación de Allan como el método idóneo para la caracterización de todo tipo de oscilador (LÓPEZ, 2005, p. 04).

Esta desviación es una herramienta de carácter matemático utilizado para el estudio de las mediciones de Frecuencia y tiempo, características propias de un oscilador. Entre sus principales características tenemos (PRIETO et al., 2015, p. 04; STEIN, 2010, p. 07):

- ❖ En el campo de metrología, ayuda a una buena estimación de la dispersión de variables fijas
- ❖ Se presentan inconsistencias en su valor cuando las variables están en función de la magnitud tiempo
- ❖ A nivel internacional es reconocido como el método utilizado para determinar la estabilidad de la frecuencia emitida por los osciladores
- ❖ Un factor a considerar es la automatización en la toma de mediciones

Para comprender la importancia de la desviación de Allan, a continuación, se muestra el comportamiento de la frecuencia de un oscilador bajo un determinado número de mediciones y en una determinada frecuencia de dispersión.

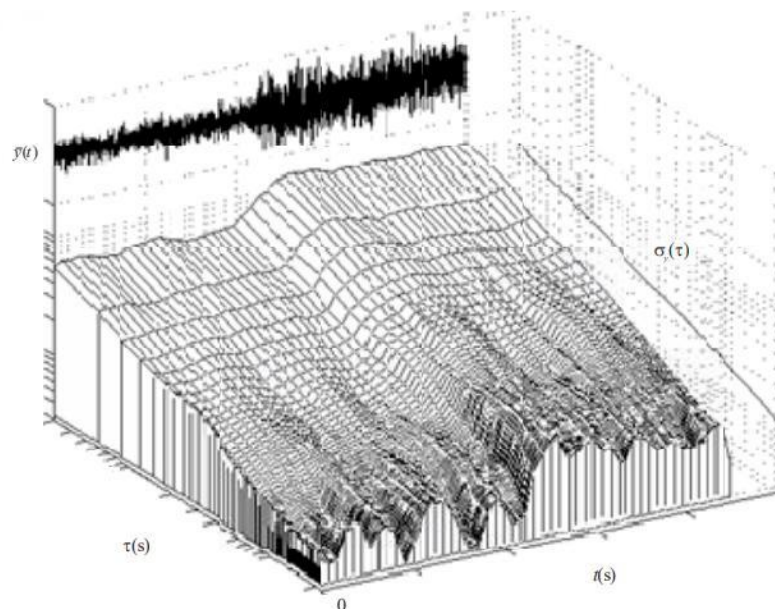
La comparación inicia con un oscilador con un mal comportamiento:



**Figura 11 – 2.** Espectro de un oscilador de mal comportamiento en 10000 mediciones

Fuente: (López 2005b, p. 24)

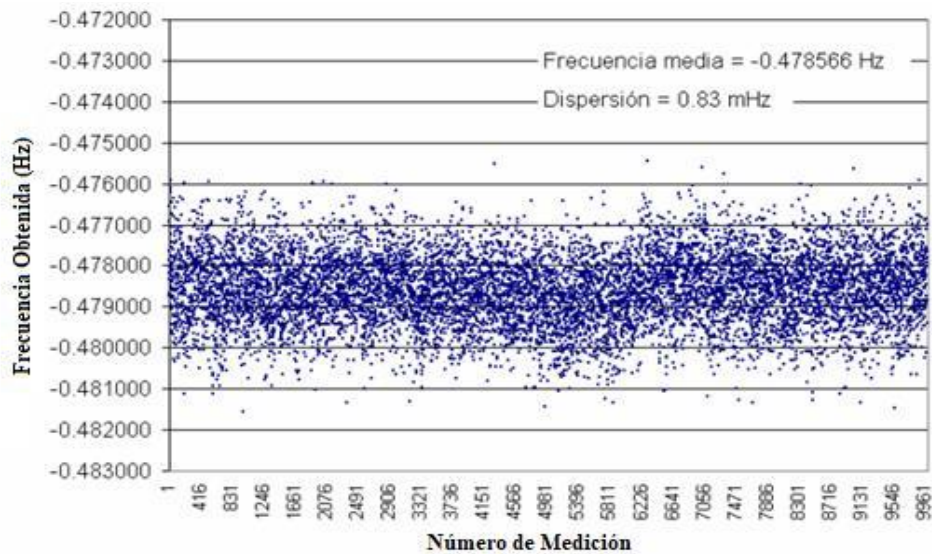
Como se puede ver en la figura anterior, una fluctuación en la medida de frecuencia de un sonido blanco, provocando así que la varianza se vea alterada, esta representación vista en un gráfico tridimensional y mediante una curva lateral, podemos obtener algo parecido a lo siguiente:



**Figura 12 – 2.** Espectro de un oscilador de mal comportamiento – 3D

Fuente: (UIT 2017, p. 11)

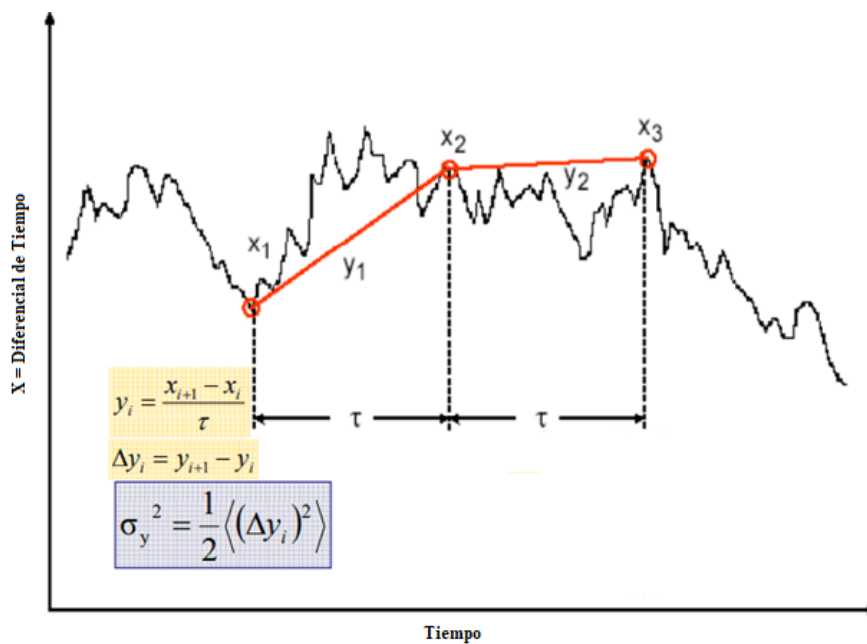
Se puede observar claramente la total distorsión de la frecuencia en este oscilador. Por otro lado, tenemos las gráficas mostradas por un oscilador en perfecto estado, o como se conoce técnicamente, de buen comportamiento.



**Figura 13 – 2.** Espectro de un oscilador de buen comportamiento en 10000 mediciones

Fuente: (LÓPEZ, 2005b, p. 25)

Dado que la varianza de Allan, puede ser cuantificada, la misma necesita tener una expresión, misma que viene representada de la siguiente manera (LÓPEZ, 2005c, p. 15; FERNÁNDEZ, 2017, p. 96):



**Figura 14 – 2.** Definición de la varianza de Allan

Fuente: (LÓPEZ, 2005c, p. 17)



$$\sigma_y^2(T) = \frac{1}{2T_0(n-1)} \sum_{i=1}^n (y_{i+1} - y_i)^2$$

Donde:

$\sigma_y^2(T)$ : Varianza de Allan

$n$ : cantidad de mediciones realizadas

$T_0$ : tiempo de separación entre cada dato

$y_i$ :  $i$ -ésima medición de frecuencia

El valor obtenido de esta ecuación proporciona información del comportamiento de la variabilidad de la una determinada cantidad, lo que permite llegar a cuantificar de forma simple y directa entre el desnivel entre los diferentes valores medidos en una determinada muestra de señal (ROMÁN, 2014, p. 30).

## 2.9 Incertidumbre

Es necesario comprender que en todo proceso de medición resulta imposible obtener mediciones exactas en su totalidad, siempre va a existir la idea de “duda”; este término, llevado a lo técnico se traduce en incertidumbre. En 1993, se presenta el primer ejemplar de la “Guía para la expresión de la incertidumbre medida”, o mejor conocida por sus iniciales como GUM. Una mejor calidad en el valor de la medición, viene relacionado directamente con la incertidumbre (GUILLÉN, 2013, p. 20; PÉREZ, 2012, p. 02).

Muchas de las veces existen una confusión entre el error y la incertidumbre, por lo que se tiene que dejar en claro que no existe similitud alguna. Todo proceso de medición viene directamente relacionado con la incertidumbre. La incertidumbre es catalogada como un parámetro positivo, posible de ser medido, que principalmente se enfoca en caracterizar la distribución de valores que por lo general vienen asignados a un mensurando (PARF, 2002; RUIZ ARMENTEROS, GARCÍA BALBOA y MESA MINGORANCE, 2010).

En la vida práctica, en la mayoría de procesos de medición; el parámetro de la incertidumbre puede ser ocasionado por (GUILLÉN, 2013, p. 21; PÉREZ, 2012, p. 09) :

- ❖ Mensurado, problemas con su caracterización
- ❖ Deficiencia en la definición del mensurando
- ❖ Representación incorrecta del mensurando
- ❖ Subestimación de las condiciones ambientales en el proceso de medición
- ❖ Sesgo en la lectura de instrumentos Tipo II
- ❖ La resolución del instrumento
- ❖ Falla en los valores del patrón de referencia

- ❖ Parámetros considerados como terceros, e inconsistencias en el tratamiento de datos obtenidos
- ❖ Asignación de suposiciones erróneas en el proceso de medición
- ❖ Bajo condiciones consideradas como específicas, se observan variaciones en la estabilidad del mensurando
- ❖ Inconsistencia en el modelo matemáticos
- ❖ Características instrumentales y/o pureza de los reactivos
- ❖ Estequiometría
- ❖ Efectos sobre la muestra
- ❖ Corrección en el blanco

Durante la época de los noventa, GUM, logro establecer un método único y ratificado a nivel internacional donde constan tanto procedimientos, definiciones, así como varios análisis para lograr evaluar y expresar la incertidumbre a medir. Este proceder fue corregido en el 2008 por parte de ISO, donde se establece dos tipos de incertidumbre, Tipo A y Tipo B (RUIZ ARMENTEROS, GARCÍA BALBOA Y MESA MINGORANCE, 2010, p. 05).

El primer caso o incertidumbre de Tipo A se hace netamente referencia a una distribución de frecuencias, mientras que el segundo caso; Tipo B, es el resultado de una distribución a priori. Los dos casos reflejan el nivel de incertidumbre en el proceso de medición (MIRANDA, 2016, p. 05). Finalmente, teniendo en cuenta que la incertidumbre de este tipo surge a raíz de un determinado número de mediciones, y recordando que la media aritmética es solo una aproximación; se establecen dos modelos matemáticos para la evaluación de esta incertidumbre (PÉREZ, 2012, p. 14):

### ***2.9.1 Incertidumbre Tipo A***

Este tipo de incertidumbre es analizada y determinada mediante herramientas estadísticas. Una desviación típica es una representación de la incertidumbre general de una medida. Esta desviación es conocida como incertidumbre típica media, que es resultado de la raíz de índice 2 de varianza estimada (RUIZ ARMENTEROS, GARCÍA BALBOA Y MESA MINGORANCE, 2010, p. 06).

Coefficientes de correlación estimados, determinan las correlaciones entre las componentes estadísticas. Todo modelo estadístico es válido para la evaluación de este tipo de incertidumbre, siempre y cuando se realice un correcto tratamiento de los datos. Entre los que más destacan tenemos la regresión lineal, e método de los mínimos cuadrados entre otros (RUIZ ARMENTEROS, GARCÍA BALBOA Y MESA MINGORANCE, 2010, p. 06).

La incertidumbre tipo A, es empleada bajo ciertas condiciones (PARF 2002, p. 44):

- ❖ Cuando bajo las mismas condiciones de medida, se han determinado unas ciertas observaciones a las magnitudes a la entrada

- ❖ Cuando el valor en una medida presenta fluctuaciones y dispersión, además dicha medida es tomada bajo ciertas especificaciones
- ❖ La incertidumbre de una medida está en función de la dispersión individual de resultados

### 2.9.1.1 Evaluación de la incertidumbre Tipo A

Muchas de las veces la mejor opción posible para una estimación de este tipo de incertidumbre, es la determinación de la media aritmética, misma que viene representada por (PÉREZ, 2012, p. 15):

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

Donde:

$\bar{X}$  : media aritmética

$n$  : número de datos

$X_i$ : i-ésimo termino

Los valores de cada medida y observación, fluctúan entre los mismos, debido a la presencia de variaciones aleatorias por influencia de efectos de la misma índole. La varianza que experimenta este tipo de incertidumbres viene definida por la varianza experimental, misma que se expresa de la siguiente manera (PÉREZ, 2012, p. 15):

$$S^2(\bar{X}) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

Donde:

$S^2(X_i)$ : varianza experimental

$\bar{X}$  : media aritmética

$n$  : número de datos

$X_i$ : i-ésimo termino

A su vez una segunda y quizá mejor alternativa para la determinación de la varianza en la medida es la desviación media, que viene expresada por (PÉREZ, 2012, p. 04):

$$S(X_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n(n-1)}}$$

Donde:

$S(X_i)$ : Desviación media

$\bar{X}$  : media aritmética

$n$  : número de datos

$X_i$ : i-ésimo termino

Finalmente, el valor de la incertidumbre típica, estimada viene dada por:

$$u(X_i) = \frac{S(X_i)}{\sqrt{n}}$$

Donde:

$u(X_i)$ : Incertidumbre Tipo A

$S(X_i)$ : Desviación media

$n$  : número de datos

Si bien en la expresión anterior se relacionan valores como la media aritmética, el número de lecturas, entre otros; existe otro posible método para la determinación de este tipo de incertidumbre. Bajo el concepto de comparación entre la medida obtenida y la esperada u observada en el sistema patrón; se relaciona a esta incertidumbre bajo la prueba *T-Student* , teniendo la siguiente expresión (Pérez 2012, p. 04; Menhenhall, Beaver y Beaver 2010, p. 91).

$$u(X_i) = S(\bar{X}) \cdot t_{n-1}$$

Donde:

$u(X_i)$ : Incertidumbre Tipo A

$S(\bar{X})$ : Desviación estándar de la varianza media

$t_{n-1}$ : Valor de la Tabla 06 en función de los grados de libertad en la distribución

### **2.9.2 Incertidumbre Tipo B**

La determinación de este tipo de incertidumbre es efectuada por medios distintos a los estadísticos comunes; basa su evaluación a un criterio netamente científico, en base a la información disponible (RUIZ ARMENTEROS, GARCÍA BALBOA Y MESA MINGORANCE, 2010, p. 06).

Para determinar este tipo de incertidumbre es vital conocer información como por ejemplo (RUIZ ARMENTEROS, GARCÍA BALBOA Y MESA MINGORANCE, 2010, P. 07):

- ❖ Datos, medidas y obviamente incertidumbres previas
- ❖ Datos técnicos, comportamientos y experiencia en el manejo de equipos, instrumentos y materiales
- ❖ *Data Sheet* de los proveedores de equipos e instrumentos
- ❖ Informes de calibración
- ❖ Incertidumbre asignada a valores de sistema patrón

Este tipo de incertidumbre es utilizada cuando se presentan los siguientes escenarios (PARF 2002, p. 46) :

- ❖ No existen medidas y/u observaciones repetidas

- ❖ Cuando el valor de esta incertidumbre se determina en base a toda la información presente y anterior

Entre los métodos para evaluar este tipo de incertidumbre tenemos (PARF 2002, p. 47):

Probabilidad de la variable de entrada uniforme

- ❖ Probabilidad de la variable de entrada rectangular
- ❖ Probabilidad de la variable de entrada tipo
- ❖ Probabilidad de la variable de entrada normal

### 2.9.2.1 Evaluación de la incertidumbre tipo B

A pesar de los diversos métodos disponibles para la evaluación antes nombrados, lo más común ya en la vida profesional y a nivel de la industria es evaluar este tipo de incertidumbre mediante la siguiente ecuación: (PARF 2002, p. 50):

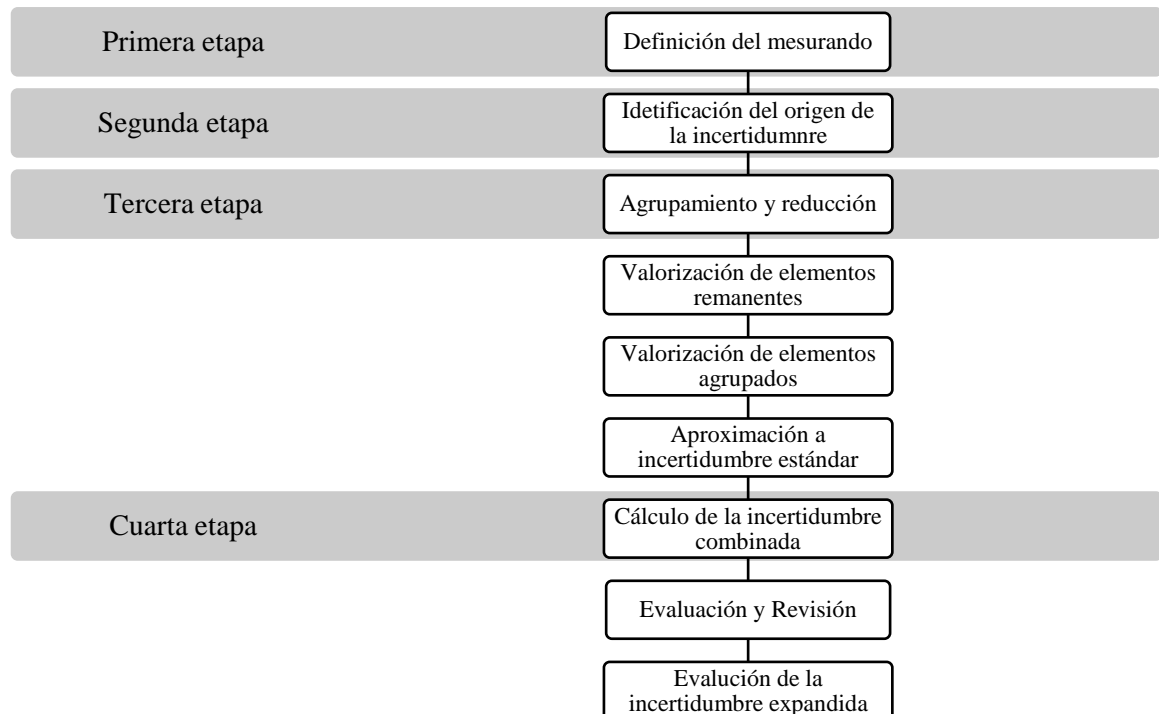
$$u(X_i) = \frac{U(X_i)}{k}$$

Donde:

$u(X_i)$ : Incertidumbre Tipo B

$U(X_i)$ : Incertidumbre expandida en el certificado de calibración

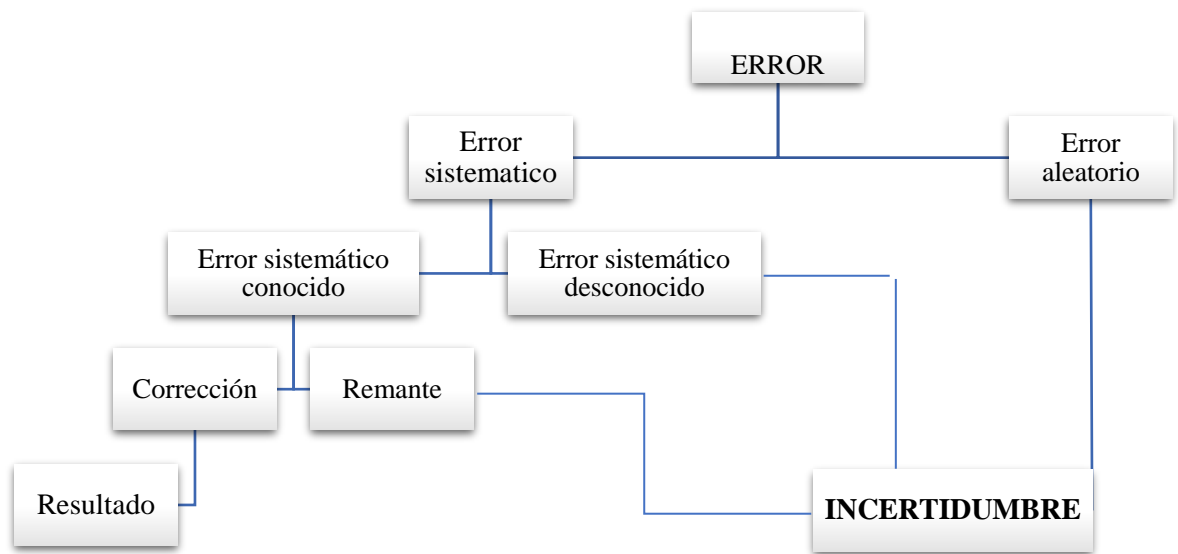
$k$ : factor de cobertura indicado, propio de cada instrumento



**Figura 15 – 2.** Definición de la varianza de Allan

Fuente: (PARF 2002, p. 41)

Independientemente del tipo de incertidumbre a analizar en el proceso de medición, es evidente la influencia directa de los errores, evidenciando la secuencia de la siguiente figura:



**Figura 16 – 2.** Influencia de error en la incertidumbre

**Fuente:** (PARF 2002, p. 30)

Como en toda calibración; la calibración de cronómetros y sus análogos, se trata simplemente de una comparación entre el dispositivo bajo prueba y un sistema de referencia o sistema patrón. La incertidumbre en un proceso de calibración incrementa de forma inversa al número de mediciones y su tiempo de duración (Jeff C. Gust Michael A. Lombardi 2004, p. 18).

**Tabla 4 – 2:** Valores unitarios -adimensionales y porcentajes

Tiempo de Incertidumbre	Duración de la prueba	Incertidumbre adimensional	Notación científica	Porcentaje % de Incertidumbre
1 s	1 minuto	1 parte por 60	$1.67 \times 10^{-2}$	1.67
1 s	1 hora	1 parte por 3600	$2.78 \times 10^{-4}$	0.0278
1 s	1 día	1 parte por 86400	$1.16 \times 10^{-5}$	0.00116
1 s	100 s	1 parte por 100	$1 \times 10^{-2}$	1
1 s	1 000 s	1 parte por mil	$1 \times 10^{-3}$	0.1
1 s	10 000 s	1 parte por 10 mil	$1 \times 10^{-4}$	0.01
1 s	1000 000 s	1 parte por 100 mil	$1 \times 10^{-5}$	0.001
1 ms	1000 s	1 parte por millón	$1 \times 10^{-6}$	0.0001
1 ms	10 000 s	1 parte por 10 millones	$1 \times 10^{-7}$	0.0001
1 ms	10 000 s	1 parte por 100 millones	$1 \times 10^{-8}$	0.000001

**Fuente:** (Jeff C. Gust Michael A. Lombardi 2004, p. 18)

**Realizador por:** Gusqui, Carlos; 2021

## 2.10 Trazabilidad

*“ Propiedad de un resultado de medida por la cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida ”* (CENAM 2008, p. 02).

La trazabilidad en el resultado de una medida es considerada un elemento vital para garantizar una excelente disseminación entre todas las unidades de medida presentes en patrones nacionales o a su vez internacionales. En la actualidad, patrones de referencia con trazabilidad internacional (NIST), prestan sus servicios en el área de calibraciones y caracterización a diversos sistemas patrón. Uno de sus diversos alcances es la capacidad de media y calibración (CMC), implementado frecuentemente en instrumentos de tiempo, como cronómetros, horómetros. Relojes atómicos digitales, multica libradores, etc. (FARFÁN DURÁN, 2018, p. 17; CENAM, 2008, p. 02).

Actualmente la metrología basa la definición de trazabilidad en tres ejes esenciales (Kühne, Krystek y Odin 2005, p. 03):

- ❖ Patrones claramente definidos (nacionales e internacionales)
- ❖ Cadena de comparación
- ❖ Identificación del tipo de incertidumbre presente en la medición

Con la publicación de estándares de calidad, como los de la serie ISO-9000, y diversos estándares de calidad se garantiza una alta calidad de proceso. Al mismo tiempo se redactan normas como la ISO/IEC 17025, que esta encargar de normalización en todo lo referente a laboratorios de prueba, así como de calibración. Aunque tanto norma ISO-9000 Y 17025 hablan de trazabilidad, la diferencia principal es el enfoque que ambas muestras; las norma ISO-9000 hace referencia a una trazabilidad en general mientras que ISO-17025, trata de ser más precisa al referirse a una trazabilidad en la medición, así como en diversos procesos como el de calibración (Kühne, Krystek y Odin 2005, p. 04; ISO 17025 2008, p. 35).

### 2.10.1 Elementos en la trazabilidad

Una buena trazabilidad viene definida principalmente por los siguientes elementos:

#### 2.10.1.1 Cadena interrumpida de comparaciones

Una cadena de comparación sin interrupción alguna debe iniciarse con una buena definición del patrón a utilizarse, ya sea nacional o internacional; de la misma manera la cadena debe finalizar con el resultado de la medición o el valor del nuevo sistema patrón (Benítez Chávez 2004, p. 02).

#### 2.10.1.2 Tipo de incertidumbre presente

Recordando lo visto anteriormente, tenemos incertidumbres de e varios tipos y causada de diversas maneras. Para cada eslabón en una cadena de trazabilidad, el valor de la incertidumbre debe ser determinada o de ser el caso estimada por los diversos métodos existentes; debe ser declarada de tal modo que quede completamente definida en el proceso (Benítez Chávez 2004, p. 02).

### 2.10.1.3 Documentación

Hoy en día, sea calibración o cualquier proceso de cualquier índole, pierde su validez si no existe documentación que lo valide o lo respalde, es así que, cada eslabón de la cadena de trazabilidad deben ser realizado y sustentado con documentos que validen su existencia y veracidad ante cualquier ente encargado de su observación (Benítez Chávez 2004, p. 02).

### 2.10.1.4 Competencia

La competencia de un ente encargado de servicios de calibración de demás hace referencia a que si dicho ente esta correctamente certificado o a su vez cumple con las normativas y requerimientos mínimos para llevar a cabo un proceso (Benítez Chávez 2004, p. 02).|

### 2.10.1.5 Referencia al Sistema Internacional de Unidades (SI)

La cadena ininterrumpida de comparaciones debe tener como punto único de origen un patrón de máxima calidad metrología, usado en la realización de todas las unidades de medidas presentes en Sistema Internacional (S.I) (Benítez Chávez 2004, p. 02).

La unidad estándar del tiempo, recocida a nivel mundial es el segundo (s). Los segundos pueden expresarse en periodos largos de tiempo como días, años; de la misma manera es periodos sumamente cortos como fracciones de segundo, de ahí la importancia de los prefijos utilizados en el sistema de unidades:

**Tabla 5 – 2 :** Prefijos de medida

Múltiplos y Submúltiplos	Prefijo	Símbolo
1 000 000 000 000 = $1 \times 10^{12}$	Tera	T
1 000 000 000 = $1 \times 10^9$	Giga	G
1 000 000 = $1 \times 10^6$	Mega	M
1 000 = $1 \times 10^3$	Kilo	K
1 = $1 \times 10^0$		
0.001 = $1 \times 10^{-3}$	Mili	m
0.000 001 = $1 \times 10^{-6}$	Micro	$\mu$
0.000 000 001 = $1 \times 10^{-9}$	Nano	n
0.000 000 000 001 = $1 \times 10^{-12}$	Pico	p
0.000 000 000 000 001 = $1 \times 10^{-15}$	Femto	f

Fuente: (Jeff C. Gust Michael A. Lombardi 2004, p. 16)

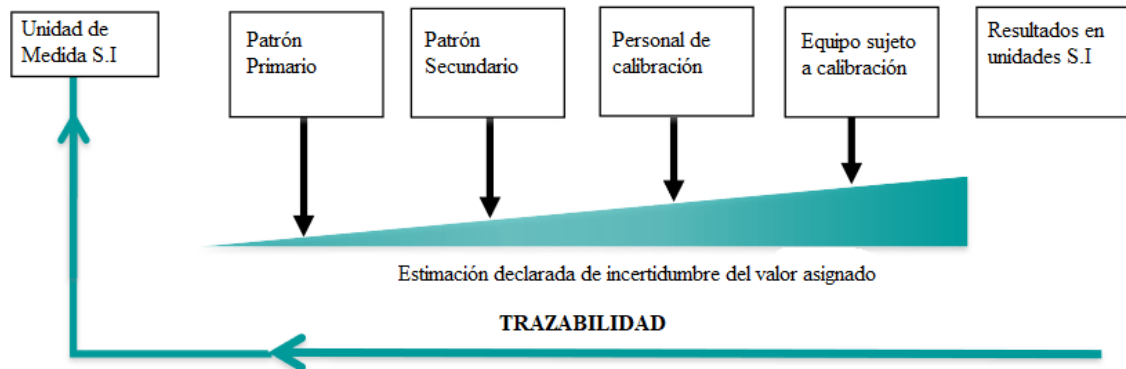
Realizador por: Gusqui, Carlos; 2021



### 2.10.1.6 Recalibración

Con la finalidad de sostener constante a la trazabilidad en un proceso de medición, la calibración en el sistema patrón debe ser realizado de manera frecuente, de tal modo que se asegure la incertidumbre previamente descrita en el valor del patrón no sufra desviaciones en al cabo de un cierto tiempo. Este proceso está en función de la incertidumbre, manera de uso y la estabilidad del instrumento de medida (Benítez Chávez 2004, p. 02).

### 2.10.2 Influencia de la trazabilidad en la incertidumbre



**Figura 17 – 2.** Influencia de la trazabilidad en la incertidumbre

Fuente: (CPSBC 2018, p. 04)

En la figura anterior se puede claramente ver un incremento de la trazabilidad al sujetar un equipo a un proceso de calibración. La incertidumbre, como se mencionó anteriormente es un elemento vital en la trazabilidad. Todo resultado obtenido a través de un proceso de medición rutinario para un mensurando en específico, debe tener una relación posible a determinar con un patrón de referencia reconocido y certificado a nivel internacional. Es indispensable conocer el valor de la incertidumbre estimada en la medición del calibrador (CPSBC 2018, p. 03).

## 2.11 Certificados de calibración

Como se mencionó anteriormente, un proceso de calibración es el resultado de la relación entre las lecturas obtenidas de un instrumento, en función a los obtenidos por un sistema patrón. El proceso de calibración viene respaldado y es validado por un documento conocido como “certificado de calibración”, mismo que se le define de manera simple como una verificación del error de medida presente en un instrumento de control (MARTÍNEZ y MARQUÉS, 2002, p. 03; ARAYA, 2017, p. 02)

Para que un certificado de calibración pueda validar su validez, debe cumplir con ciertos parámetros establecidos en dos normativas en específico como la ISO/IEC 17025-2005 y NCh2451-2014, las cuales establecen como mínimo que dicho documento conste con el siguiente contenido (ARAYA 2017, p. 20):

- ❖ Numero de certificado / encabezamiento
- ❖ Laboratorio de procedencia
- ❖ Basta información del cliente
- ❖ Instrumento a calibrar
- ❖ Datos de placa del instrumento a calibrar
- ❖ Método de calibración utilizado
- ❖ Condiciones físicas las cuales fue desarrollado el proceso de calibración
- ❖ Resultados del proceso de calibración
- ❖ Declaración del tipo de incertidumbre presente
- ❖ Cadena de trazabilidad
- ❖ Emisión de criterio de aceptación o rechazo

### ***2.11.1 Beneficios del certificado de calibración***

#### *2.11.1.1 Correcciones*

El principal beneficio que tiene el cliente es en base a la magnitud del error en la medición, y la desviación en las lecturas por parte de un instrumento, en relación al sistema patrón, poder hacer correcciones para garantizar tanto una cadena de trazabilidad e incertidumbre correctas. Debido al costo que posee el calibrar un instrumento, esta información debe ser aprovechada al máximo. Se recomienda el aumento de la incertidumbre cuando no es viables la corrección de la lectura (MARTÍNEZ Y MARQUÉS, 2002, p. 04).

#### *2.11.1.2 Incertidumbre*

Un resultado de cualquier proceso de medición no puede ser considerado como tal, si dicho proceso no cuenta con una declaración y evaluación de la incertidumbre; en el proceso de calibración deben ser incluidas todas las posibles causas y contribuciones que tengan una influencia directa en la incertidumbre del proceso (MARTÍNEZ Y MARQUÉS, 2002, p. 04).

#### *2.11.1.3 Evidencia de calibración*

Estándares de alta calidad como ISO 9000, exigen que ciertos instrumentos me mediad hayan sido sujetos a calibración, antes de ser implementados en diversos procesos industriales o demás, de ahí que el certificado de calibración, emitido por un ente correctamente certificado, es la mayor evidencia y prueba de que el instrumento puede ser utilizado o a su vez descartado (MARTÍNEZ Y MARQUÉS, 2002, p. 04).

#### *2.11.1.4 Evidencia de trazabilidad*

Este documento se transforma en evidencia de una correcta cadena de trazabilidad en un resultado de calibración, dicha cadena es traspasada a las mediciones realizadas por el personal, si son asociados a la incertidumbre, misma que debe ser declarada y evaluada. Cuando el laboratorio

esta certificado, la evidencia entra en el sistema de acreditación (MARTÍNEZ Y MARQUÉS, 2002, p. 04).

### 2.11.2 Estructura de un certificado de calibración

Cada laboratorio tiene su formato, pero, por normativa la información mínima a contener es la siguiente:

**Número del Certificado**

**Identificación cliente**

**Condiciones de la calibración**

**NOTA**

**TÍTULO**

**Identificación termómetro**

**Condiciones ambientales**

**Trazabilidad de la calibración**

**Responsables de la calibración**

**Tabla de resultados**

**Incertidumbre**

**Error de calibración**

**Observaciones y/o declaraciones**

**Fin del certificado de calibración**

Figura 18 – 2. Estructura de un certificado de calibración

Fuente: (ARAYA 2017, p. 19)

### 2.11.3 Notaciones

Este documento, plasma los resultados de un proceso de calibración obtenido a condiciones y procesos específicos y controlados, por ende, estos resultados son viables a reproducirse y validarse bajo las mismas condiciones y los mismos criterios; estos debido a que muchas veces existe inconformidad por parte del propietario de equipo sujeto a calibración. Además entre otros errores que se presentan en el certificado tenemos (ZARZA y VIVAS, 2019, p. 10; MARTÍNEZ y MARQUÉS, 2002, p. 05):

- ❖ Ausencia de la fecha de calibración
- ❖ Cadena de trazabilidad incompleta
- ❖ La NO autorización de la emisión del certificado
- ❖ Incertidumbre incierta o por debajo de la establecida
- ❖ Inconsistencia en el mensurando
- ❖ Fecha de validez del proceso de calibración, sin solicitud previa
- ❖ Inobservancia de la descripción del proceso de calibración
- ❖ Inobservancia de información vital en el proceso
- ❖ Concordancia con el patrón utilizado
- ❖ Falta de lecturas
- ❖ Incumplimiento de protocolos establecidos por la norma

Finalmente un certificado de calibración por sí mismo no es garantía de que haya una correcta cadena de trazabilidad, más a su vez demuestra una especie de trazabilidad netamente de carácter documental, por lo que los requerimientos establecidos en VIM no son concretados (TERRÉS, 2009, p. 21).

### 2.12 Criterios de aceptación y rechazo

Todo equipo o aparato de medida este sujeto a un plan de calibración, dicho plan consta de una descripción muy detallada donde constan características, especificaciones, además de su respetivo criterio de aceptación (CEM 2012, p. 34).

El criterio de aceptación o rechazo, en los diversos equipos de medida o revisión, es considerado como precisión mínima necesaria para que las medidas o información que muestra el equipo sea validado, y a la vez se garantice el cumplimiento de diversas normativas vigentes. Entre los principales requerimientos para emitir cualquier criterio, tenemos (CEM 2012, p. 34):

- ❖ Valor nominal de la magnitud sujeta a medición
- ❖ Tolerancia

Los dos anteriores a su vez son vitales para

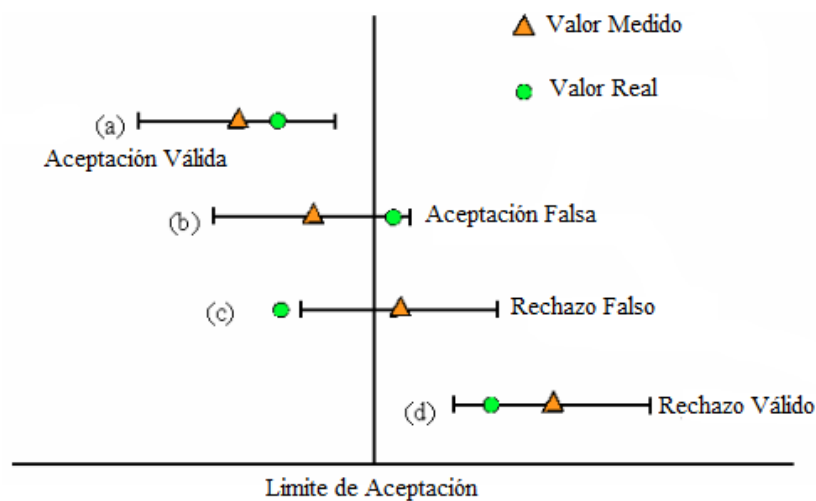
- ❖ La validación de la medida

❖ Costo mínimo y equipo necesario para la medición

En el apartado 7.6 que hace referencia al control de equipos de medición, en la norma ISO 9001, se menciona que las características de un determinado instrumento de medida afecta de forma directa a la calidad de un proceso o producto final (MEDRANO, 2003, p. 01).

Aceptar o rechaza un resultado muchas veces puede acarrear consecuencias indeseables. La evaluación del resultado de un proceso de calibración es propia del usuario, personal, laboratorio o entre regulador que esté a cargo de dicho proceso; el usuario es quien determina si el resultado es acetado o rechazado, obviamente dicho resultado debe ser validado por condiciones específicas en el proceso, así como cumplir ciertos aspectos presentes en la normativa vigente, específicamente se recomienda que dicho criterio debe estar basado en normas como ISO 14253-1, que hace referencia al reglamento de decisiones en la conformidad o no, de resultados bajo especificaciones (Medrano 2003, p. 02; ISO 14253-1 2014, p. 13).

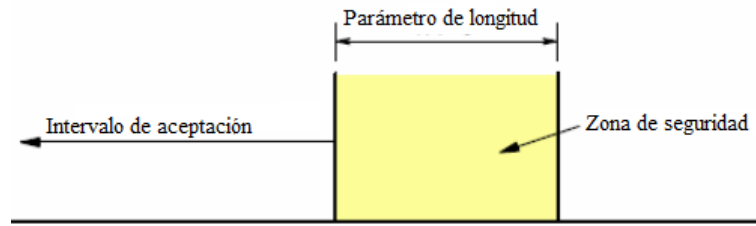
Hablando en termino de probabilidad, existe un margen de hasta un 50% de aceptar un resultado erróneo o correcto en un mensurando. La tolerancia juega un papel muy importante en esta probabilidad, ya que la misma recude este porcentaje de fallo o acierto, en lo que se conoce como zona de seguridad en la medición (CEM 2012, p. 36).



**Figura 19 – 2.** Límite de aceptación

Fuente: (CEM 2012, p. 36)

El nivel de riesgo que implica la acción de aceptar un resultado, puede verse disminuido con lo que se conoce como límite de aceptación, en un determinado intervalo de tolerancia, dicho intervalo se lo denomina zona de seguridad, teniendo así lo que se conoce como una aceptación bajo un criterio conservador (CEM 2012, p. 36).

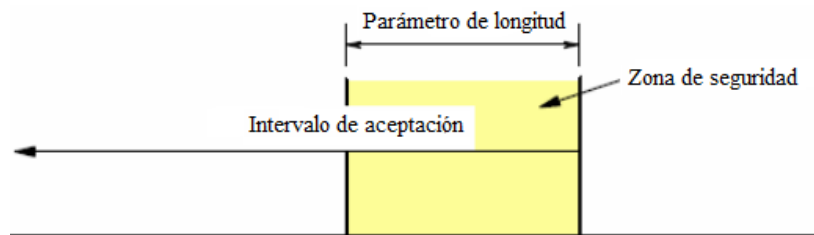


**Figura 20 – 2.** Aceptación bajo criterio conservador

Fuente: (CEM 2012, p. 36)

Convencionalmente entre el intervalo de aceptación y un límite máximo de tolerancia entre la zona de seguridad, se tiene un intervalo conocido como parámetro de longitud, mismo que siempre se considerara positivo y diferente de cero para una validez del mismo (CEM 2012, p. 36).

De la misma manera puede existir un límite de aceptación que se encuentre fuera del intervalo de tolerancia máxima permitida, aumentado así negativamente de que un resultado pueda ser rechazo o considerado no conforme. Dicho de esta manera, a este concepto de lo conoce como criterio de rechazo, visto desde un punto de vista muy conservador (CEM 2012, p. 37).



**Figura 21 – 2.** Rechazo conservador

Fuente: (CEM 2012, p. 37)

En el rechazo conservador, o rechazo estricto, a diferencia del criterio de aceptación el parámetro de longitud toma valores negativos, siendo estos diferentes de cero. Un valor tope de aceptación, fuera del límite superior respecto a la tolerancia, y afectando directamente a la zona de seguridad, reduce el riesgo de un rechazo erróneo a un resultado o considéralo conforme y validarlo (CEM, s2012, p. 38)

Según lo establecido en la norma ISO 14253-1, y de manera más concreta, existen los siguientes criterios puntuales (MEDRANO, 2003, p. 02):s

- ❖ El resultado es considerado conforme cuando, el intervalo de medida más incertidumbre ( $M \pm I$ ), se encuentran dentro del límite de tolerancia ( $T$ )
- ❖ El resultado es considerado NO conforme cuando, el intervalo de medida más incertidumbre ( $M \pm I$ ), se encuentran fuera del límite de tolerancia ( $T$ )
- ❖ El resultado es considerado ambiguo cuando, el intervalo de medida más incertidumbre ( $M \pm I$ ), se cruza con el límite de tolerancia ( $T$ )

De manera, obvia un aspecto vital en el criterio de aceptación o rechazo, es la tolerancia, razón por la cual, la misma se relaciona de manera matemática en la siguiente expresión (GESTI y ISO, 2008, p. 10):

$$3 \leq \frac{T}{2I} \leq 10$$

Donde:

*T*: Tolerancia

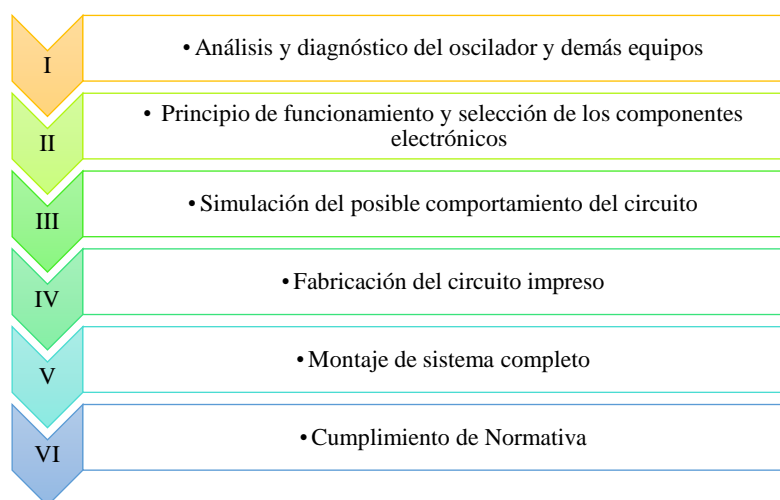
*I*: Incertidumbre

Es vital conocer el tipo y la dimensión de la incertidumbre a tratar; el valor de la incertidumbre de no coincidir con la del fabricante y la emitida por ensayos, se tomará la emitida por el laboratorio o fabricante, como válida para futuros procesos. Hay que tener en cuenta que si dichos valores son diferentes, factores como el deterioro el equipo pueden estar presentes (GESTI y ISO, 2008, p. 11).

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo del presente documento, se procede a la explicación de la implementación de la forma más clara, precisa y sistemática posible del banco de calibración para instrumentos de tiempo. Se procede a un análisis, así como un diagnóstico de la disponibilidad del equipo; simulaciones, selección de componentes y montajes del sistema por completo. A continuación, se resumen el proceso de implementación en el siguiente diagrama.



**Figura 1 – 3.** Secuencia de implementación del sistema

Fuente: Gusqui, Carlos; 2021

Cabe mencionar que un paso vital de los que se nombraron anteriormente, es el de simulación; no es para nada viable pensar siquiera en la adquisición o ensamble de algún componente si una previa simulación. Hoy en día, no solo en las áreas de la mecánica de fluidos, campo estructural, análisis de la resistencia de materiales, más aún en el campo de la electrónica es común ver un análisis de un determinado comportamiento, bajo una simulación, en condiciones semejantes a las que se verá expuesto en la realidad.

#### 3.1 Diagnóstico de los equipos

##### 3.1.1 Oscilador de rubidio

Un equipo de carácter vital es, sin duda alguna el oscilador de rubidio, mismo que a pesar de los años de funcionamiento, aún se encuentra en perfecto estado funcional. De la poca información disponible del equipo, tenemos:



**Tabla 1 – 3:** Hoja de vida de oscilador de rubidio

HOJA DE VIDA					
Hoja de vida Numero: HV-RLJRB-003.LTF					
DATOS DEL EQUIPO			INFORMACIÓN ADICIONAL		
<b>Equipo:</b> Oscilador de Rubidio			<b>Accesorios:</b> Sistema FMAS		
<b>Marca:</b> BELL EFRATON			<b>Laboratorio - Empleo:</b> Laboratorio de Tiempo y Frecuencia		
<b>Tipo uso:</b> patrón de referencia			<b>Localización:</b> Rack; Patrones de frecuencia		
<b>Modelo:</b> MES 294			<b>Fecha de Adquisición:</b> mayo de 1995		
<b>Serie:</b> 905			<b>Valor de Adquisición:</b> N/N		
<b>Código:</b> PR.ORB.012.1.PA			<b>Fecha de donación:</b> 2019		
Información Complementaria					
Certificado	# Reporte	Ubicación	SI	NO	Servicio Técnico
<b>Operación:</b>	GP1.1.1.1. P44	LTF	X		Bajo verificación previa de la estabilidad de la frecuencia
<b>Calibración:</b>	FMAS	LTF	X		
<b>Mantenimiento:</b>	PM.CMFT.LPA.001	LTF	X		
Características Técnicas					
Patrón de frecuencia (5-10) MHz para laboratorios de alta y baja frecuencia					
Criterio de aceptación y rechazo, cuando el patrón se haya calibrado externamente será de acuerdo al análisis de las lecturas del reporte de calibración y que estas se encuentren dentro de la tolerancia del equipo					
Condiciones especiales de uso					
Personal con criterio formado					

Fuente: Laboratorio de las Fuerzas Armadas del Ejército Ecuatoriano

Realizador por: Gusqui, Carlos; 2021

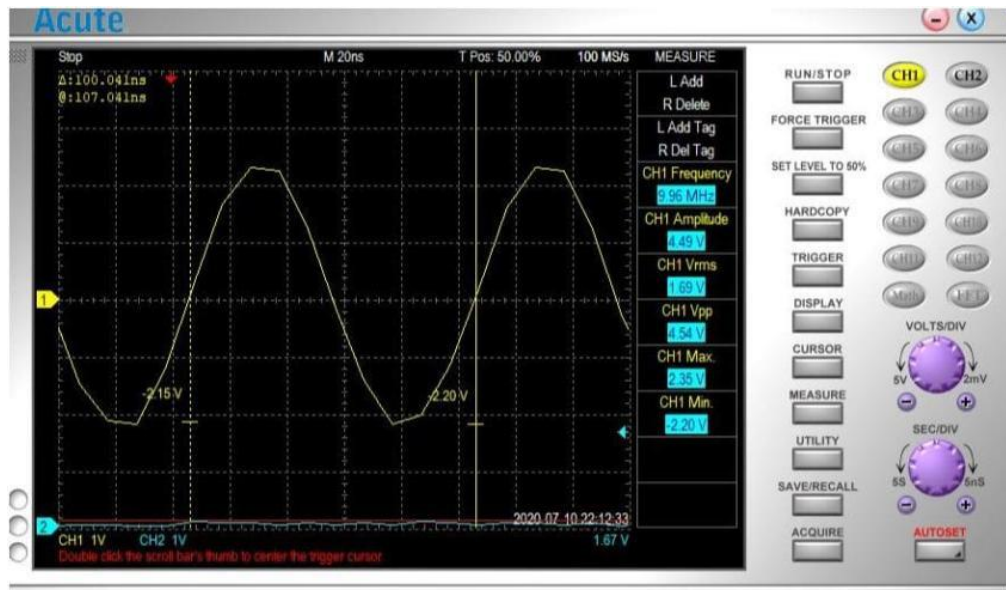
A la información mostrada en la hoja de vida del equipo, suministrada por el personal del Laboratorio de Tiempo y Frecuencia del Ejército Ecuatoriano, se le suma la verificación, así como constancia de datos de vital relevancia como lo son los datos de placa, propios de cada equipo. En la siguiente imagen se puede observar claramente la marca, el modelo, así como el número de serie del oscilador:



**Figura 2 – 3.** Placa – Oscilador de Rubidio

Fuente: Gusqui, Carlos; 2021

Un dato de esencial, pese a conocerlo mediante la hoja de vida, es conocer exactamente la frecuencia que posee el oscilador, por lo que le mismo es conectado a un osciloscopio para verificar dicha información, obteniendo la siguiente curva:



**Figura 3 – 3.** Frecuencia – Oscilador

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

Como se puede observar claramente en la figura anterior, efectivamente el oscilador emite una frecuencia oscilante entre 5 a 10 MHz, específicamente el instrumento marca 9.96 MHz, habiendo una ligera desviación de apenas 4 centésimas, esto debido a características propias del oscilador a su vez la precisión y la exactitud en la lectura por parte de osciloscopio.

El oscilador, en momento de su donación venia en equipo solamente, es decir sin complemento alguno como por ejemplo cable de poder o los diversos cables de prueba propios del equipo, por lo que, en primera instancia, se adquirieron todos los componentes necesarios para el oscilador. En primera instancia, para que el oscilador pueda iniciar su funcionamiento, el mismo tan solo necesita de un cable de poder, como es conocido comúnmente, el mismo que funciona con una toma domiciliaria de energía eléctrica a 110 voltios, sin alguna característica en específico, tal y como se muestra:



**Figura 4 – 3.** Cable de poder

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

### 3.1.2 Reloj LED

Una vez verificado el correcto funcionamiento y emisión de señales de parte del oscilador, la principal cuestión es donde poder visualizar las dichas señales, en forma de lecturas de tiempo. El laboratorio del ejercito cuenta con un LED (*light emitting diode*), donde se puede visualizar la hora continental, tal y como se muestra en la siguiente fotografía:



**Figura 5 – 3. LED**

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

El LED que posee el laboratorio como se puede observar claramente en la figura, no se trata de un LED común y corriente, debido a sus características y puertos principalmente, es necesario buscar la forma de simular el LED considerando disponibilidad de mercado, y lo más importante, características apropiadas para una correcta visualización de las lecturas de tiempo.

Si se desea una calidad excepcional, ya entrando en un campo netamente electrónico, específicamente a la tendencia actual, y considerando que su programación, así como su manipulación no presentan un elevado grado de complejidad, lo más recomendable sería poder visualizar las lecturas de tiempo en una pantalla HDMI (*High-Definition Multimedia Interface*).

Para poder visualizar una lectura de tiempo, la interfaz en la pantalla no presentaría un elevado grado de complejidad o de conocimiento, el principal problema radica en los componentes complementarios, y por ende en la elevación del factor económico que esta implementación representaría. Por ende, es necesario buscar la manera más viable además de factible en que se pueda visualizar de una manera óptima y sin perder la calidad, así como la precisión y la exactitud en las lecturas de tiempo.

Para el presente proyecto, las lecturas de tiempo serán realizadas en un reloj LED a fin a la situación, que además tenga características secundarias como fecha y demás; lo más importante es considerar las especificaciones técnicas que presente dicho LED, considerando valores como voltaje o amperaje además de lo más importante, considerar el valor de las señales de frecuencia emitidas por el oscilador.

Después de una exploración de mercado y posible importación del equipo apropiado, lo más ideal es adquirir a nivel nacional un LED, que cumpla ciertas características además lo más importante, que sea adaptable a la situación que presenta el proyecto, tal y como se muestra a continuación.



**Figura 6 – 3. LED**

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

Como se mencionó anteriormente, y claramente se puede visualizar en la imagen, además de una idónea y correcta lectura de la magnitud física de tiempo, el LED en cuestión posee características adicionales como una lectura de temperatura, indica el día y la fecha al que este corresponde. Es sumamente importantes, analizar y verificar las características que este LED posee, por lo que se analiza el *Data Sheet*, entregado por parte del proveedor.

**Tabla 1 – 3: Hoja de vida de oscilador de rubidio**

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Modelo:	JH-3615/JH-4622-4
Dimensiones (cm):	46 largo
	22 alto
	5 espesor
Resolución:	Segundos
Pantalla:	LED, cuarzo rojo
Voltaje:	5V (110V-120V)
Amperaje:	500 mAh
Zona Horaria:	12 horas -24 horas
Reloj:	HH:MM: SS
Carcasa:	Plástico Impermeable
Rango de Visualización:	35 metros
Angulo de Visualización:	120°
Peso:	1010 gramos
<b>Adicional</b>	
Complementario a la lectura de tiempo, el LED posee un indicador de fecha (día-mes-año), y temperatura actual del medio, siendo así: RELOJ-CALENDARIO-TERMÓMETRO	

**Fuente:** Autor

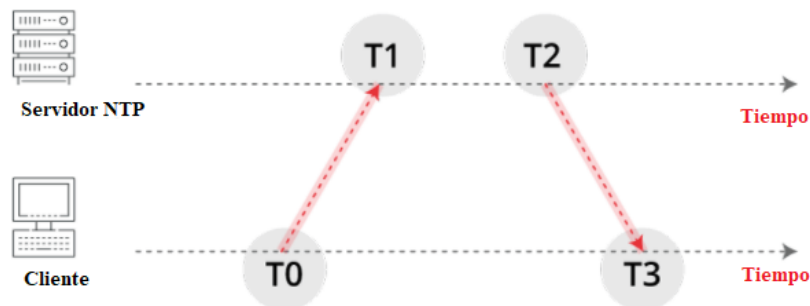
**Realizador por:** Gusqui, Carlos; 2021

### 3.2 Principio de funcionamiento y selección de componentes

Como bien se menciona en el título se procederá a la selección de componentes electrónicos, pero, antes que nada; es de suma importancia conocer el principio de funcionamiento que presentara el circuito. Tanto el principio de funcionamiento, así como la selección, se explicarán de manera concisa y ambos aspectos a la par.

El oscilador de rubidio tiene un circuito multivibrador monoestable, es decir que el mismo no cambia de estado a menos que reciba una señal de excitación externa, dicho circuito producirá un pulso de salida de una duración predeterminada cada vez que a él llegue una señal de entrada que le ordene hacerlo. Si esa señal de entrada es periódica, es decir, se repite con cierta frecuencia, entonces la salida del circuito monoestable será periódica cuya frecuencia y ciclo útil depende de la frecuencia de entrada de la señal de orden.

Ahora si bien es cierto, quizá la única pero gran ventaja que presenta el oscilador de rubidio del laboratorio de tiempo y frecuencia del Ejército Ecuatoriano, frente al oscilador de la facultad, es que el mismo, así como el *display* o reloj LED, cuenta con puertos NTP (*Network Time Protocol*), siendo esto de gran ventaja que su conexión es de forma directa. Razón por la cual las señales de frecuencia omitidas por el oscilador tienen que ser manipuladas y adaptadas a un display sin conexión NTP, en el caso del presente proyecto.



**Figura 7 – 3.** Protocolo NTP

Fuente: (RIVERGLENNAPTS 2019)

Hay que tener en cuenta y saber diferenciar concepto de vital importancia; visto desde un punto de vista netamente electrónico, las señales de frecuencia emitidas por el oscilador, son manipuladas para convertirlas en señales de voltaje compatibles al LED, pero desde un punto de vista metrológico; el proyecto y manipulación de señales va mucho más allá de lo que se puede apreciar.

Las señales de frecuencia emitidas por el oscilador son manipuladas hasta lograr transformarlas a “estampas de tiempo”, siendo este un concepto quizá no nuevo, pero si algo de suma relevancia y pocas veces empleado en el campo de la metrología, específicamente en lo que el área de tiempo y frecuencia se trata. Una estampa de tiempo no es sino una especie de identificador para

monitorizar que cada lectura de la magnitud a medir, que en este caso es el tiempo, sea única y totalmente de acuerdo al sistema patrón utilizado.

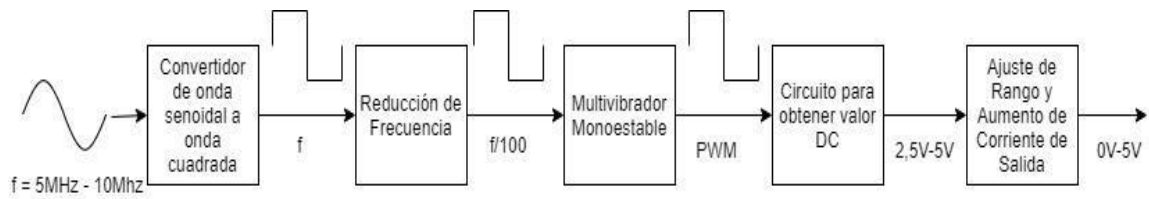
Si bien es cierto, las señales son manipuladas hasta alcanzar estampas de tiempo, la mejor manera de explicar la implementación de sistema en sí mismo, es el lenguaje electrónico; por lo que en primer lugar una vez ya transformadas las señales de frecuencia a señales de voltaje, estas son capaces de activar un LED a fin la situación; el valor promedio (o valor DC) de esa salida puede obtenerse su promedio en el tiempo cumpliendo así la definición de DC. Electrónicamente, eso equivale a extraer su valor DC mediante un filtro, es decir, dejando pasar únicamente esa componente de la señal y el resto no, por tanto, eso significa filtrar la señal, entonces la salida del filtro es proporcional a la frecuencia de entrada, teniendo así lo que básicamente y en lenguaje técnico se le conoce como convertidor frecuencia a voltaje.

Ahora bien, considerando los componentes que venden en Ecuador, no es posible implementar un multivibrador monoestable que pueda manejar frecuencias tan altas es decir señales que fácilmente llegues a superar 1 MHz, de ahí la necesitan de contemplar el mercado internación debido a que el oscilador fácilmente superar el valor anterior y siendo capaz de emitir hasta 10 MHz, y recordando que su punto de operación optima se encuentra en el rango de 5 a 10 MHz.

Debido al grado de dificultad que presenta el sistema, y al grado de precisión y exactitud que se necesita en el funcionamiento del circuito, es necesaria una etapa que permita reducir la frecuencia de la señal de entrada, lo que sí puede lograrse fácilmente con circuitos digitales, puesto que estos sí manejan frecuencias altas. En concreto, se pueden usar contadores de décadas para reducir la frecuencia de entrada a una escala de 1:10, es decir, la frecuencia se puede a su décima parte.

Si bien es cierto, los circuitos digitales facilitan la manipulación de señales de alta frecuencia, presentan una particularidad ; los circuitos digitales no pueden manejar voltajes que estén fuera del rango de 0 a 5V, mismo valor de voltaje que por lo general manejan los relojes LED afines a la situación, por lo que se requiere una etapa para convertir la señal senoidal de entrada, misma que es capaz de generar valores negativos ,en una señal cuadrada de 0 a 5V que pueda manejar la etapa de reducción de frecuencia antes mencionada.

Este proceso se lo puede llevar a cabo al implementarse con un comparador analógico pero que pueda manejar la frecuencia de la onda senoidal; razón por la que hubo que importar dicho comparador analógico. En resumen, todo el proceso anteriormente descrito en el sistema está compuesto de la siguiente forma:



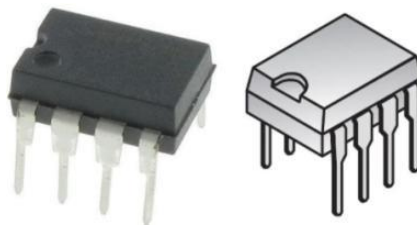
**Figura 8 – 3.** Diagrama de bloques del sistema completo

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

Como se mencionó anteriormente, el proceso de conversión de señales de frecuencia y en especial unas señales tan altas como estas, presenta cierto grado de complejidad en el momento de la selección de los componentes idóneos, por lo que, a mejor criterio, dicho proceso se ha considerado dividirlo por etapas para una mejor comprensión e interpretación.

### 3.2.1 *Conversión de la onda senoidal a onda cuadrada*

En esta primera etapa, quizá una de las importantes; en primera instancia se necesita de un comparador analógico MAX907EPA, cuya función principal es facilitar la manipulación de las señales altas de frecuencia, como es este caso de un rango de hasta 10MHz.



**Figura 9 – 3.** Comparador analógico  
MAX907EPA

**Fuente:** (Mouser 2020)

Una vez se tenga el conector es necesario la implementación de resistencias para acoplar las mismas al comparador, el valor de las resistencias oscila entre 1k y 10k Ohm. Dichas resistencias tienen como finalidad poder entregar mejor funcionamiento del comparador, al no usar el voltaje de referencia de 0V sino de 2,5V en su lugar y sumando un valor DC de 2,5V a la senoidal de entrada.

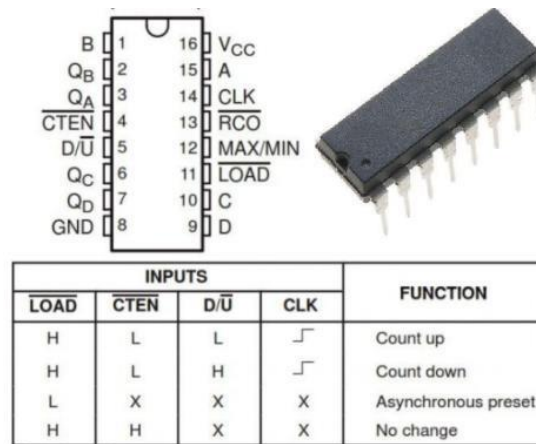


**Figura 10 – 3.** Resistencia

**Fuente:** (Labtroniks 2020)

### 3.2.2 Reducción de frecuencia

En esta etapa, una vez el comparador facilito la manipulación de las señales; se procede a la implementación de contadores de década 74HC190, específicamente son necesarias 2 unidades. Cada contador divide la frecuencia en un factor de 10 por lo que se obtiene en total una reducción de frecuencia en un factor de 100, es decir, su salida es una onda cuadrada cuya frecuencia es 100 veces menor a la frecuencia de entrada proporcionada por la onda senoidal. Esto se requiere porque el monoestable puede manejar frecuencias de hasta 100KHz ( $10\text{MHz} / 100 = 100\text{KHz}$ ).



**Figura 11 – 3.** Contadores de década 74HC190

Fuente: (CALDAS 2020)

### 3.2.3 Multivibrador Monoestable

Al lograr reducir las y transformar las señales de entrada, en esta etapa es necesario incorporar un circuito integrado temporizador de tipo 555. Este integrado de entre todas las aplicaciones y funciones que puede brindar, la que resalta y motivo por el cual es seleccionado para el presente proyecto es que el mismo es capaz de funcionar como multivibrador monoestable.



**Figura 12 – 3.** Integrado Timer 555

Fuente: (Mouser 2020)



Es importante tener en cuenta que en el momento de la conexión de este tipo de componentes es necesario complementos como diodos o resistencias que garanticen su óptimo funcionamiento sin presencia de turbulencias en el sistema.

### 3.2.4 Circuito para obtención de un valor DC



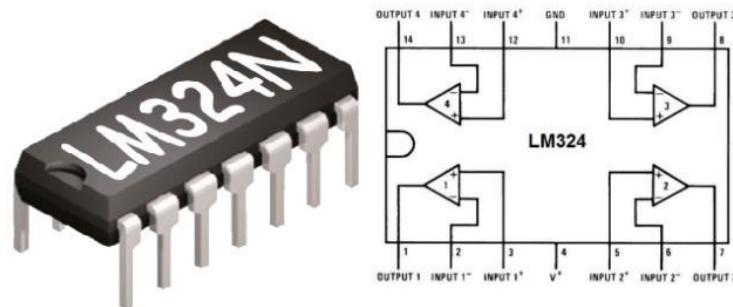
**Figura 13 – 3.** Capacitor

Fuente: (Labtroniks 2020)

En esta etapa principalmente como se mencionó anteriormente es necesario la implementación de una resistencia y un capacitor. La manera particular en que estos están conectados forma un filtro pasa bajos, es decir, deja pasar frecuencias por debajo de un parámetro llamado frecuencia de corte cuyo valor depende específicamente de los valores de la resistencia y del capacitor. Con él se deja pasar únicamente las componentes DC de la señal, obteniendo un valor de 5V para una frecuencia de 10MHz y de 2,5V para una frecuencia de 5MHz respectivamente.

### 3.2.5 Ajuste de Rango y Aumento de Corriente de Salida

Se incorpora un integrado LM324. Este integrado contiene 4 amplificadores operacionales en su interior y puede funcionar con una sola fuente de alimentación, por eso su elección. Se utilizan 3 de los 4 amplificadores operacionales en su interior. Dado que el mayor valor en la etapa donde se duplica el voltaje es 10V, entonces se requiere una fuente de alimentación ligeramente superior a este valor, debido a las pérdidas en el amplificador operacional al no ser del tipo *rail to rail*, por lo que, en consideración a la oferta del mercado, la selección idónea es una fuente de alimentación de 12V.

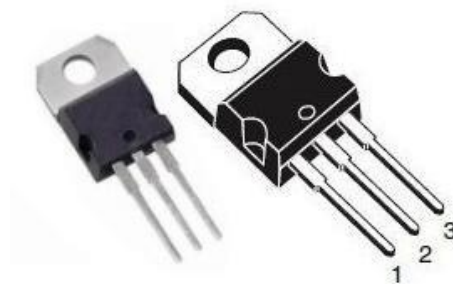


**Figura 14 – 3.** Circuito Integrado LM324

Fuente: (MV 2020)

Resistencias, que en esta etapa son usadas junto con el LM324 para configurar la topología adecuada de los amplificadores operacionales debido que en este es necesario un amplificador no-inversor, un restador y un seguidor de tensión.

Finalmente, es necesario un transistor TIP31C (BJT de potencia). Este transistor permite que la corriente que se suministra al reloj LED (500mA) no provenga del LM324 debido a que el mismo solamente puede llegar a suministrar menos de 100mA como máximo, lo cual obviamente es insuficiente, además que con la presencia de transistor se evita percances como llegar a quemarlo por exceso de demanda de corriente. Los transistores permiten conducir corrientes grandes usando corrientes de control pequeñas, en este caso dicha corriente proviene del LM324. Luego, el TIP31C suministra la corriente al reloj LED, pero con el voltaje regulado por el LM324.



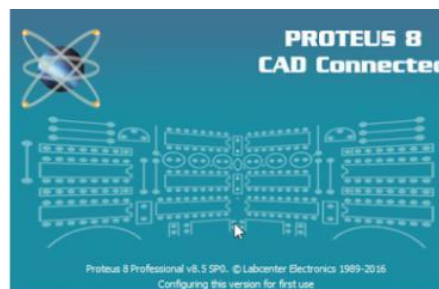
**Figura 15 – 3.** Transistor TIP31C

Fuente: (CALDAS 2020)

### 3.3 Simulación de Circuito

Una vez hecha una selección previa de todos los componentes electrónicos que van a ser utilizados en el circuito, es de vital importancia realizar una simulación previa del comportamiento que presentara el circuito, para de esta manera poder garantizar un excelente funcionamiento, además, en caso de ser necesario reemplazar o incorporar un nuevo componente.

Debido a la facilidad que presenta, así como el complemento de todas sus librerías, módulos y una gran facilidad de simular; el software seleccionado para correr con el proceso de simulación en el comportamiento que presenta el circuito es “*Proteus*”; este software es desarrollado por la compañía *Labcenter Electronics Ltd.*



**Figura 16 – 3.** Software Proteus

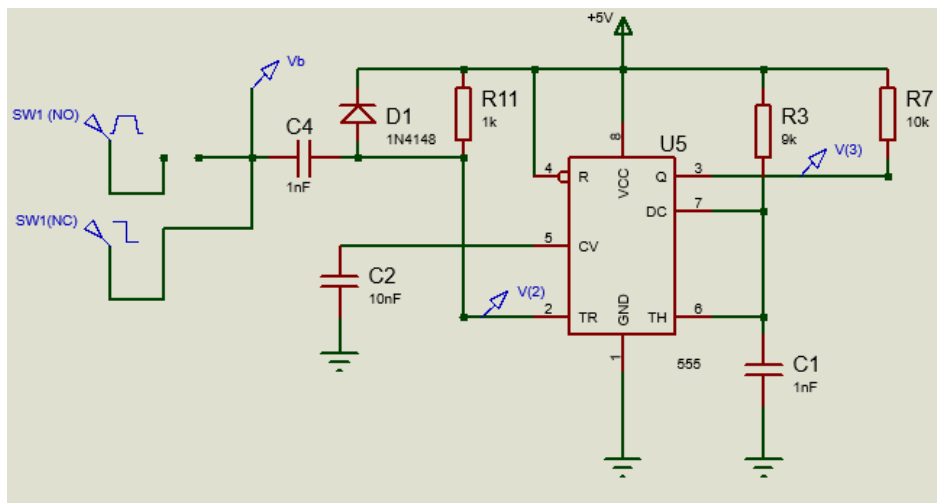
Fuente: (Labtroniks 2020)

De la misma manera que en el proceso de selección de componentes se realizó un análisis por bloques para una mejor comprensión y análisis, de manera similar para el proceso de simulación se realiza la división por etapas para poder discernir mejor toda la información posible que este a disposición de la manera más clara y concreta. Un factor a consideración es que en cada etapa del proceso de simulación de ser factible se analizara a las dos principales resonancias del oscilador, es decir a una frecuencia de 5 MHz y 10Mhz, para un mejor análisis del comportamiento del circuito.

Partiendo del diagrama de bloques para el sistema en general, es recomendable comenzar el análisis por el bloque que es considerado como vital para el correcto funcionamiento que en este caso se trata de multivibrador monoestable.

### 3.3.1 *Multivibrador monoestable*

Como su propio nombre lo indica posee un solo estado estable, es decir que ante la ausencia de una señal de entrada se mantendrá en su estado estable; en este caso con la implementación de un 555 que es lo más común además de las facilidades que presenta en el mercado local, lo que se consigue es que este estado estable sea 0 cuando no existe entrada y es 1 cuando la entrada toma un valor de cero lógico. La representación del circuito para su simulación viene dada por:



**Figura 17 – 3.** Diagrama del multivibrador monoestable

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

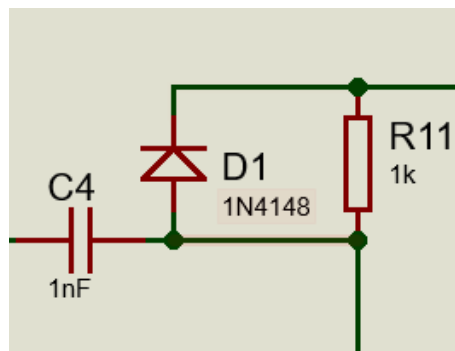
En el diagrama se puede observar el circuito del 555 en fase monoestable, al cual se le a implementado la presencia de una capacitancia, diodo además de una resistancia para poder visualizar los diversos efectos que se pueden presentar a la entrada. Existen dos fuentes de señal, una que varía de 0Va 5V, hasta alcanzar su estabilidad y otra señal de tipo periódica o de pulsos. Se realiza un analizar grafico de tipo analógico debido a que si se iniciara con un osciloscopio nos podría divisar el cambio de estados a la salida del circuito. El primer análisis se realiza a la influencia dela señal de tipo digital.



**Figura 18 – 3.** Comportamiento a la salida del monoestable (señal digital)

Fuente: Gusqui, Carlos; 2021

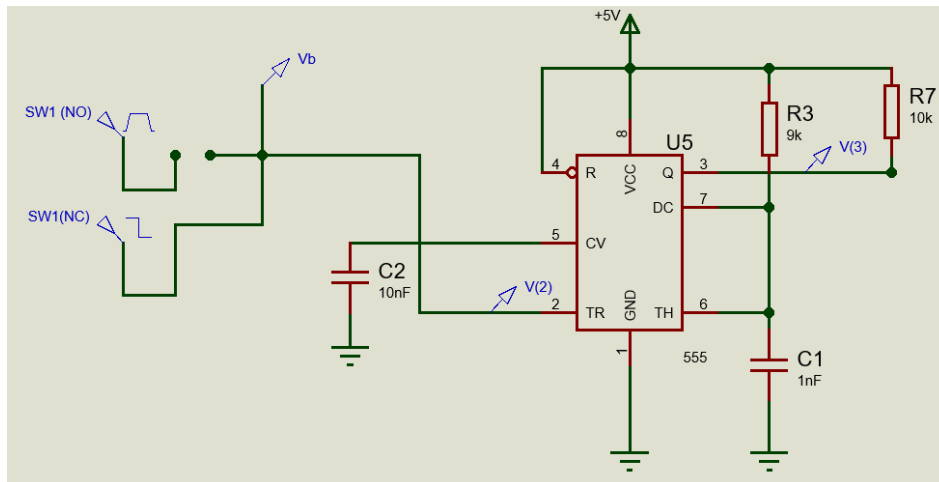
El análisis analógico muestra claramente que la entrada (onda azul) está en 5V y la salida del 555 (onda roja) está en cero voltios, una vez que la entrada cambia de a 0V, el 555 emite una señal de salida que tiene un tiempo de duración como muestra la gráfica de 10  $\mu$ s; la entrada después de este tiempo sigue manteniéndose en bajo por lo tanto el 555 debería seguir en estado alto, sin embargo esto no es posible debido a la implantación de los componentes antes nombrados, mismo que forman la siguiente red:



**Figura 19 – 3.** Red de filtro

Fuente: Gusqui, Carlos; 2021

Esta red genera un comportamiento deseado para así evitar señales indebidas a la salida en caso de que la entrada se mantenga en un estado lógico, de no ser implantada esta red el comportamiento y diagrama del sistema serían los siguientes:



**Figura 20 – 3.** Diagrama del multivibrador monoestable (sin red de filtro)

Fuente: Gusqui, Carlos; 2021

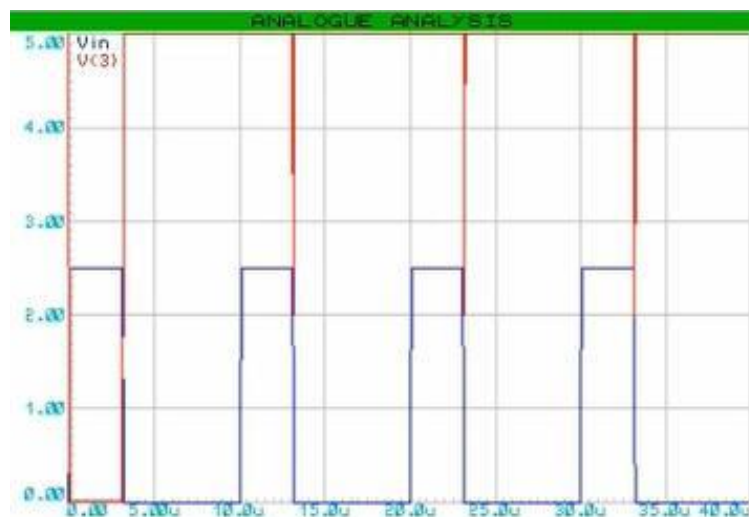


**Figura 21 – 3.** Comportamiento a la salida del monoestable (sin filtro)

Fuente: Gusqui, Carlos; 2021

En análisis analógico lo único que hace es corroborar lo que se mencionó anteriormente, la señal de entrada posee el mismo comportamiento sin embargo ahora la señal de salida una vez que alcanza el estado de alto se mantiene después del periodo de tiempo determinado, se mantiene en este estado debido a que la entrada se mantiene estable.

Una vez realizado el análisis a una señal digital es necesario verificar el comportamiento del sistema ante la presencia de una señal analógica; para ese caso el tren de pulso va a fluctuar entre 0V a 5V, con un ciclo de trabajo de 30%, esto quiere decir que durante el periodo de tiempo determinado para análisis solamente el 30% va a estar en alto mientras el 70% permanecerá en bajo.



**Figura 22 – 3.** Comportamiento a la salida del monoestable  
(señal analógica)

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

Cuando la entrada cambia a 0V la salida del 555 pasa a estado alto, esto repitiéndose de forma periódica; si se analiza el valor promedio DC del pulso de salida del del 555 que estaría determinado para el tipo de forma de onda que se presenta a la salida que en este caso es una onda cuadrada y periódica, dicho valor vendría expresado de la siguiente manera:

$$V_{DC} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt$$

$$V_{DC} = V_{m\acute{a}x} \cdot D$$

Donde:

$V_{DC}$ : Valor promedio DC

$V_{m\acute{a}x}$ : Voltaje del sistema

$D$ : ciclo útil

El ciclo útil a su vez es consecuencia del periodo o lo que es lo mismo la frecuencia:

$$V_{DC} = \frac{V_{m\acute{a}x}}{T} \quad \text{ó} \quad V_{DC} = V_{m\acute{a}x} \cdot f$$

Donde:

$T$ : periodo de la oscilación del sistema

$f$ : frecuencia del sistema

En este caso el ciclo de la señal de salida es prácticamente del 100%, esto debido a que el tiempo que permanece en alto, es sumamente pequeño en comparación al tiempo que permanece en alto.

Al reducir la frecuencia lo más lógico es que el periodo aumente, tal como se puede ver en el siguiente análisis analógico:



**Figura 23 – 3.** Salida del monoestable (50% de la frecuencia)

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

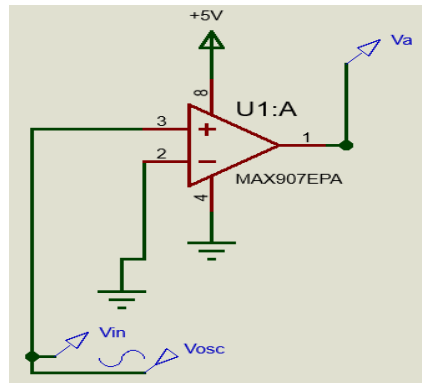
Al reducir la frecuencia del sistema al 50%, se tiene un periodo aproximadamente de  $20\mu s$ , esto debido a que el pulso en alto está fijado para  $10\mu s$ , luego al pasar al siguiente franco esto se dispara lo que provoca  $10\mu s$  en alto y  $10\mu s$  en bajo. El ciclo útil de la salida de 555 esta aproximadamente al 50% debido a la que mitad del tiempo está en alto y la otra en bajo, esto influye en el valor de voltaje de la siguiente manera:  $V_{DC} = 0.50 \times 5V = 2.5V$ .

El efecto anterior se repite a medida que se manipule el valor de la señal de la frecuencia, de esta forma la salida del monoestable será proporcional a la frecuencia de entrada, siendo este el principio para transformas las señales de frecuencia a voltaje o visto desde un punto de vista metrológico, a estampas de tiempo. Algo sumamente importante a considerar es que el tiempo de pulso de salida del monoestable deber ser igual al mínimo periodo (máxima frecuencia) esperada en la entrada.

Ahora, la señal de entrada es de tipo cuadrada, sin embrago la señal de frecuencia emitida por parte del oscilador de rubidio es del tipo senoidal. Además las frecuencias de interés sujetas a análisis son de 5MHz a 10 MHz, están fueran del rango de trabajo del 555, si bien es cierto existen varios tipos de controladores 555 que son capaces de manejar este valor de frecuencias, pero un factor de suma importancia es considerar que los mismo no están disponibles en el mercado nacional, por lo que es necesario una etapa que pueda convertir la señal senoidal a cuadrada y además pueda reducir el valor de la frecuencia a rango aptos para el tipo de controlador a disposición.

### 3.3.2 Conversión de onda senoidal a cuadrada

La onda senoidal emitida por el oscilador está dentro del rango de 5MHz a 10 MHz, dichos parámetros por el momento no serán alertados, lo que cambiara únicamente es la forma de la señal, misma que pasa a ser del tipo cuadrada, para lo cual el bloque se compone de la siguiente manera:

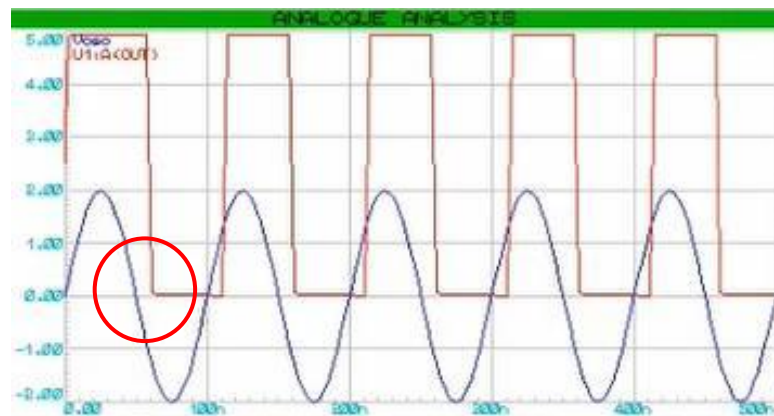


**Figura 24 – 3.** Circuito de conversión de onda

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

El bloque se compone básicamente de un comparador, el mismo basa su principio de funcionamiento en sus dos tipos de entrada, una inversora y otra del tipo NO inversora; cuando el voltaje en la entrada inversora sea mayor al voltaje presente en la entrada NO inversora, la salida será la alimentación positiva, 5V en este caso; cuando el voltaje en la entrada inversora sea menor al voltaje presente en la entrada NO inversora la salida es la alimentación negativa, en este caso 0V.

Como ya se menciona es necesario analizar el comportamiento del sistema cuando este toma las señales de frecuencia emitidas por el oscilador. A una frecuencia de 10 MHz, el comportamiento de la señal de salida es el siguiente:

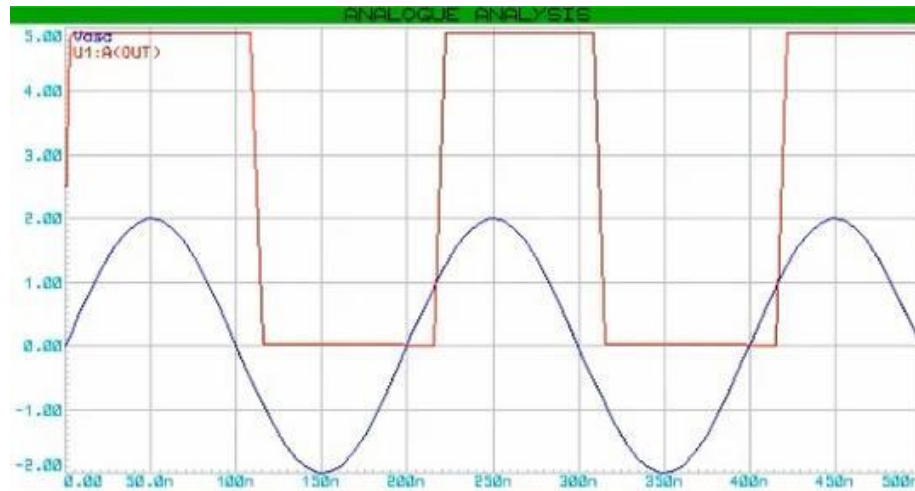


**Figura 25 – 3.** Señal de salida a 10 MHz

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021



En análisis analógico muestra la onda de salida (onda roja) y la onda de entrada (onda azul), cuando la entrada NO inversora que es la senoidal es mayor a 0V la salida del comparador es 5V mientras que cuando la entrada asume un valor inferior a 0V, la salida asume un valor de 0V. Se puede observar claramente un desfase entre las señales más este no tiene incidencia alguna debido a que son cuestiones propias del comparador; lo más importantes es ver que tanto la onda senoidal como cuadrada poseen la misma frecuencia, con lo que se logró la conversión de onda en estado puro. Analizando el sistema a una resonancia de 5 MHz, el comportamiento de la señal de salida es el siguiente:



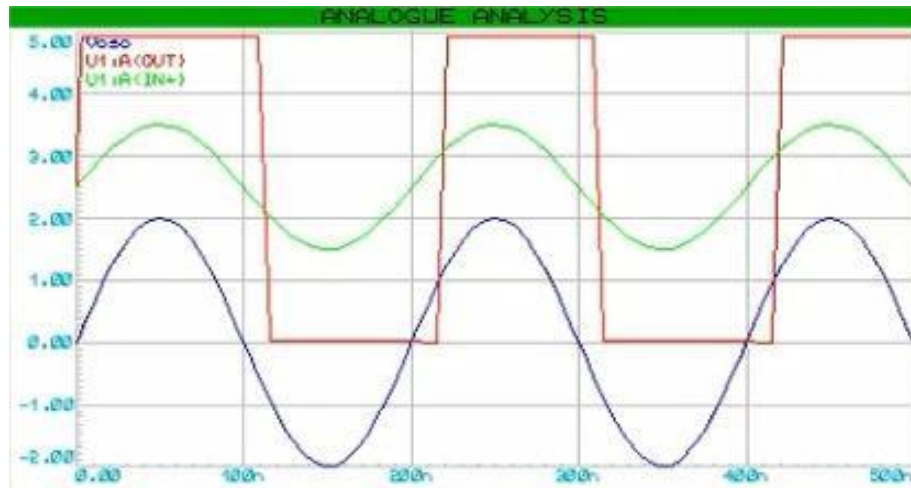
**Figura 26 – 3.** Señal de salida a 5 MHz

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

Al igual que en la resonancia anterior existe un desfase respecto a la señal de entrada, pero la frecuencia se mantiene. La onda cuadrada en forma propiamente dicha funcionaría correctamente en el integrador, siempre y cuando los valores de frecuencia sean los indicados es decir que no estén fuera de rango, por lo que a la salida de esta etapa es necesaria una nueva donde el valor de la frecuencia sea reducido a valores de trabajo del integrador.

### 3.3.3 Reducción de frecuencia

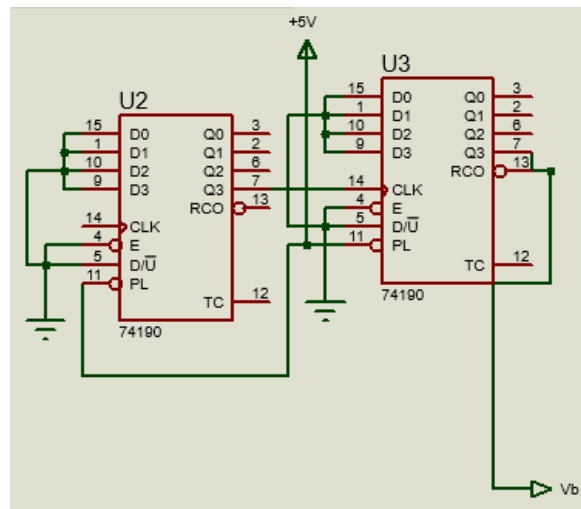
La reducción de frecuencia se la puede realizar de varias maneras, para el presente caso se opta por circuitería digital debido a que a la salida de comparador existe un voltaje que va de 0V a 5V tal como muestra el siguiente diagrama analógico:



**Figura 27 – 3.** Voltaje a la salida del comparador

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

El proceso de reducción de frecuencia se lo hace específicamente con la implementación de contadores de década; un contador como su propio nombre lo dice lo que hace es contar, este proceso de conteo lo realiza en sincronía con una señal que recibe, esta señal es conocida como señal de reloj; la salida en la etapa de conversión de onda que en este caso es la entrada a la etapa de reducción de frecuencia, donde esta se reduce en un factor de 100 debido a la presencia de 2 contadores.



**Figura 28 – 3.** Diagrama de contadores de década

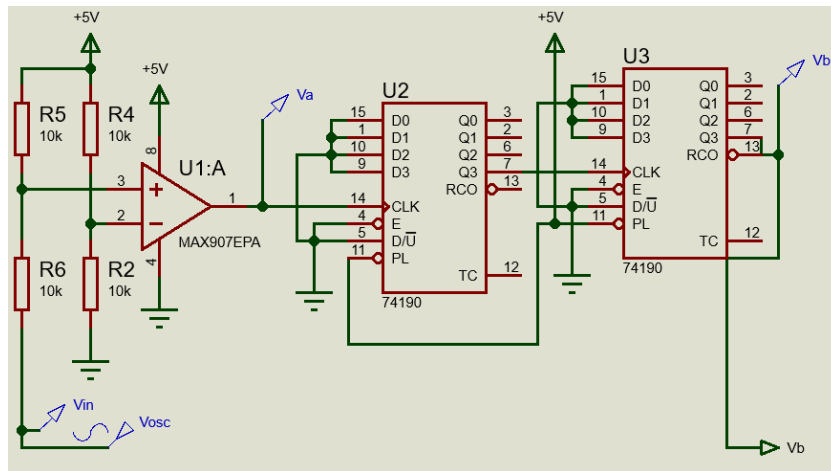
**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

Recordando que los dos principales valores de resonancia son 10 MHz y 5MHz si tiene lo siguiente:

$$\text{Primera reducción: } \frac{10 \text{ MHz}}{100} = 100\text{KHz}$$

$$\text{Segunda reducción: } \frac{5 \text{ MHz}}{100} = 50\text{KHz}$$

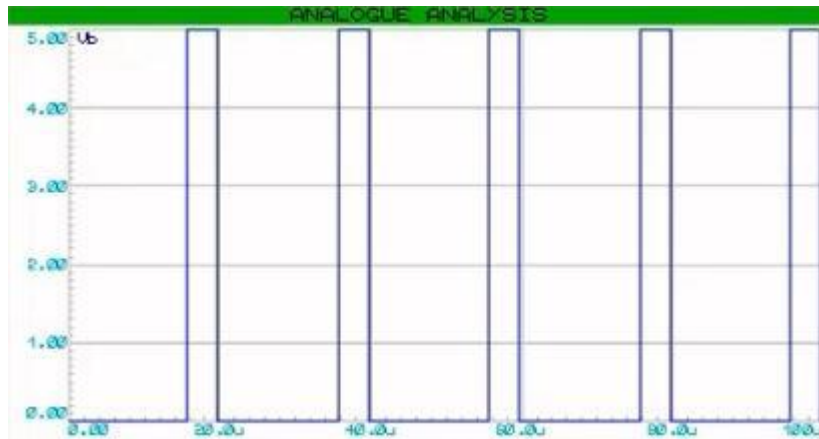
El diagrama del presente bloque, ya en unión con la etapa anterior viene representado por:



**Figura 29 – 3.** Bloque de reducción de frecuencia

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

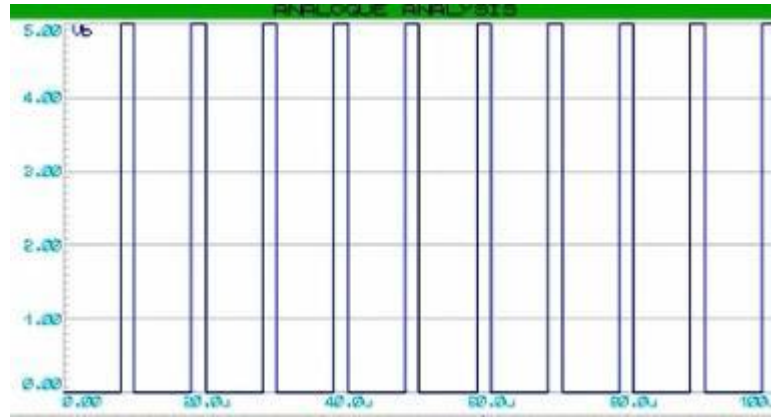
Una vez implementado la etapa de reducción de frecuencia, de la misma manera en necesario estudiar el comportamiento del sistema mediante un análisis analógico, a 5MHz el comportamiento es el siguiente:



**Figura 30 – 3.** Reducción de frecuencia (5MHz)

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

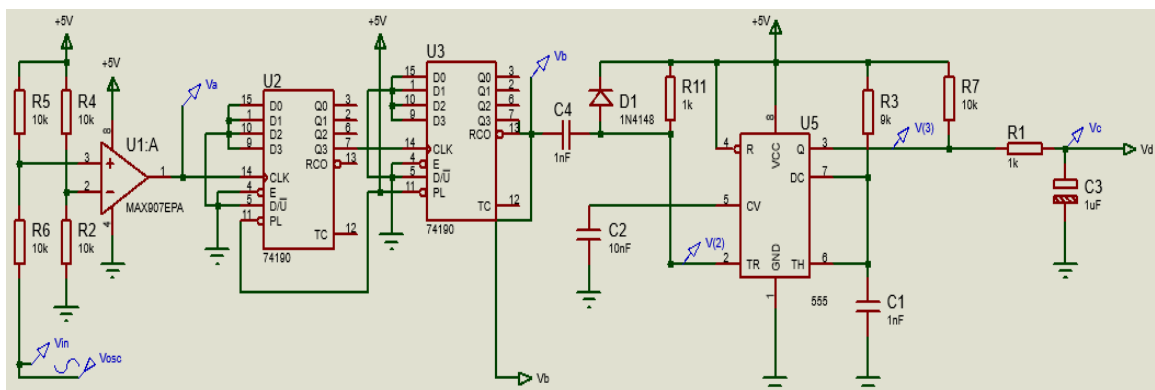
Una vez reducida la frecuencia en un factor de 100, a 5MHz, le corresponde un nuevo valor de salida de 50KHz, a esta frecuencia le corresponde un periodo de 20us, tal como muestra la figura anterior. Mientras que a una resonancia de 10MHz, el comportamiento del sistema es el siguiente:



**Figura 31 – 3.** Reducción de frecuencia (10MHz)

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

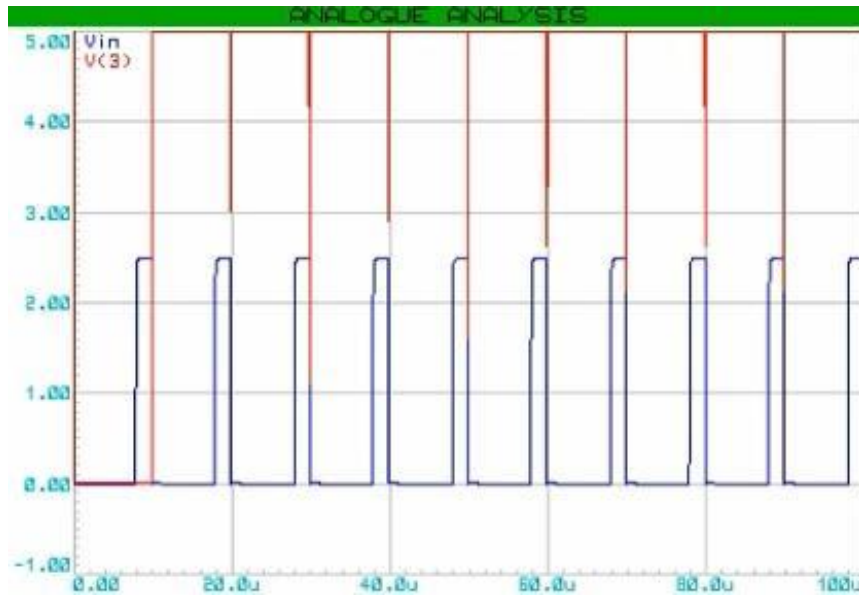
En este caso de manera lógica, el periodo se reduce a la mitad que en el caso anterior, es decir a una resonancia de 10MHz, el valor de periodo es de 10 $\mu$ s con un valor de salida de 100 KHz, que es un valor apto para trabajar con el 555 monoestable. Una vez convertida la señal de senoidal a cuadrada y reducida la frecuencia a un factor de 100, estas etapas son acopladas al bloque del monoestable, formando así el siguiente diagrama:



**Figura 32 – 3.** Acople de etapas

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

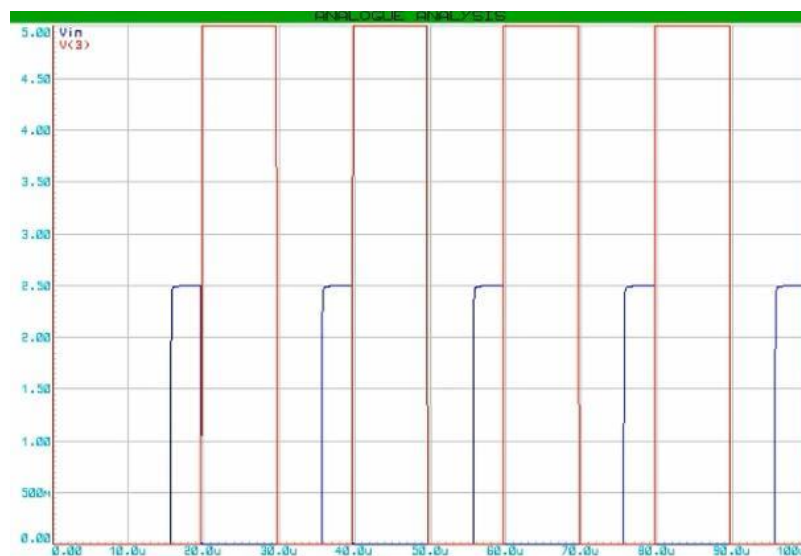
Una vez realizado el acople de los tres primeros bloques, se tiene que analizar el comportamiento del sistema hasta este punto, de la misma manera que se ha venido haciendo, es decir a los valores principales de resonancia del oscilador, el análisis comienza a una frecuencia de 10MHz.



**Figura 33 – 3.** Comportamiento del monoestable (10MHz)

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

La señal de salida del monoestable muestra un ciclo útil del 100% lo que corresponde a un voltaje promedio de 5V, a pesar de que existe un tiempo de bajada, este es insignificante respecto al tiempo de subida del sistema. El análisis, continua ahora con valor de frecuencia de 5MHz, en este caso la mitad de la onda se encuentra en alto y la mitad en bajo lo que quiere decir que este ciclo de trabajo posee una utilidad del 50%, por ende, el valor promedio del voltaje se reduce a la mitad respecto al caso anterior, lo que equivale a un valor de 2.5V. El análisis analógico del nuevo comportamiento del sistema es el siguiente:



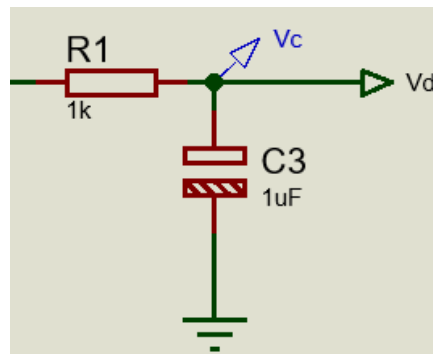
**Figura 34 – 3.** Comportamiento del monoestable (5MHz)

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

Se tiene una correspondencia entre la frecuencia de entrada y voltaje de salida; básicamente a una frecuencia de 10MHz le corresponde 5V, mientras que a 5MHz se tiene 2.5V. Ahora esta correspondencia deber ser modificada de manera tal que a 10MHz el voltaje se mantenga constante mientras que a 5MHz el voltaje sea 0V, para esto se necesita un adaptador de nivel lo cual se puede implementar mediante amplificadores operaciones, debido a que se trata de una función netamente lineal. Antes de esta nueva correspondencia es necesario un filtro en la onda cuadra para obtener un valor de voltaje constante, es decir un valor DC.

### 3.3.4 Obtención del valor DC

La obtención de un valor DC se lo puede conseguir mediante un filtro pasa bajos debido a que el interés principal es dejar pasar las frecuencias que son cercanas a DC, mientras que las que son diferentes a este valor deben ser atenuadas. Un filtro pasa bajo se compone de una resistencia y un capacitor, tal como muestra el siguiente diagrama:

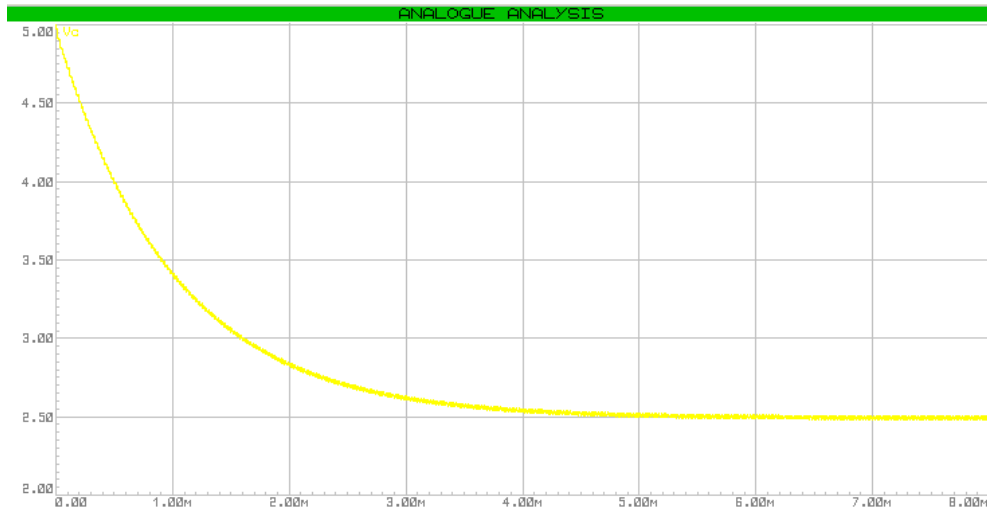


**Figura 35 – 3.** Filtro pasa bajos

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

Este tipo de filtro se puede formar de diversas formas, con una bina, un condensador, todo con la finalidad de aumentar su selectividad, mejorar el tiempo de respuesta entre otras. Para este proyecto el filtro fue formado por un sistema RC (resistencia + capacitor), debido a una facilidad de incorporación además del factor de disponibilidad en el mercado nacional. De considerar la implementación de una bobina, se debe tener en cuenta que la mismas deber de ser fabricada por las dimensiones y la disponibilidad del material ferromagnético para esta aplicación resultaría difícil de conseguir, conjuntamente aumentaría la complejidad del sistema.

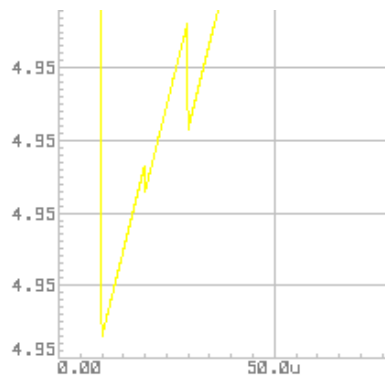
Este filtro posee una frecuencia de corte de aproximadamente 160 Hz, la señal de entrada oscila entre 50 KHz a 100KHz, valores que están sumamente alejados a dicha frecuencia de corte por lo tanto este filtro entrega el valor promedio de la señal con un mínimo rizado, debido a que las frecuencias de resonancia en este filtro están sumamente atenuadas respecto a la fundamental es decir la de entrada. La señal ya sometida a un proceso de filtro muestra el siguiente comportamiento:



**Figura 36 – 3.** Señal de salida filtrada (5MHz)

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

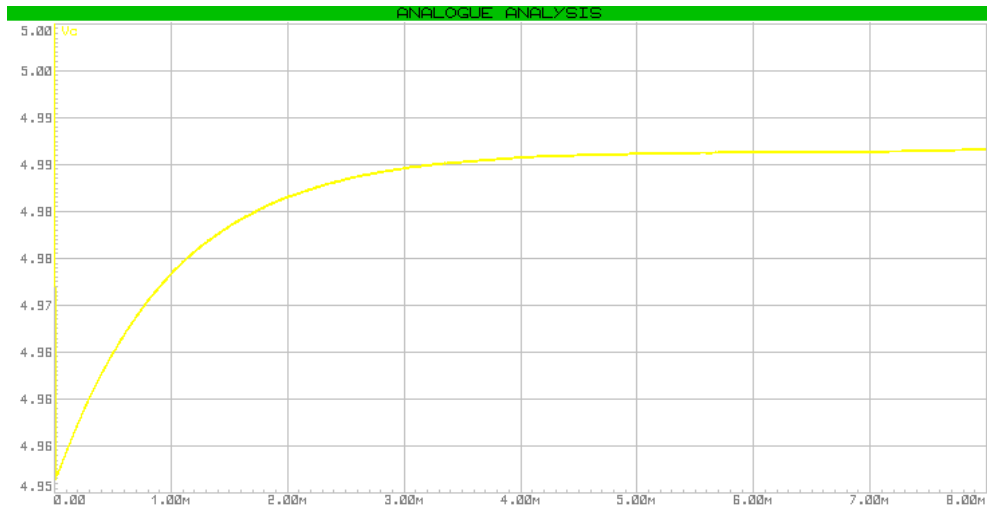
La salida termina estabilizándose en un valor de 2.5V a una frecuencia de 5 MHz, con un rizado sumamente pequeño, tal como se puede ver:



**Figura 37 – 3.** Filtro pasa bajos

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

Es necesario analizar el comportamiento de la señal de salida al duplicar la señal emitida por parte del oscilador, es decir una resonancia de 10MHz.



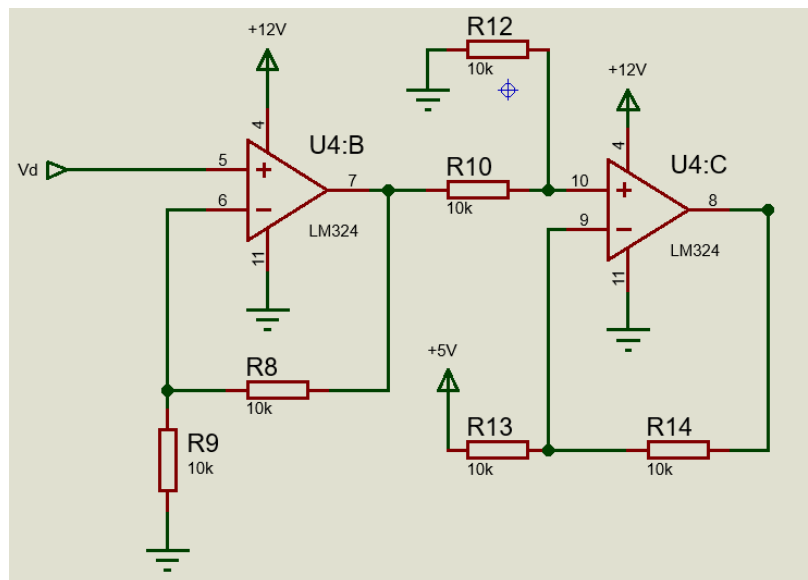
**Figura 38 – 3.** Señal de salida filtrada (5MHz)

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

A diferencia que, en el caso anterior, se produce una estabilización de la señal a un valor promedio DC de aproximadamente 5V. el rizado o perturbación de la señal sigue siendo totalmente imperceptible en el sistema por ende no afecta al comportamiento de mismo en ningún aspecto.

### 3.3.5 Ajuste de rango

Para lograr la nueva correspondencia antes mencionada es necesario un ajuste de rango en el valor del voltaje de salida del circuito, misma etapa que necesita la implementación de amplificadores operacionales debido a la facilidad que estos presentan en diversos aspectos.

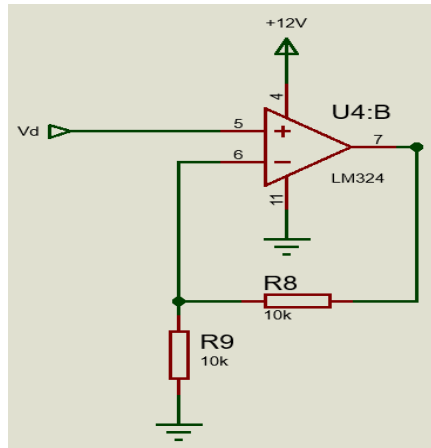


**Figura 39 – 3.** Diagrama de amplificadores operacionales

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021



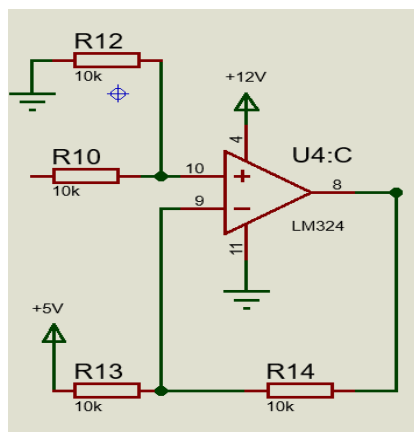
La figura anterior muestra el circuito de un amplificador operacional, su simbología es muy parecida al del comprador mostrado previamente, de hecho, la única diferencia con este es que no posee retroalimentación. En esta etapa se busca la correspondencia mencionada anteriormente, para lo cual necesario dividir al circuito en dos fases.



**Figura 40 – 3.** Fase de amplificación

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

En esta etapa el valor de la señal a la entrada es multiplicada por una ganancia de dos, teniendo así nuevos valores de correspondencia; al ingresar un valor de 2.5V a la salida muestra un valor de 5V, mientras que si la señal de ingreso fuese de 5V la salida reflejaría un valor de 10V. Todo lo contrario, sucede en la siguiente fase donde el valor de salida es disminuido.

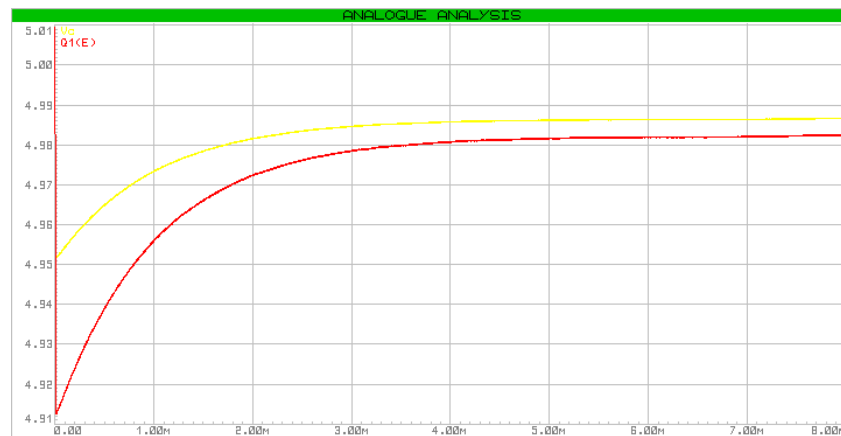


**Figura 41 – 3.** Fase de reducción

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

En esta fase denominada de reducción un valor constante es restado al valor de la señal de salida para formar la nueva correspondencia, este valor es de 5V; si de la etapa anterior salen 5V, al ser restados los 5V de manera constante la nueva correspondencia es de 0V mientras que si el valor a ingresar es de 10V, se le resta el valor constante la correspondencia es de 5V; de esta manera se forma la correspondencia de rango para el óptimo funcionamiento de sistema y punto óptimo de los componentes.

Cabe mencionar que en el bloque de amplificación de la señal, justamente a la salida el voltaje máximo que presenta es de aproximadamente de 10V, debido a la caída de voltaje que presenta este tipo de amplificadores; esto hace que la alimentación del amplificador operacional deba ser por lo menos igual o superior a este valor siendo así necesario una fuente de alimentación externa, en consideración con el mercado de 12V. Finalmente es propicio analizar el comportamiento de la señal de juste de rango en función de la señal de la obtención de valor DC mediante un análisis analógico.

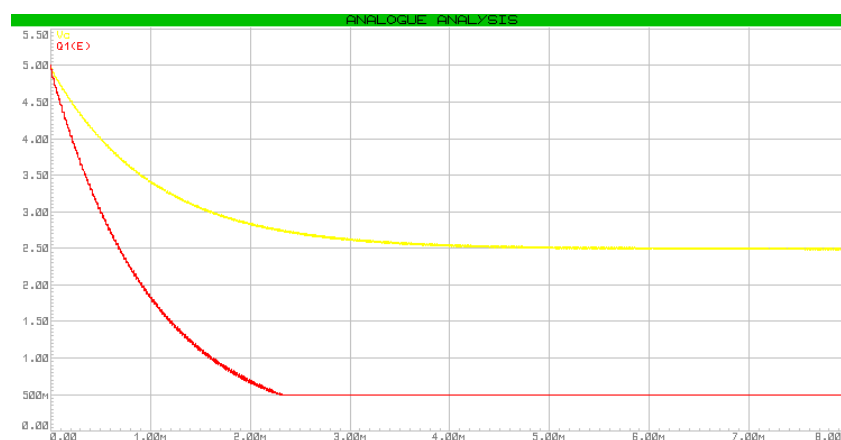


**Figura 42 – 3. Ajuste de rango (10MHz)**

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

El análisis muestra que la señal de juste (onda roja) difiere un poco de la señal de obtención de un valor DC (onda amarilla); sin embargo, ambas señales pese a dicho desfase tienden a estabilizarse a un valor promedio de 5V, siendo este valor completamente aceptable teniendo en cuenta el comportamiento del sistema a una frecuencia de 10MHz.

Se debe de analizar el comportamiento del sistema a una resonancia de 5MHz, tan y como se ha venido trabajando para evitar alguna complicación y verificar el correcto funcionamiento del circuito.



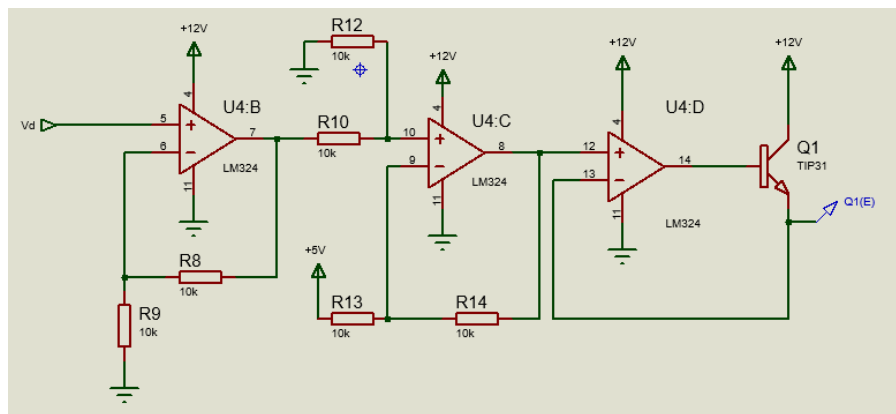
**Figura 43 – 3. Ajuste de rango (5MHz)**

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

A diferencia que en el caso anterior el desfase entre las dos ondas generadas es sumamente más notorio, siendo este un valor de 0.5V; la etapa de obtención de valor DC muestra un estado estacionario a un valor de 2.5V mientras que la etapa de salida bordea los 0V.

### 3.3.6 Ajuste de corriente en el sistema

El LED presenta un consumo de 500mA de lo que se ha podido conocer por datos técnicos provistos por el fabricante del equipo, si se alimenta el LED de forma directa a la salida de esta etapa los amplificadores operacionales se pueden quemar debido a que la salida de los mismos no soporta tal valor, dichos componentes soportan un amperaje oscilante entre 50mA a 100mA. Es necesario ajustar el valor de la corriente de manera tal que el amperaje a la salida de los amplificadores sea elevado, esto se lo puede realizar mediante la implementación de otro amplificador operacional y un transistor que pueda conducir la corriente requerida.



**Figura 44 – 3.** Ajuste de corriente

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

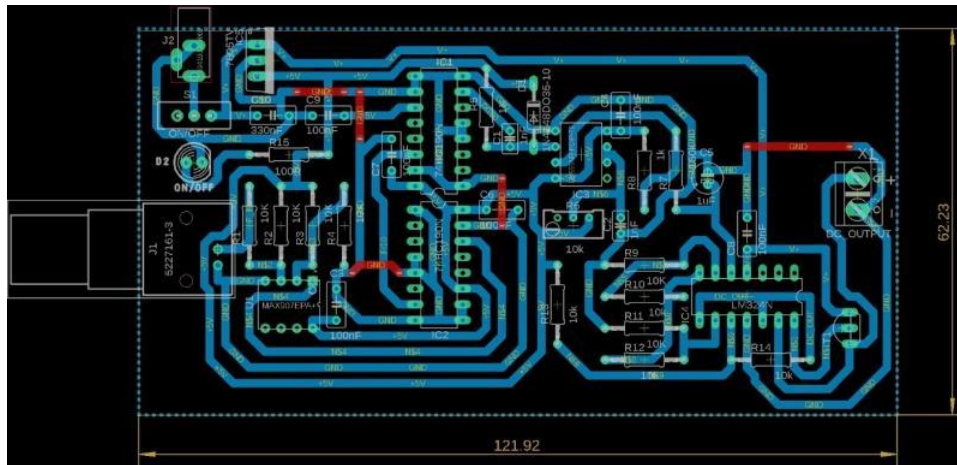
El circuito anterior muestra la incorporación de un nuevo amplificador operacional con una retroalimentación mediante un transistor apropiado para conducir determinada corriente, basa su principio de funcionamiento en el amplificador operacional que modifica la corriente de entrada al transistor, donde el colector que posee produce una corriente amplificada proporcional a la de ingreso para así poder mantener el valor del voltaje constante y garantizar el óptimo funcionamiento del LED.

### 3.4 Circuito Impreso

Una vez terminado el proceso de simulación de forma correcta, hay que considerar la placa para la implementación del circuito; si el circuito es armado en una *protoboard* se pueden presentar varios problemas, que pueden causar severas fallas en el funcionamiento, como por ejemplo que varios de los componentes electrónicos no se los pude conectar de manera adecuada debido a su peculiar formar y dimensiones; entre otra de las posibles fallas son lo que se conoce como capacidades o corrientes parasitas.

Lo ideal, y debido al grado de precisión que necesita el presente proyecto lo más adecuado es utilizar una *Printed Circuit Board* (PCB), o más conocido como circuito impreso; para utilizar un PCB, es necesario el diseño del mismo donde se controlen aspectos como posicionamiento de los componentes, distribución, estética y máximo rendimiento de los mismos.

De la misma forma que en el proceso de simulación, para el diseño del PCB, es necesario un software especializado en el diseño de este tipo de placas. En este presente proyecto, el diseño fue realizado en EAGLE, obteniendo lo siguiente:

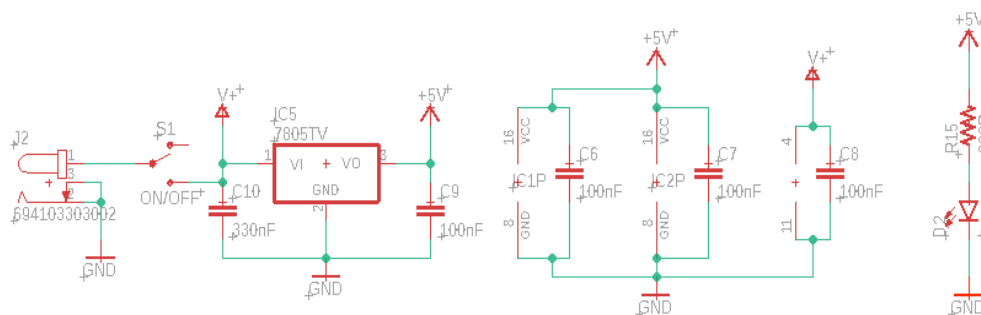


**Figura 45 – 3. PCB**

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

En el diseño de la PCB para un mejor análisis de la misma manera que en el proceso de simulación, así como en el proceso de selección de cada uno de los componentes se optó por un estudio por bloques del circuito general. El principio de funcionamiento, así como otros complementos poseen la misma explicación que en el proceso de simulación, razón por lo cual en la presente sección solo se nombraran características o componentes en específico o que necesiten menciones en particular.

### 3.4.1 Alimentación y encendido del circuito



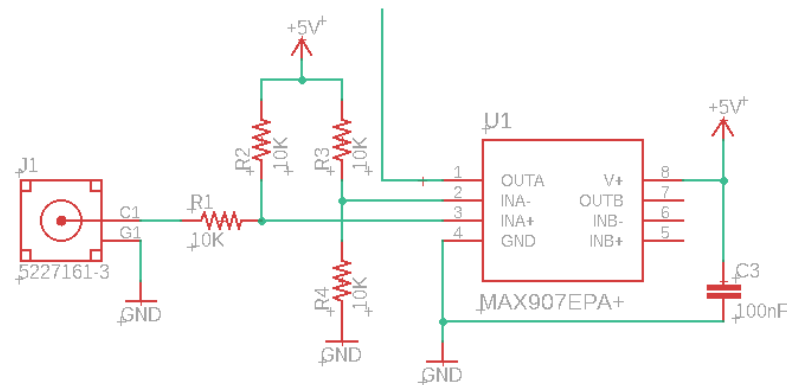
**Figura 46 – 3. Etapa de alimentación**

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

En este bloque se puede ver un regulador de voltaje además de un *JAC* donde el sistema recibe la alimentación externa por parte de la fuente de 12V, un *switch* para poner en funcionamiento el circuito y un foco LED mismo que se enciende cuando el circuito alcanza su punto óptimo de funcionamiento.

### 3.4.2 Conversión de onda senoidal a cuadrada

En este bloque de forma adicional a lo percibido en el proceso de simulación, se puede ver la implementación de un conector BNC (*Bayonet Neill-Concelman*) mismo que sirve para la conexión del cable coaxial que conduce la señal de frecuencia emitida por parte del oscilador.

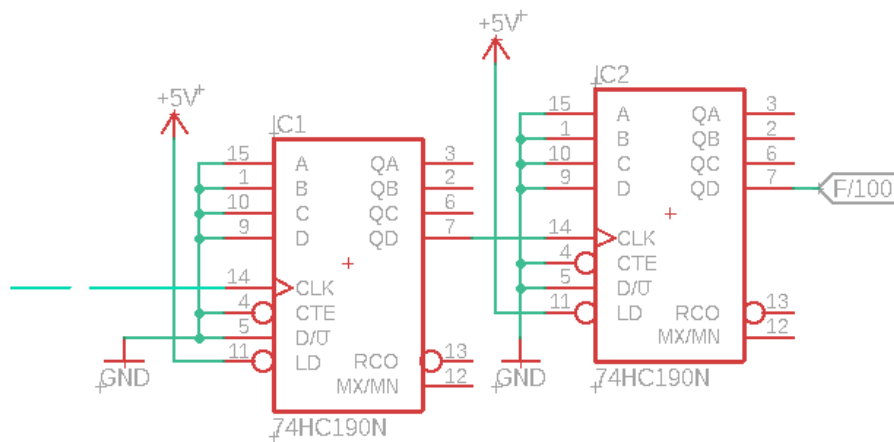


**Figura 47 – 3.** Conversión de onda

Fuente: Gusqui, Carlos; 2021

El condensador adicional sirve tan solo como *by-pass*, es decir sirve para eliminar la presencia de cualquier ruido eléctrico que pueda perturbar la alimentación del integrado. Al diseñar circuitos impresos, siempre es necesario incorporar un condensador a manera de regla general para evitar dificultades en el funcionamiento y siempre lo más cerca posible del integrado.

### 3.4.3 Reducción de frecuencia

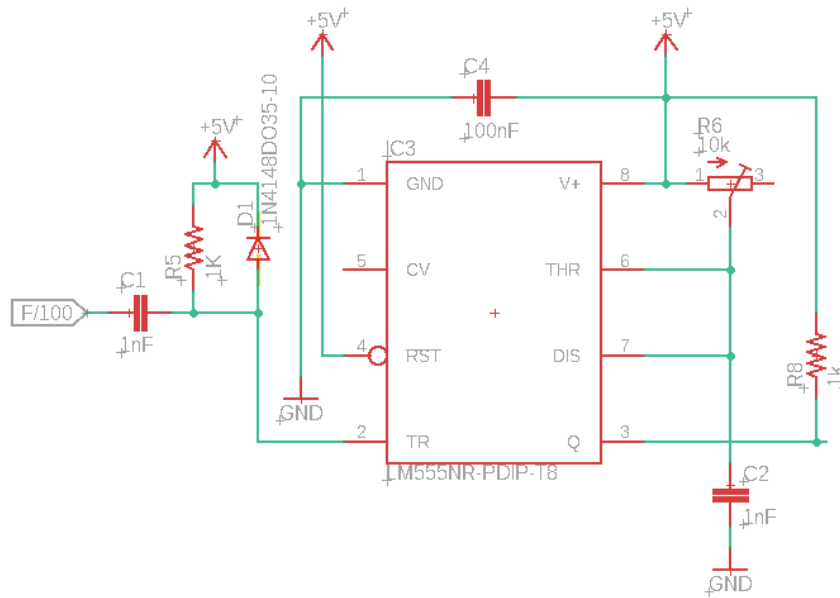


**Figura 48 – 3.** Reducción de frecuencia

Fuente: Gusqui, Carlos; 2021

Esta etapa posee dos condensadores de filtro de señal que cumplen con la función antes mencionada, cabe recalcar que por cada integrado debe haber un condensador. Este bloque no presenta anomalía alguna o la presencia de algún componente extra que deba ser explicado o necesite alguna modificación en el diagrama.

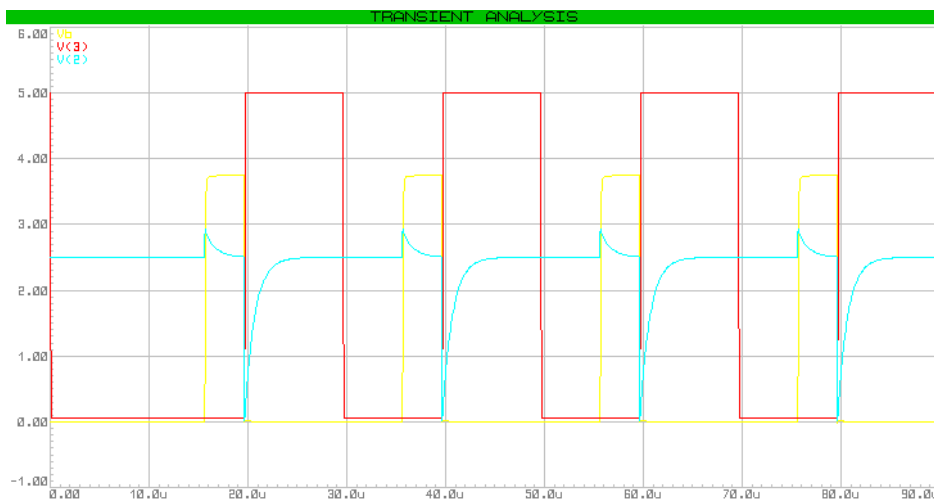
### 3.4.4 Multivibrador monoestable



**Figura 49 – 3.** Multivibrador monoestable

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

La razón de que en esta etapa se incorpore un potenciómetro en lugar de una resistencia es que en la practica el valor que toma la resistencia es variable lo que se conoce específicamente con el nombre de tolerancia; el potenciómetro se ajusta de acuerdo a la necesidad del sistema manteniendo así la forma de onda de la simulación con la resistencia.

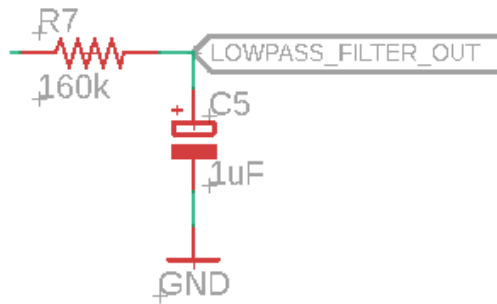


**Figura 50 – 3.** Análisis transitorio

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

A diferencia que el proceso de simulación, este análisis ya no es analógico sino se lo hace en carácter de transitorio con ayuda de un osciloscopio para poder analizar por completo el comportamiento que adquiere la onda. Se puede verificar el tiempo de bajada sumamente pequeño, así como la estabilización de un voltaje de 5V, dejando de lado duda alguna sobre la fiabilidad del potenciómetro.

### 3.4.5 Obtención del valor DC

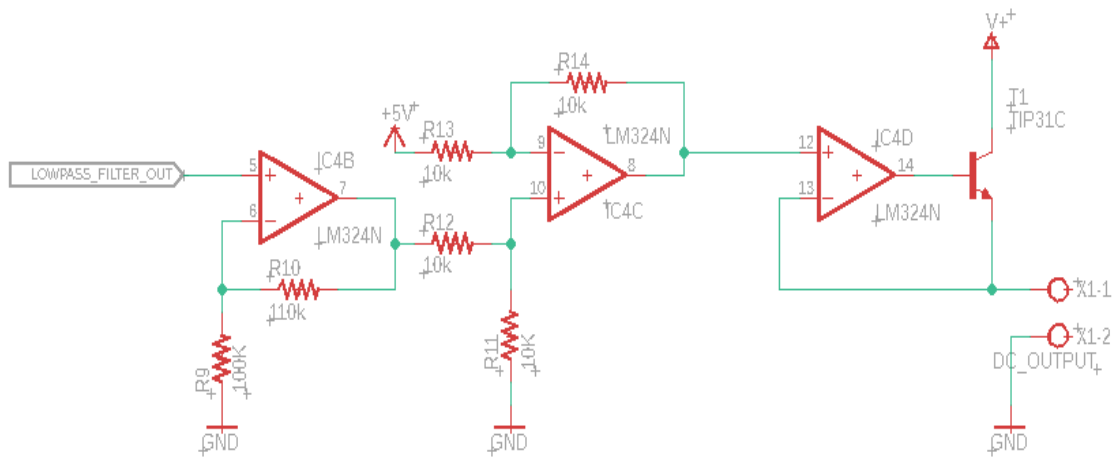


**Figura 51 – 3.** Filtro pasa bajos

Fuente: Gusqui, Carlos; 2021

El filtro pasa bajo no sufre modificación alguna o la implementación de algún nuevo componente por lo que no se hace necesaria mención o explicación alguna.

### 3.4.6 Ajuste de rango y corriente en el sistema



**Figura 52 – 3.** Ajuste de voltaje y corriente

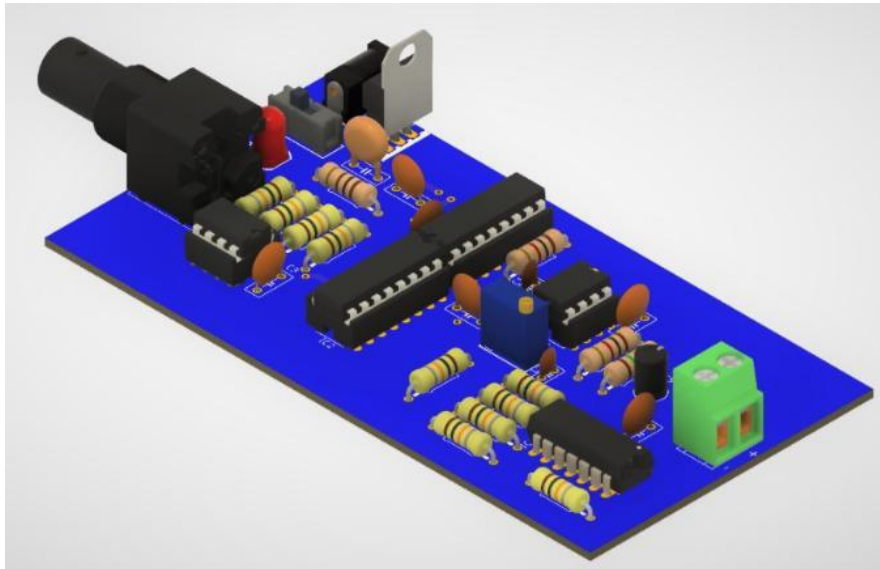
Fuente: Gusqui, Carlos; 2021

En este bloque el único componente que ha sido implementado es el conector de salida del circuito, que representa la bornera donde va a ser conectado el LED, con lo cual finaliza el diseño de la PCB.

### 3.5 Montaje del sistema

#### 3.5.1 Circuito para la conversión de frecuencia en estampas de tiempo

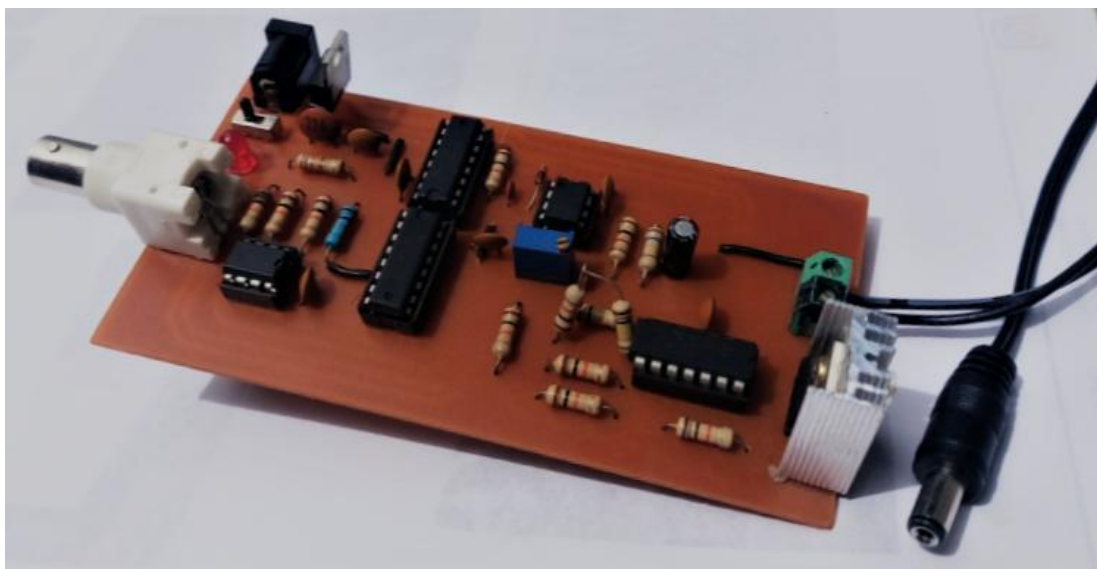
Una vez terminado el proceso de simulación y diseño del PCB, lo siguientes es ensamblar el circuito del sistema donde las señales de frecuencia son convertidas a voltaje o propiamente dichas, estampas de tiempo. En primera instancia para la fabricación y ensamble del circuito es necesario partir del siguiente esquema previo:



**Figura 53 – 3.** Circuito general del sistema

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

En base al esquema, con procesos de soldadura se fijan los diversos componentes del circuito respetando la distribución original dentro del mismo, para tener el siguiente resultado:

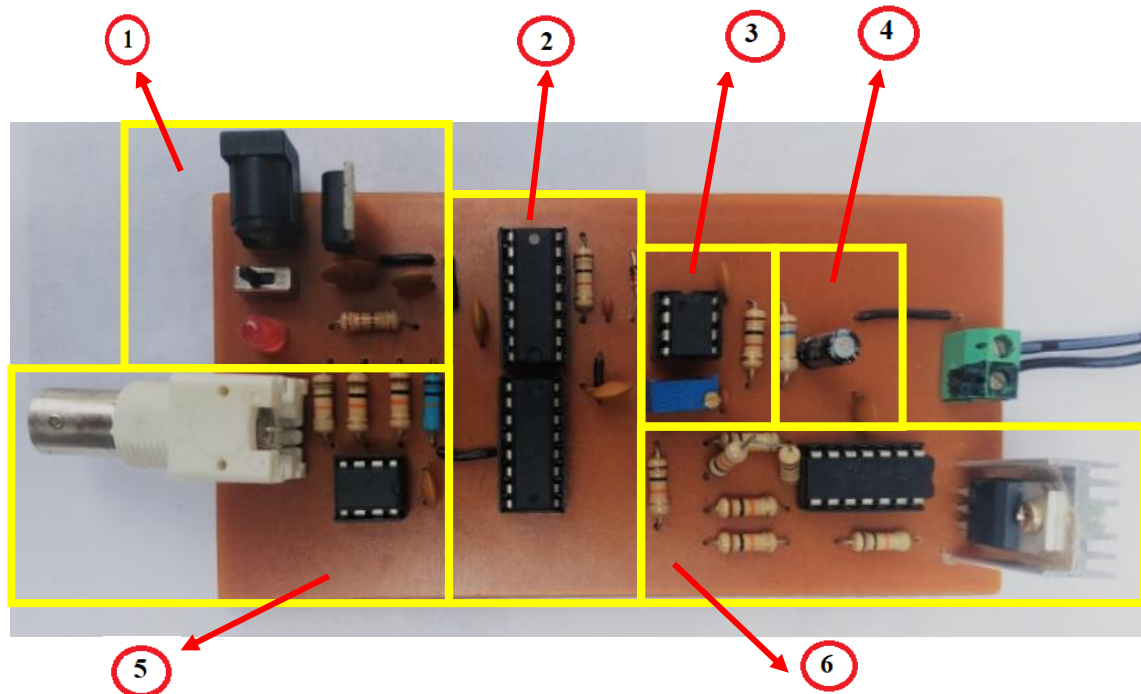


**Figura 54 – 3.** Circuito general del sistema

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021



Teniendo que cuenta que los diagramas de bloques, de circuitos y demás representan de forma correcta la distribución las etapas dentro del circuito general del sistema, para una mejor visualización e identificación en base a circuito ya fabricado y ensamblado, se realiza la identificación de cada una de los diversos bloques.



**Figura 55 – 3.** Circuito general del sistema (etapas)

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

Donde:

1. Etapa de alimentación
2. Reducción de frecuencia
3. Multivibrador monoestable
4. Obtención de valor DC
5. Conversión de onda senoidal a cuadrada
6. Ajuste de rango e incremento de corriente

### 3.5.2 *Oscilador de rubidio*

En secciones anteriores del presente documento se verifico el estado 100% funcional del oscilador, lo que deja solamente restante analizar el funcionamiento del mismo, así como la identificación de sus principales partes, o mencionar algunos aspectos de importancia.



**Figura 56 – 3.** Vista frontal y posterior de oscilador

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

En la vista frontal se puede observar los puertos de salida de la señal de frecuencia, así como luminaria que muestra el estado actual de oscilador. En la vista posterior muestra de la misma manera puertos de salida de señales de frecuencia además del puerto toma corriente. Para encender el oscilador, basta conectar el mismo a una fuente común de 110V.



**Figura 57 – 3.** Conexión a 110V del oscilador

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

Una vez encendido el oscilador, el mismo tarda un lapso de 12 a 15 minutos en estabilizarse; esta condición es evidente al observar toda la luminaria encendida.



**Figura 58 – 3.** Oscilador encendido

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

Una vez que el equipo alcanza su punto óptimo de funcionamiento muestra un solo LED encendido; alcanzar dicho punto de funcionamiento lo que procede es la manipulación de la señal de frecuencia emitida por parte del oscilador, este proceso se realiza con la implementación de cables coaxiales.



**Figura 59 – 3.** Oscilador en estado estable

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

### **3.5.3 Alimentación del circuito y conexión del LED**

Como se mencionó en el proceso de simulación es necesaria una fuente de alimentación externa de 12V para el funcionamiento del circuito.



**Figura 60 – 3.** Fuente de 12V

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

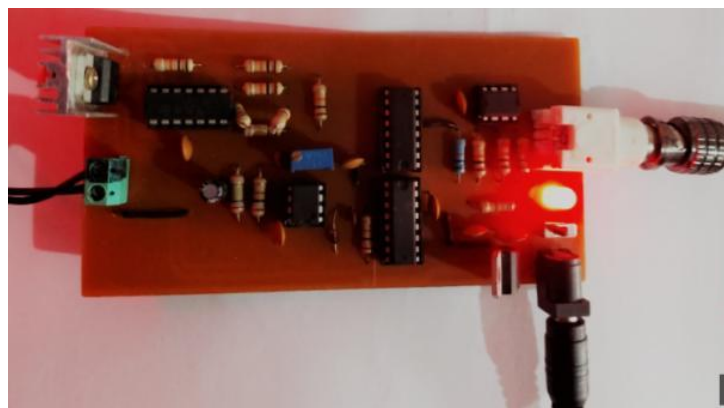
La fuente de poder de 12V que alimenta al circuito al igual que el oscilador, basta con conectarlas a una fuente común de 110V, tal como se muestra



**Figura 61 – 3.** Conexión a 110V

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

Una vez alimentado el circuito, lo consiguiente es suministrar la señal de frecuencia emitida por parte del oscilador para encenderlo y verificar su correcto funcionamiento.



**Figura 62 – 3.** Circuito general del sistema en funcionamiento

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

Finalmente, para comprobar el correcto funcionamiento del circuito, llega el momento de conectar a la salida el LED. Del equipo la principal ventaja que presenta es que debido a que es totalmente nuevo, se dispone de toda información requerida ya sea en la página de la empresa datos de placa.



**Figura 63 – 3.** Funcionamiento general del sistema

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

Del LED, la información disponible es la siguiente:

**Tabla 1 – 3:** Intervalos de tiempo

<b>Modelo JH-3615/JH-4622-4</b>
<b>AJUSTES</b>
Botón “A” (salir). Regresa al estado normal al LED Botón “B” (SET). Configura el modo actual del LED Botón “C” (avanzar). Variación numérica en el LED Botón “D” (resetear). Regresa el LED a sus configuraciones de fabrica
<b>CONFIGURACIÓN DE HORA Y FECHA</b>
Presionar el botón “B” para visualizar el parpadeo del año. Presionar el botón “C” para guardar la configuración. Presionar el botón “B” para visualizar la configuración del mes. Presionar el botón “C” para guardar la configuración. Presionar el botón “B” para visualizar la hora, ya sea 12 o 24 horas. Presionar el botón “C” para guardar la configuración. Presionar el botón “B” para guardar y regresar al modo normal las lecturas de tiempo. En cualquier modo, si se llega a presionar el botón “A” regresa al modo normal del LED.
<b>PRECAUCIONES</b>
Si la pantalla o los dígitos no se ven claramente, presionar el botón “D” para regresar a sus configuraciones de fábrica. Durante el proceso de ajuste, si transcurren más de 60 segundos sin presionar algún botón, el LED automáticamente guarda los cambios y regresa al modo normal. Precautelar el manejo del LED por personal autorizado
<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS</b>
Voltaje de entrada: 5V Frecuencia: 50/60 Hz Amperaje: 500mA

**Fuente:** Autor

**Realizador por:** Gusqui, Carlos; 2021

### 3.6 Normativa

Como se mencionó en el capítulo dos, en la sección 2.11 del presente documento, haciendo referencia a la norma ISO 17025, uno de los aspectos vitales para la calibración; no solamente de instrumentos de tiempo, sino de todo instrumento de medida en general, son las condiciones físicas a las cuales se realiza el proceso de medida y/o calibración.

En el laboratorio de Tiempo y Frecuencia de Ejército Ecuatoriano, realiza los procesos de calibración, bajo unas condiciones controladas estrictamente, siendo principalmente, la temperatura ambiental dentro del laboratorio y la humedad relativa; estas características son controladas mediante un termohigrómetro, como se puede observar en la siguiente figura.



**Figura 64 – 3.** Termohigrómetro

Fuente: Gusqui, Carlos; 2021

Así pues, de la misma manera en el presente proyecto, contemplando lo estipulado en la normativa, también se consideró el aspecto tanto de humedad y temperatura dentro del laboratorio de metrología de la facultad, por lo que, a emulación del laboratorio de las Fuerzas Armadas Ecuatorianas, se controlarían estos valores mediante un termohigrómetro de termocupla.



**Figura 65 – 3.** Termohigrómetro

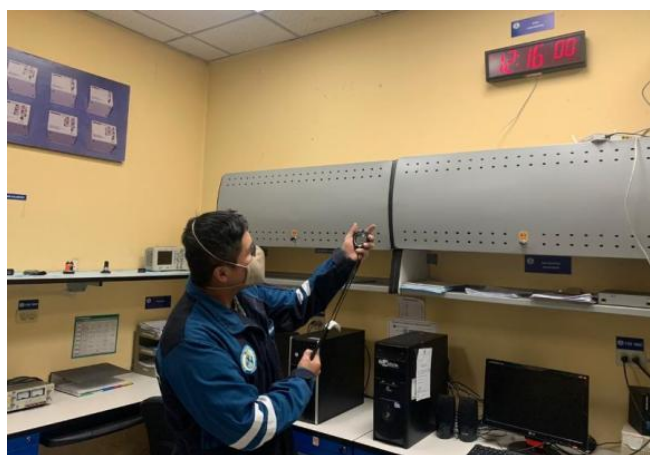
Fuente: Gusqui, Carlos; 2021

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1 Método de calibración

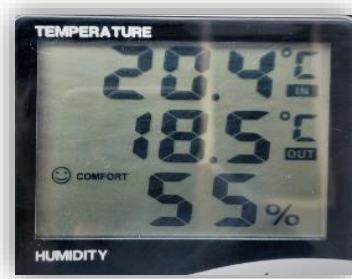
Antes de realizar cualquier prueba de funcionamiento del sistema, necesario tener claro cuál es el método de calibración a cual está enfocado el presente proyecto; en vista que el oscilador y demás equipos están bajo el sistema patrón del Laboratorio de Tiempo y Frecuencia del Ejército Ecuatoriano, en la ciudad de Quito; de manera lógica y consecuente, lo más recomendable es realizar el método que dicho instituto práctica, que en este caso es el método de calibración directa, mismo que fue descrito de manera precisa en el capítulo 2 en la sección 2.3.1.



**Figura 1 – 4.** Método de calibración directa (FF. AA)

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

Indiferentemente del método de calibración a utilizar, es importante controlar las variables físicas que implica un correcto proceso de calibración y toma de lectura de tiempo, tal como indica la normativa antes expuesta. Siendo el sexto día del primer mes del año en curso, las condiciones físicas en el actual proceso de calibración marcadas por el termohigrómetro corresponden a los siguientes valores:



**Figura 4 – 2.** Temperatura y humedad

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

## 4.2 Validación del sistema patrón internacional

Una vez verificado el correcto funcionamiento del sistema por completo, un punto de equilibrio óptimo al 100% para validar las lecturas de tiempo visualizadas en el LED es necesario corroborar la veracidad del sistema patrón. En este caso el sistema patrón viene dado por el Laboratorio de Tiempo y Frecuencia del Ejército Nacional Ecuatoriano ubicado en la capital de la República, mismo que a su vez se rige a patrones del NIST; dicho laboratorio cuenta con una credibilidad total debido a que el mismo consta en la red americana de tiempo y frecuencia.

**SIM NTP Server Comparisons**  
(time differences for the 10-minute period ending on 01-01-2021 at 04:20:00 UTC)

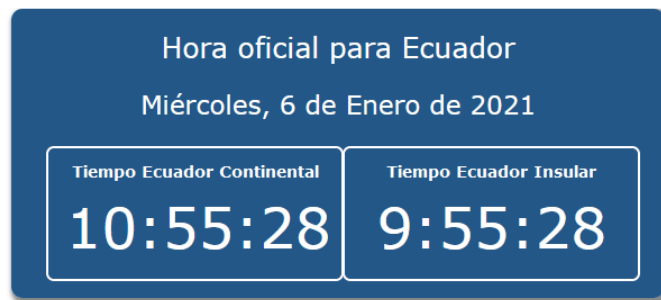
		NIST	NRC	ICE	INM	ONRJ-1	CENAM	IBMET	CNMEP	INACAL	INDOCAL	CMEE	CIM	INTI	CNDM
	United States		3.3	-8.9	1.4	3.7	1.3		-11.7	10.3	2.8	-10.8	-2.5	0.7	-0.9
	Canada	-3.3		-12.3	-1.9	0.4	-2.0		-15.0	7.0	-8.5	-14.1	-5.8	-2.6	-4.2
	Costa Rica	8.9	12.3		10.4	12.7	10.2		-2.8	19.3	11.7	-1.9	6.4	9.6	8.1
	Colombia	-1.4	1.9	-10.4		2.3	-0.1		-13.2	8.9	1.4	-12.3	-3.9	-0.8	-2.3
	Brazil	-3.7	-0.4	-12.7	-2.3		-2.4		-15.5	6.6	-1.0	-14.6	-4.3	-3.1	-4.5
	Mexico	-1.3	2.0	-10.2	0.1	2.4			-13.0	9.0	1.5	-12.1	-3.8	-0.6	-2.2
	Bolivia														
	Panama	11.7	15.0	2.8	13.2	15.5	13.0			22.0	14.5	0.9	9.2	12.4	10.8
	Peru	-10.3	-7.0	-19.3	-8.9	-4.6	-9.0		-22.0		-7.5	-21.1	-12.8	-9.6	-11.2
	Dominican Rep.	-2.8	0.5	-11.7	-1.4	1.0	-1.5		-14.5	7.5		-13.6	-5.3	-2.1	-3.7
	Ecuador	10.8	14.1	1.9	12.3	14.6	12.1		-9.9	21.1	13.6		8.3	11.5	9.9
	El Salvador	2.5	5.8	-4.4	3.9	6.3	3.8		-9.2	12.8	5.3	-4.3		3.2	1.6
	Argentina	-0.7	2.6	-8.6	0.8	3.1	0.6		-12.4	9.6	2.1	-11.5	-3.2		-1.6
	Guatemala	0.9	4.2	-8.1	2.3	4.8	2.2		-10.8	11.2	3.7	-9.9	-1.6	1.6	

This table was created at 01-01-2021 (MDJ 59215) 04:29:04 UTC and will refresh every five minutes. Values are in milliseconds, time differences > 50 ms are marked in red.  
Click on a server name or country name to graph the time difference between the server and SIM(NIST). Click on a number to graph the time difference between two servers.

**Figura 2 – 4.** Red americana de tiempo y frecuencia

Fuente: (NIST 2021)

Una vez verificado el sistema patrón, las lecturas de tiempo que muestra el mismo son totalmente validas y de total fiabilidad, por lo que en la fecha antes indica y la hora a nivel nacional es el proceso de calibración es la siguiente:



**Figura 3 – 4.** Hora continental

Fuente:(CMEE 2021)



Por su parte el sistema implementado en base al oscilador de rubidio, después de un proceso de sincronización, se coordina con la hora continental, para así estar en su punto óptimo de funcionamiento para poder realizar las respectivas pruebas de calibración.



**Figura 4 – 4.** Hora continental

Fuente: Gusqui, Carlos; 2021

### 4.3 Sistema patrón secundario

Al igual que el sistema patrón internacional la valía del oscilador debe ser verificada. Así como los laboratorios de cada país constan dentro de red del NIST, de igual manera lo hacen los osciladores, pero de forma diferente y singular debido a que cada país posee un oscilador de diferente material base y configurado de diferente manera. Lo recientemente mencionado se puede ver en el siguiente mapa:



**Figura 5 – 4.** Mapa continental de los osciladores

Fuente: (NIST 2021)

Como se puede ver claramente en el mapa cada país cuenta con un oscilador, más claramente se puede notar que son de diferente material base, los osciladores representados de color verde son en base a rubidio, los representados colores blanco son en base a cesio, estos últimos contribuyen de forma directa a la hora universal coordinada UTC. En países como el Ecuador, representados con el color verde, son osciladores de rubidio, pero están configurados a forma de antena GPS.

Aunque el oscilador utilizado para el presente proyecto no es el que consta dentro del mapa continental, hace un determinado tiempo lo hacía y aún mantiene esas configuraciones iniciales por lo que se garantiza que parámetros como valores de resonancia y entre los más importantes que sale a resaltar como lo es la desviación de Allan, cumplen con los parámetros establecidos por la normativa vigente.

#### 4.4 Pruebas de funcionamiento

Una vez verificados los parámetros antes expuestos, se comienza a la toma de lecturas de tiempo para proceder al proceso de calibración, en base a lo que dice la normativa es necesario realizar un mínimo de lecturas para dicho proceso cumpla con un criterio de aceptación. Para el presente proyecto se consideró un mínimo de 10 lecturas para poder validar el proceso en todo su desarrollo.

A mejor criterio, considerando lo que dice la norma ISO y en emulación de lo que se hace en el laboratorio de las FF. AA, lo más recomendable en el proceso de calibración, es realizar la toma de medida por rangos de parámetro, o lo que se lo conoce de manera más simple, intervalos de tiempo.

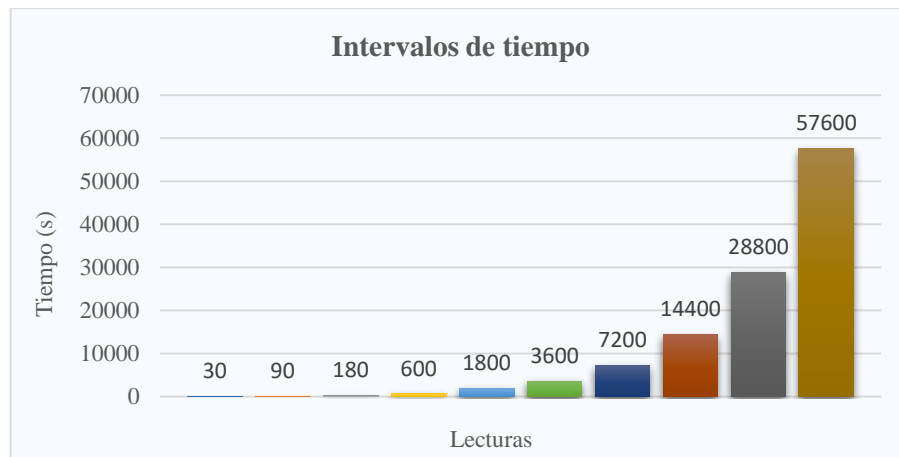
**Tabla 1 – 3:** Intervalos de tiempo

Nº. Lectura	Parámetro Rango (s)
1	0-30
2	0-60
3	0-100
4	0-150
5	0-180
6	0-600
7	0-1800
8	0-3600
9	0-7200
10	0-14400

**Fuente:** Autor

**Realizador por:** Gusqui, Carlos; 2021

La ventaja de tomar las lecturas por intervalos de tiempos es que, a mayor número de intervalos, existe una mayor confiabilidad del proceso y se encaja de mejor manera con el criterio de aceptación. A medida que el OBT (observador técnico), realiza las lecturas puede ver como las mismas van variando ya sea de forma mínima, como en el caso de la quinta lectura, o de una forma más notoria como en la última lectura. Para una mejor visualización del incremento de tiempo es recomendable plasmar dichos parámetros en un gráfico:



**Gráfico 1 – 4. Intervalos de tiempos**

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

Definidos tanto sistema patrón, así como los rangos de intervalos de tiempos se procede a la toma de mediciones y por ende el proceso de calibración de un cronómetro de determinadas características, por el método ya expuesto; en cuanto a la información del cronómetro, la misma constara dentro del certificado de calibración.



**Figura 6 – 4. Cronómetro**




**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

Una vez realizadas las lecturas, se procede a una parte elemental del presente proyecto que es la validación de dichas lecturas; una vez conocidos y establecidos de forma clara y concisa los conceptos de error e incertidumbre, la determinación de cada uno, así como el valor que muestren, determinará la validación y se podrá ejercer un criterio de aceptación o a su vez de rechazo. Se procede a tabular cada una de las lecturas obtenidas.

#### **4.5 Certificado de calibración**

En todo proceso de calibración como se mencionó en el capítulo dos debe de existir la respectiva documentación donde conste todo aspecto y condiciones del equipo durante todo el proceso. Esta documentación se resume en la emisión de un certificado de calibración, cuyo formato varia principalmente dependiendo de la entidad que lo emite. Para el presente proyecto se emite el siguiente formato de certificado, donde conta toda información de carácter vital para poder emitir un criterio ya sea de aceptación o rechazo.

**Tabla 1 – 3:** Intervalos de tiempo

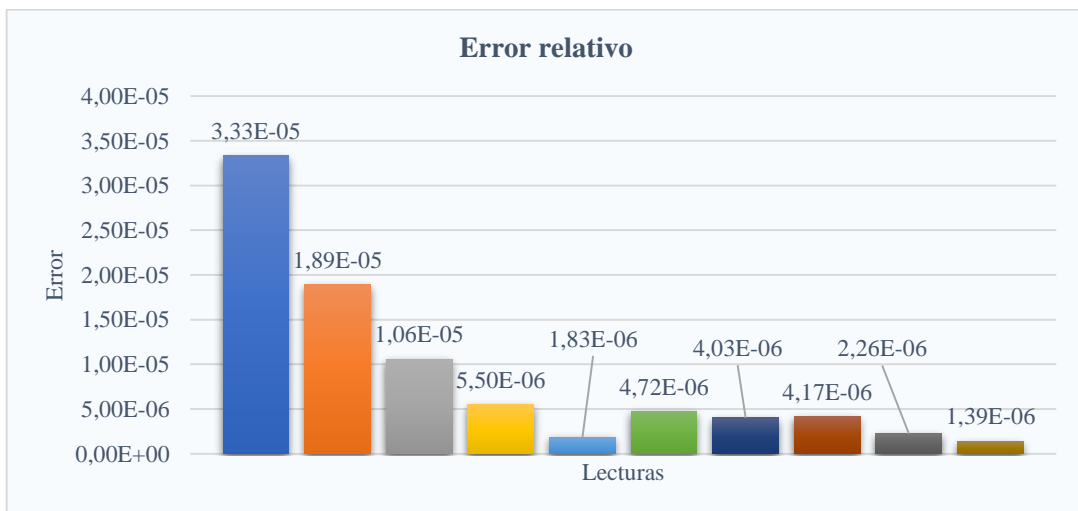
						
<b>CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN</b>						
<b>IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE</b>						
<b>Empresa:</b> ESPOCH			<b>Correo:</b> carlosl.gusqui@esPOCH.edu.ec			
<b>Dirección:</b> Panamericana Sur km 1 1/2, Riobamba-Ecuador			<b>Certificado No:</b> 01			
<b>Magnitud:</b> Tiempo						
<b>IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO</b>						
<b>Equipo:</b> Cronómetro			<b>Certificación:</b> ISO9001: 2000			
<b>Marca:</b> CASIO			<b>Código:</b> 1236-4			
<b>Modelo:</b> HS-80TW			<b>Resolución:</b> 1/1000 segundos			
<b>Serie:</b> S/N			<b>Rango:</b> 9 horas 59 minutos y 59,999 Segundos			
<b>PATRONES UTILIZADOS</b>						
<b>Código</b>	<b>Elemento</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Serie</b>	<b>Fecha Cal.</b>	<b>Prox. Cal.</b>
9533	Rubidio	Efratom	UES-294-1	103715-001	2020-01-06	N/N
<b>CALIBRACIÓN</b>						
<b>MÉTODO:</b>		COMPARACIÓN DIRECTA CON CALIBRADOR				
<b>LUGAR DE CALIBRACIÓN:</b>		ESPOCH-FAC. MECÁNICA-LABORATORIO DE METROLOGÍA				
<b>CONDICIONES AMBIENTALES</b>		<i>Temperatura (*C): 21.4</i>		<b>Unidad de Medida</b>		
		<i>Humedad (%HR): 52</i>		S.I_Segundos (s)		
			<b>Error</b>		<b>Incertidumbre</b>	
<b>Nº. Lectura</b>	<b>Lectura Patrón</b>	<b>Lectura del Equipo</b>	<b>Relativo</b>	<b>Porcentual</b>		
1	30	30,0010	3,33E-05	0,3333%	0,0024	
2	90	90,0017	1,89E-05	0,1889%	0,0041	
3	180	180,0019	1,06E-05	0,1056%	0,0070	
4	600	600,0033	5,50E-06	0,0550%	0,0080	
5	1800	1800,0033	1,83E-06	0,0183%	0,0200	
6	3600	3600,0170	4,72E-06	0,0472%	0,0300	
7	7200	7200,0290	4,03E-06	0,0403%	0,0490	
8	14400	14400,0600	4,17E-06	0,0417%	0,1000	
9	28800	28800,0650	2,26E-06	0,0226%	0,1576	
10	57600	57600,0800	1,39E-06	0,0139%	0,1939	

<b>OBSERVACIONES</b>	
El presente proceso de calibración de instrumentos de tiempos contempla incertidumbre de tipo A, según lo expuesto en la sección 2.10. La evaluación de la incertidumbre del presente documento fue realizada en base a la guía GUM; para determinar la presente incertidumbre se contempla un valor igual a 2 en lo que es el factor de cobertura, para una distribución del tipo t-student, con una consideración, que los grados de libertad ( $V_{eff}$ ), tienden al infinito, teniendo así aproximadamente un 95.5% en la probabilidad de cobertura. La presente guía, tipo certificado de calibración, es de carácter exclusivo al instrumento que hace referencia. Finalmente, tanto como error e incertidumbre cumple con las condiciones establecidas en la norma.	
<b>Calibrador:</b> Autor	
<b>Fecha de calibración:</b> 2020-01-06	
<b>AUTORIZADO POR:</b>	<b>RECIBIDO POR:</b>
OBT.	
RESPONSABLE TECNICO - CLIENTE	

**Fuente:** Autor

**Realizador por:** Gusqui, Carlos; 2021

El análisis de cálculo en el certificado comienza con la determinación del error relativo en cada una de las lecturas de tiempo, es muy importante proseguir con el cálculo ya que el error relativo si bien es cierto muestra valores concretos, dichos valores no muestran un sustento suficientemente sólido para poder emitir un criterio ya sea de aceptación o no. En base a este error solamente se puede observar cual medida tiene mayor discrepancia en base a la lectura del sistema patrón, un sustento a esta aseveración es el siguiente grafico donde se puede analizar el comportamiento del error a lo largo del proceso.

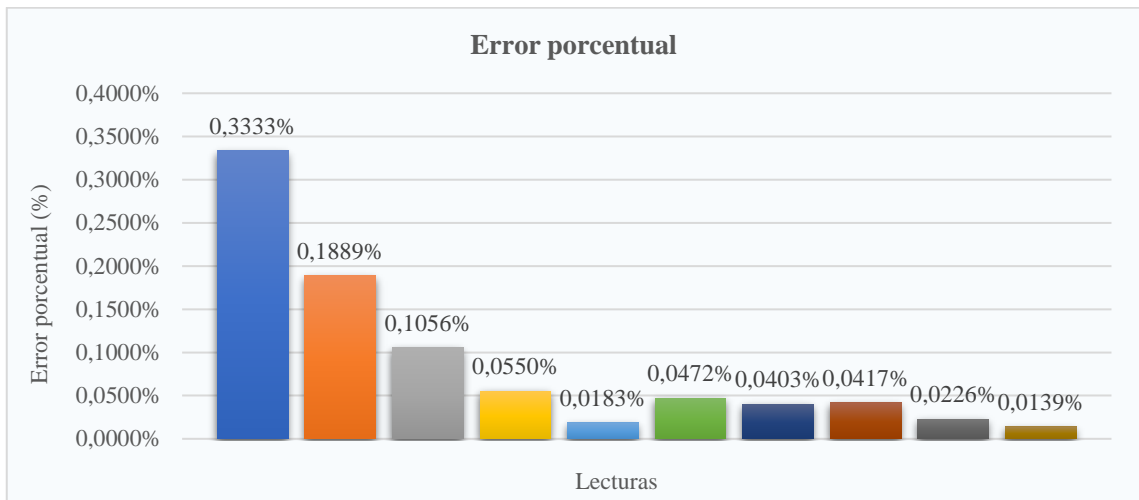


**Gráfico 2 - 4 .** Error relativo

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

El error relativo es el preámbulo del cálculo del error porcentual, dicho error a diferencia del anterior es de vital importancia y de suma ayuda ya que el mismo determina de manera explícita en qué medida se cometió el mayor error en el proceso de calibración y de no estar bajo lo citado

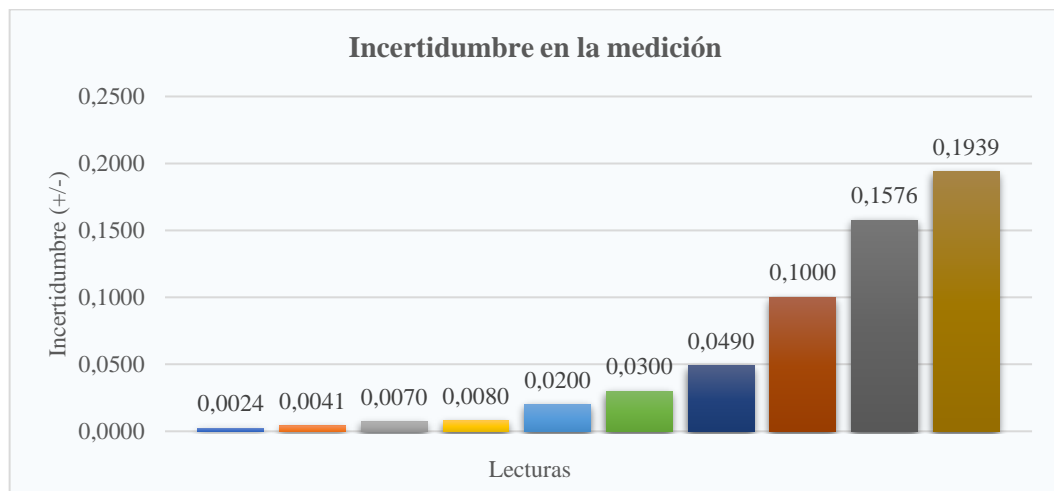
en la normativa dicha medida debe de ser eliminada o a su vez verificada. El error porcentual durante el proceso muestra el siguiente comportamiento:



**Gráfico 3 - 4.** Error porcentual

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

Finalmente, determinado el valor de los errores en cada una de las lecturas, se determina la incertidumbre que estas presentan para así terminar emitiendo un criterio de aceptación o rechazo y sentenciando la fiabilidad del cronómetro para determinadas aplicaciones. La incertidumbre presenta el siguiente comportamiento dentro del proceso.



**Gráfico 4 - 4.** Incertidumbre de la medición

**Fuente:** Gusqui, Carlos; 2021

## CONCLUSIONES

Después de un correcto proceso de simulación, así como de selección de los diversos componentes electrónicos, el circuito del sistema alcanzo su punto óptimo de funcionamiento sin presentar anomalía alguna durante el proceso de calibración o montaje del sistema. El oscilador de rubidio que es considerado equipo de carácter vital en el banco de calibración, a pesar de que el mismo se encontraba fuera de servicio, funciona de forma correcta dentro de los rangos establecidos y normativa competente desatacando que valores críticos como la desviación o varianza de Allan cumplen con los valores normados.

Para un mejor análisis durante el proceso de calibración, los intervalos de tiempo en cada lectura fueron aumentados de forma proporcional en cada intervalo, estos evidencio el comportamiento singular en cada uno de los análisis posteriores; en lo que confiere al análisis de error relativo la curva del comportamiento muestra un sesgo hacia la izquierda, mientras que el comportamiento del error porcentual así como el de la incertidumbre muestran sesgos hacia la izquierda y derecha respectivamente.

El error relativo muestra el mayor valor en la primera medición, exactamente un valor de  $3.33 \times 10^{-5}$  mientras que en contraste el valor inferior es hallado en la quinta lectura, siendo un valor de  $1.83 \times 10^{-6}$ . El error porcentual que es el que nos da el criterio de aceptación o rechazo muestra el mayor valor en la primera lectura, concretamente de 0.33% mientras que el valor mínimo es hallado en la última lectura, correspondiéndole un valor de 0.0139%; en ninguna de las lecturas el valor porcentual supera el 10%, valor al cual es rechazo totalmente un proceso y más cuando se trata de calibración, según lo estipulado por la normativa concerniente, así se da por aceptado en tu totalidad el presente proceso de calibración certificado el correcto funcionamiento de cronómetro para determinadas aplicaciones en base las estampas de tiempo emitidas por el oscilador.

La incertidumbre durante el proceso de calibración, muestra su pico en la última lectura siendo esta la de mayor confiabilidad por la magnitud del error porcentual cometido en la misma; este pico hace referencia a la dimensión del intervalo de tiempo, al ser esta tan grande en referencia a las demás, jugando así un papel importante error los sistemáticos o aleatorios durante el proceso en general.



## **RECOMENDACIONES**

Teniendo en cuenta que el presente proyecto se divide si en dos aspectos, un en el ámbito electrónico el cual analiza netamente las señales de frecuencia emitidas por parte del oscilador las cuales se transforman a voltaje, el ámbito de principal enfoque es y será el del campo metrológico que estudia las lecturas de tiempo analizadas como estampas del mismo propiamente dicho.

Es de suma importancia tener en cuenta que el oscilador presenta ya un tiempo de vida útil determinado por lo cual su funcionamiento no debe de ser forzado en ninguna situación, además de que su manipulación conjuntamente con la del circuito que manipula las señales de frecuencia debe ser por personal con criterio tanto en el ámbito electrónico como metrológico.

De ser necesario, el proceso de simulación del circuito debe ser realizado con diversos componentes, con la finalidad de garantizar el punto óptimo de funcionamiento del sistema. Además, valores tanto de amperaje como voltaje deben ser contralados y verificados las veces que sean necesarias para preservar la vida de cada componente teniendo como principal prioridad siempre el oscilador.

Tener en cuenta la influencia de los diversos tipos de errores como sistemáticos o aleatorios, así como las condiciones físicas antes, durante y después del proceso de calibración. Una vez terminado el proceso el certificado de calibración debe ser llenado y emitido con la veracidad del caso para así evitar cualquier anomalía futura en el comportamiento del equipo a calibrar.

## GLOSARIO

**VIM:** VIM, conocido por sus siglas como Vocabulario Internacional de Metrología; es conocido como un diccionario, que contiene tanto conceptos como denominaciones y definiciones, netamente en el campo de metrología; haciendo énfasis en unidades de medida, incertidumbres, equipos y demás (MOLINA CASTRO, 2016, p. 33).

**Magnitud:** Se puede hacer referencia a las dimensiones que posee un cuerpo. En palabras simples se pueda llegar a definir como magnitud a toda cualidad ya sea de un objeto, fenómeno, capaz de ser expresado numéricamente una vez medido (MOLINA CASTRO, 2016, p. 15) .

**Medida:** Una vez realizado el proceso de medición a una cantidad desconocida, en base a un parámetro de la misma magnitud es elegida por unidad, unidad de medida (MOLINA CASTRO, 2016, p. 16).

**Unidad de medida:** Es una magnitud del tipo escalar, que por lo general siempre viene bien definida. Mediante una cifra numérica puede expresar la relación entre dos magnitudes de la misma naturaleza (MOLINA CASTRO, 2016, p. 32).

**Proceso de medida:** Hace referencia a una descripción con lujo de detalle de un proceso de medición conforme a normas o procedimientos establecidos. En base a un modelo y cálculos necesarios se obtiene el resultado de este proceso (MOLINA CASTRO, 2016, p. 35).

**Mensurando:** Se entiende por el termino de mensurando a una magnitud cualquiera que sea esta, sujeta a un proceso de medición (PARF 2002, p. 15).

**Calibración industrial:** Se puede definir a la calibración como las diversas acciones u operaciones, que bajo determinadas condiciones; logran establecer una relación entre el valor medido e indicado por un instrumento con valores referenciales de la magnitud dimensionada bajo un sistema patrón (PARF 2002, p. 11).

**Precisión y Exactitud:** Se entiende por exactitud a la aproximación de un determinado valor medido al valor real, propiamente dicho. Por otra parte, al hablar de precisión, se entiende que la misma viene establecida por dos características fundamentales, la conformidad del usuario y la cantidad de cifras significativas que se visualizan. En otras palabras, la precisión, no es sino el distanciamiento entre los diferentes valores obtenidos en una cantidad establecida de mediciones (SALAZAR 1995, p. 22).

**Resolución de un instrumento:** Propiedad exclusiva del diseño mismo de un instrumento. Se caracteriza por ser una unidad mínima susceptible a ser leída. Representa la variación, por mínima que sea, que experimenta la magnitud sujeta al proceso de medición (MOLINA CASTRO, 2016, p. 43)

**Cifras significativas:** No son sino la forma en la que se proporcionan datos sobre la magnitud y la precisión con las que fueron realizadas las diferentes mediciones de un determinado proceso. A más cifras significativas tenga una lectura, proporcional es el aumento de la precisión en la medición (SALAZAR 1995, p. 24).

**Estabilidad:** Se entiende por estabilidad de un cronómetro o cualquier otro instrumento, a la capacidad o habilidad del mismo para poder mantener sus condiciones metrológicas en función al paso del tiempo. Haciendo énfasis a instrumentos de tiempos, se entiende que la estabilidad de los mismos se ve reflejada en generar diversos lapsos o intervalos de tiempo constante (PÉREZ 2008, p. 58).

**Escala:** Consiste en una distribución organizada de marcas, que a su vez están acompañadas de cifras, que representas y facilitan los valores que puede llegar a adquirir un instrumento de medida (MOLINA CASTRO, 2016, P. 43).

**Calificación:** Procedimiento por el cual se asegurar el cumplimiento y la total disponibilidad de un instrumento, para así cumplir con las condiciones de diseño y garantizar su correcto funcionamiento (PARF 2002, p. 13).

**Sensibilidad de un instrumento:** Entre menor sea la sensibilidad de un instrumento, menor sea la magnitud posible a medir. El termino sensibilidad hace referencia a la velocidad de respuesta de un instrumento de medida respecto al estímulo (PARF 2002, p. 18).

**Corrección:** Se entiende por corrección al valor agregado de forma algebraica al resultado en bruto de una medida con la finalidad de compensación al error sistemático y así aproximar el valor observado lo más posible al valor esperado o emitido por el sistema patrón (PARF 2002, p. 26).

**Network Time Protocol (NTP):** Es la implementación de un software con la finalidad de la sincronización de relojes atómicos o internos, sobre una red conmutativa, de latencia incierta (SALAZAR 1995, p. 22).

## **BIBLIOGRAFÍA**

**ARAYA, Mauricio.** Certificados de calibración en temperatura : su interpretación y correcto uso [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad de Santiago de Chile, Santiago - Chile. 2017. pp. 15 - 25. [Consulta: 10 julio 2020]. Disponible en: [http://cdn.hannachile.com/hannacdn/marketing/capacitacion/2017/08/Presentacion\\_CIDE-HANNA.pdf](http://cdn.hannachile.com/hannacdn/marketing/capacitacion/2017/08/Presentacion_CIDE-HANNA.pdf).

**BENÍTEZ CHÁVEZ, Roberto.** Una vez más: trazabilidad. Simposio de metrología [En línea] 2004. pp. 1-4. [Consulta: 11 febrero 2020]. Disponible en: <http://www.cenam.mx/calibracion/#Trazabilidad>.

**CALDAS, Electrónicos.** Circuitos integrados [En línea] 2020. [Consulta: 28 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.electronicoscaldas.com/es/circuitos-digitales-74hc-series/275-contador-bcd-por-decadas-74hc190.html>.

**CEM.** Evaluación de datos de medición – El papel de la incertidumbre de medida en la evaluación de la conformidad [En línea] 2012. España: JCGM. pp. 14 - 20. [Consulta: 10 julio 2020]. Disponible en: <https://www.cem.es/sites/default/files/jcgm2015.pdf>.

**CENAM.** Guía técnica sobre trazabilidad e incertidumbre en la metrología de tiempo y frecuencia [En línea] 2008. pp. 14 - 25. [Consulta: 27 abril 2020] Disponible en: [https://www.academia.edu/32032549/CALIBRACION\\_Tiempo\\_Frecuencia](https://www.academia.edu/32032549/CALIBRACION_Tiempo_Frecuencia).

**CMEE.** Hora oficial para el Ecuador [En línea] 2021. [Consulta: 7 enero 2021]. Disponible en: <http://cmee.mil.ec/>.

**CORCHETE, Victor.** Análisis de error y tratamiento de datos obtenidos en el laboratorio [En línea] Septiembre - 2008. pp. 13. [Consulta: 10 abril 2020]. Disponible en: <http://airy.ual.es/fisica2/Seminario.pdf>.

**PHYSICIANS, College.** Guide to fulfillment of metrological traceability requirements. [En línea] 2018. pp. 1-5. [Consulta: 23 julio 2020]. Disponible en: <https://www.cpsbc.ca/files/pdf/DAP-LM-Guide-Metrological-Traceability-Requirements.pdf>.

**DIAZ, Henry & PALMA, Luis.** Medición de la base de tiempo del cronómetro digital por el método de inducción. Semetro [En línea] 2012. pp. 1-4. [Consulta: 01 julio 2020]. Disponible en: [http://media.metrologia2015.org.br/media/uploads/trabalhos/Paper\\_INACAL\\_2015.pdf](http://media.metrologia2015.org.br/media/uploads/trabalhos/Paper_INACAL_2015.pdf).

**DIAZ, Henry & POSTIGO, Henry.** Una Incertidumbre de medición  $\leq 0,1 \text{ Ms} / \text{S}$  [En línea] 2012. pp. 1-4. [Consulta: 01 julio 2020]. Disponible en: [https://tf.nist.gov/sim/Papers/Diaz\\_Postigo\\_SEMETRO\\_2013.pdf](https://tf.nist.gov/sim/Papers/Diaz_Postigo_SEMETRO_2013.pdf).

**FALLAS CORDERO, Oscar; et al.** Comparación interlaboratorial de cronómetros - Stopwatch Interlaborator y Comparison. *Tecnológico de Costa Rica* [En línea] 2015. vol. 28. pp. 64-73. [Consulta: 22 marzo 2020] Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/283840241\\_Comparacion\\_interlaboratorial\\_de\\_cronometros\\_2014](https://www.researchgate.net/publication/283840241_Comparacion_interlaboratorial_de_cronometros_2014).

**FARFÁN DURÁN, María Verónica.** Control y sincronización de la zona horaria UTC-5 en la red de comunicación del centro de metrología de las FF.AA. [En línea] (Trabajo de titulación). (Tesis de pre - grado) Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Quito - Ecuador 2018. pp. 35-60. [Consulta: 14 julio 2020] Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>.

**FERNÁNDEZ, Carlos.** Análisis de la modulación por ruido en las señales de tiempo de sistemas DVB-T para su utilización en radioposicionamiento [En línea] (Trabajo de titulación). (Doctorado) Universidad del Departamento de León, Ciudad de León - México. 2017. pp. 125 - 130. [Consulta: 10 septiembre 2020] Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6272/1/AguirreHernandezFelipeAndres2017.pdf>.

**JIMÉNEZ, Francisco.** Métodos de calibración de cronómetros [En línea] 2009. [Consulta: 25 marzo 2020]. Disponible en: [http://www.cenam.mx/dme/pdf/PRE\\_T2-Mie-1.pdf](http://www.cenam.mx/dme/pdf/PRE_T2-Mie-1.pdf).

**GESTI, Sistemas D.E. & ISO.** *Control de dispositivos de seguimiento y medición* [En línea]. 2008. España: Pablycom. [Consulta: 01 agosto 2020]. Disponible en: [http://www.is-ac.es/attachments/221\\_guia\\_practica\\_de\\_control\\_de\\_los\\_dispositivos\\_de\\_seguimiento\\_y\\_medicion.pdf](http://www.is-ac.es/attachments/221_guia_practica_de_control_de_los_dispositivos_de_seguimiento_y_medicion.pdf).

**GIL, Santiago. & RODRIGUEZ, Eduardo.** Propagacion de errores. Lecture notes [En línea] 2000. pp. 22. [Consulta: 01 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.fisicarecreativa.com/guias/capitulo1.pdf>.

**GUILLÉN, Edwin.** Incertidumbre en la medición [En línea] 2013. pp. 22 - 58. [Consulta: 21 agosto 2020]. Disponible en: [https://www.inacal.gob.pe/inacal/files/metrologia/EVENTOS/SIMPOSIOS/2013/Edwin\\_Guillen-Incet.pdf](https://www.inacal.gob.pe/inacal/files/metrologia/EVENTOS/SIMPOSIOS/2013/Edwin_Guillen-Incet.pdf).

**HORSKÝ, Jan. & HORSKÁ, Stejskal.** Stopwatch and timer. Calibrations to human reaction time. *KNAFU* [En línea] 2013.vol. 3, no. 110, pp. 1-4. [Consulta: 10 mayo 2020]. Disponible en:[https://www.google.com/ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwi55s\\_ew5\\_pAhWjgAKHQpGBjUQFjAAegQIBBAB&url=http%3A%2F%2Fnbuv.gov.ua%2Fj-pdf%2Fsoi\\_2013\\_3\\_28.pdf&usg=AOvVaw1uISjJGoKJxoB9zYE4KKca](https://www.google.com/ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwi55s_ew5_pAhWjgAKHQpGBjUQFjAAegQIBBAB&url=http%3A%2F%2Fnbuv.gov.ua%2Fj-pdf%2Fsoi_2013_3_28.pdf&usg=AOvVaw1uISjJGoKJxoB9zYE4KKca).

**ISO 14253-1.** *Especificación geométrica de productos (gps).inspección mediante medición de piezas y equipos de medida. Parte 1: reglas de decisión para probar la conformidad o no conformidad con las especificaciones (ISO 14253-1:1998, IDT).* 2014.

**ISO 17025.** *Requisitos Generales Para La Competencia De Los Laboratorios De Ensayo Y Calibración*

**JASEN, Paula & GONZ, Estela.** Introducción a la Teoría de Errores de Medición [En línea] 2012. pp. 1-23. [Consulta: 10 julio 2020] Disponible en: [http://www.fisica.uns.edu.ar/albert/archivos/12/221/2979865071\\_laboratorio.pdf](http://www.fisica.uns.edu.ar/albert/archivos/12/221/2979865071_laboratorio.pdf).

**GUST, Jeff; et al.** Timer calibrations. *NIST Special publication* [En línea] 2004. vol. 960-12, pp. 36 - 46. [Consulta: 25 septiembre 2020] Disponible en: [c:%5CDocuments and Settings%5CDaniel%5CMy Documents%5CBibliographie%5C2004%5CNISTSpecPub\\_960\\_12\\_2004.pdf](c:%5CDocuments and Settings%5CDaniel%5CMy Documents%5CBibliographie%5C2004%5CNISTSpecPub_960_12_2004.pdf).

**JIMENEZ, Johnny.** Sistema automatizado de calibración de cronómetros y relojes mediante la medición de la frecuencia de operación del oscilador interno [En línea] (Trabajo de titulación). (Tesis de pre - grado) Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago - Costa Rica. 2009. pp.17 - 20. [Consulta: 02 febrero 2020]. Disponible en: [https://tf.nist.gov/sim/Papers/Jimenez\\_ICE\\_Stopwatch.pdf](https://tf.nist.gov/sim/Papers/Jimenez_ICE_Stopwatch.pdf).

**KAMAS, George.** Time and frequency users' manual [En línea] 1990. pp.21 - 27. [Consulta: 22 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.bookdepository.com/es/Time-Frequency-Users-Manual-Classic-Reprint-George-Kamas/9780365052739>.

**KO, Samuel; et al.** Improving the video totalized method of stopwatch calibration. [En línea] 2015. pp. 1-32. [Consulta: 12 febrero 2020]. Disponible en: [http://www.apmpweb.org/fms/get\\_file.php?index=NDcxMg==](http://www.apmpweb.org/fms/get_file.php?index=NDcxMg==).

**KU, H.H.** Notes on the use of propagation of error formulas. *Journal of research of the national Bureau of standards, section c: engineering and instrumentation* [En línea] 1966. vol. 70C, no. 4, pp. 263. ISSN 0022-4316.[Consulta: 12 julio 2020]. Disponible en: [https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/jres/70C/jresv70Cn4p263\\_A1b.pdf](https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/jres/70C/jresv70Cn4p263_A1b.pdf).

**KÜHNE, Michael; et al.** Traceability of measurement results in industrial metrology. Ncsli [En línea] enero 2005. pp. 1-8. [Consulta: 12 agosto 2020]. Disponible en: [papers3://publication/uuid/F3FC4AC9-239F-46B8-BAAB-CCA8D88C60BD](https://papers3://publication/uuid/F3FC4AC9-239F-46B8-BAAB-CCA8D88C60BD).

**LABTRONIKS.** Resistencias [En línea] 2020. [Consulta: 28 agosto 2020]. Disponible en: <https://labtroniks.cl/shop/resistencias>.

**LÓPEZ, Mauricio.** Calibración de cronómetros [En línea] 2005a. pp. 20. [Consulta: 28 marzo 2020]. Disponible en: [http://mensor.cenam.mx/dme/pdf/PRE-Calibracion de cronómetros.pdf](http://mensor.cenam.mx/dme/pdf/PRE-Calibracion%20de%20cronometros.pdf).

**LÓPEZ, Mauricio.** Desviación de Allan. Encuentro nacional de metrología eléctrica [En línea]. México: 2005b. pp. 29. [Consulta: 28 marzo 2020]. Disponible en: [http://www.cenam.mx/dme/pdf/PRE-Allan contra estándar.pdf](http://www.cenam.mx/dme/pdf/PRE-Allan%20contra%20est%C3%A1ndar.pdf).

**LÓPEZ, Mauricio.** Varianza de Allan. Encuentro nacional de metrología eléctrica [En línea]. México: 2005c. pp. 43. [Consulta: 28 agosto 2020]. Disponible en: [http://www.cenam.mx/dme/pdf/PRE\\_T2-Jue-1.pdf](http://www.cenam.mx/dme/pdf/PRE_T2-Jue-1.pdf).

**MARTÍNEZ, Rubén .** Uso de certificados de calibración. [En línea] 2002. pp. 22 - 27. [Consulta: 15 septiembre 2020]. Disponible en: <http://www.cenam.mx/publicaciones/descargas/PDFFiles/usodecertificados.pdf>.

**MEDINA-SMITH, Andrea; et al.** NIST Conference papers fiscal compiled and edited. *NIST conference papers fiscal* [En línea] 2017. vol. 3. 2017. pp. 39- 45. [Consulta: 18 agosto 2020]. Disponible en: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.1239-3.pdf>.

**MEDRANO, Silvia.** Criterios para declaración de conformidad. MetAs [En línea] 2003. pp. 6. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-Metas-03-06-Conf.pdf>.

**MENHENHALL, William; et al.** *Introducción a la probabilidad y estadística* [En línea] 2010. p. 691. [Consulta: 18 noviembre 2020] Disponible en: [http://investigadores.cide.edu/aparicio/data/refs/Mendenhall\\_Prob\\_Estadistica\\_13.pdf%0Ahttps://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/84261/78536109X\\_TFG\\_14968419448316659365465685192362.pdf?sequence=2](http://investigadores.cide.edu/aparicio/data/refs/Mendenhall_Prob_Estadistica_13.pdf%0Ahttps://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/84261/78536109X_TFG_14968419448316659365465685192362.pdf?sequence=2).

**MIRANDA, Javier.** Evaluación de la incertidumbre en datos experimentales [En línea] 2016. pp. 8 - 16. [Consulta: 8 noviembre 2020]. Disponible en: [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/CALCULO DE INCERTIDUMBRES DR.JAVIERMIRANDA\\_26197.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/CALCULO%20DE%20INCERTIDUMBRES%20DR.JAVIERMIRANDA_26197.pdf).

**MOLINA CASTRO, Gabriel.** Introducción a la metrología: Historia y conceptos básicos [En línea] 2016. pp. 64. [Consulta: 8 febrero 2020]. Disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/401517/TEXTO\\_UNIDAD\\_1.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/401517/TEXTO_UNIDAD_1.pdf).

**MOUSER, Electronics.** Comparadores analógicos [En línea] 2020. [Consulta: 28 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.mouser.ec/ProductDetail/Maxim-Integrated/MAX907EPA?qs=7JzFWu92cmg%2F2gYT50SFXA==>.

**MV, Electrónica.** Circuitos integrados [En línea] 2020. [Consulta: 28 agosto 2020]. Disponible en: <https://mvelectronica.com/products/LM324#1>.

**NIST.** SIM Time and frequency working group [En línea] 2021. [Consulta: 7 enero 2021]. Disponible en: <https://tf.nist.gov/sim/index.htm>.

**PARF, Red.** Metrología [En línea] 2002. pp. 10 - 17. [Consulta: 18 febrero 2020]. Disponible en: [https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2008/6\\_Modulo\\_METROLOGIA.pdf](https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2008/6_Modulo_METROLOGIA.pdf).

**BARRIGA PÉREZ, Erwin Antonio.** Criterios de diseño y planeamiento de redes de sincronismo en servicios de telecomunicaciones [En línea] (Trabajo de titulación). (Tesis de pre - grado) Escuela Politécnica del Ejército, Quito - Ecuador. 2008. pp. 25-34. [Consulta: 7 noviembre 2020]. Disponible en: [https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/MT\\_Globalization\\_Report\\_2018.pdf](https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/MT_Globalization_Report_2018.pdf) [http://eprints.lse.ac.uk/43447/1/India\\_globalisation%2C\\_society\\_and\\_inequalities%28lsero%29.pdf](http://eprints.lse.ac.uk/43447/1/India_globalisation%2C_society_and_inequalities%28lsero%29.pdf) <https://www.quora.com/What-is-the>.

**PÉREZ, María del Mar.** Estimación de incertidumbres. Guía GUM. *Revista Española de metrología* [En línea] 2012. pp. 114 - 130. [Consulta: 27 noviembre 2020]. Disponible en: [http://www.uv.es/~meliajl/Docencia/WebComplementarios/GuiaGUM\\_e\\_medida.pdf](http://www.uv.es/~meliajl/Docencia/WebComplementarios/GuiaGUM_e_medida.pdf).

**POSADAS CHINCILLA, Antonio Miguel.** Determinación de errores y tratamiento de datos . *U. Almería* [En línea] 2009. vol. 9, no. 125, pp. 1-15. [Consulta: 7 agosto 2020]. Disponible en: <https://victoryepes.blogs.upv.es/files/2019/10/TeoriaErrores.pdf>.

**PRIETO, Grajales ; et al.** Internos analysis of allan ' s deviation in internal oscillators. *Compañía Internacional de Mantenimiento* [En línea] 2015. pp. 2-7. [Consulta: 7 marzo 2020]. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6272/1/AguirreHernandezFelipeAndres2017.pdf>.

**RILEY, William .** A History of the Rubidium Frequency Standard. *UFFC-S History* [En línea] 2019. pp. 1-34. [Consulta: 15 marzo 2020 ]. Disponible en: [http://www.wiley.com/A\\_History\\_of\\_the\\_Rubidium\\_Frequency\\_Standard.pdf](http://www.wiley.com/A_History_of_the_Rubidium_Frequency_Standard.pdf).



**RIVERGLENNAPTS.** Multivibrador monoestable. [En línea] 2019. [Consulta: 25 agosto 2020]. Disponible en: <https://riverglennapts.com/es/multivibrators/603-monostable-multivibrator.html>.

**RODRIGUEZ, Alonso & VELAZQUEZ, Oliver.** Calibrador de cronómetros digitales por medio de inducción [En línea] 2013. pp. 5-10. [Consulta: 22 marzo 2020]. Disponible en: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/6293/PFC-P-87%3B88.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

**ROMÁN, Roberto.** Demostración experimental de un separador de bandas fotónico [En línea] (Trabajo de titulación). (Tesis de pre - grado) Universidad de Chile, Santiago - Chile. 2014. pp. 9 - 23. [Consulta: 25 abril 2020]. Disponible en: [http://www.das.uchile.cl/lab\\_mwl/publicaciones/Tesis/Thesis\\_RRoman\\_2014.pdf](http://www.das.uchile.cl/lab_mwl/publicaciones/Tesis/Thesis_RRoman_2014.pdf).

**RUIZ ARMENTEROS, Antonio Miguel ; et al.** Error, incertidumbre, precisión y exactitud, términos asociados a la calidad espacial del dato feográfico. *Cicum* [En línea] 2010. pp. 2-7. [Consulta: 25 septiembre 2020 ]. Disponible en: [http://coello.ujen.es/congresos/cicum/ponencias/Cicum2010.2.02\\_Ruiz\\_y\\_otros\\_Error\\_incetidumbre\\_precision.pdf](http://coello.ujen.es/congresos/cicum/ponencias/Cicum2010.2.02_Ruiz_y_otros_Error_incetidumbre_precision.pdf).

**SALAZAR, Francisco.** Planificacion para la estructuracion fisica y tecnica de un laboratoriode calibracion y contratacion de equipo electronico [En línea] (Trabajo de titulación). (Tesis pre - grado) Escuela Politecnica Nacional, Quito - Ecuador. 1995. pp. 245 - 250. [Consulta: 17 octubre 2020] Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10629/1/T156.pdf>.

**SÁNCHEZ, Raúl.** Design and implementation of a GPS disciplined oscillator for synchronization in VLBI [En línea] (Trabajo de titulación) (Tesis pre - grado). Universitat Politècnica de Catalunya, Catalunya - España. 2016. pp. 40 - 50. [Consulta: 17 octubre 2020] Disponible en: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/96927/Raul\\_Sanchez\\_Hernandez\\_PFC.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/96927/Raul_Sanchez_Hernandez_PFC.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

**SCURO, Sante.** Introduction to error theory. Area [En línea] Abril 2004. pp. 1-9. [Consulta: 24 agosto 2020]. Disponible en: [https://web.northeastern.edu/afeiguin/p1220-Fall2011/Error\\_Theory.pdf](https://web.northeastern.edu/afeiguin/p1220-Fall2011/Error_Theory.pdf).

**STEIN, Samuel.** The allan variance - Challenges and opportunities. *IEEE Transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control* [En línea] 2010. vol. 57, no. 3, pp. 540-547. ISSN 08853010. [Consulta: 01 abril 2020 ]. Disponible en: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiWhJCGx7zpAhULVN8KHUJbCX0QFjAAegQIAhAB&url=https%3A%2F%2Fwww.microsemi.com%2Fdocument-portal%2Fdoc\\_download%2F133170-the-allan-variance-](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiWhJCGx7zpAhULVN8KHUJbCX0QFjAAegQIAhAB&url=https%3A%2F%2Fwww.microsemi.com%2Fdocument-portal%2Fdoc_download%2F133170-the-allan-variance-)

challenges-and-opportunities&.

**TERRÉS, Arturo.** Trazabilidad metrológica. *Revista mexicana de patología clínica* [En línea] 2009. vol. 56, pp. 27-35. [Consulta: 14 abril 2020 ]. Disponible en: <https://www.ins.gov.co/Direcciones/RedesSaludPublica/GestiondeCalidadLaboratorios/TalleresdeFortalecimiento/3.Trazabilidadmetrologica.pdf>.

**TORRELAVEGA, C.** Teoría de errores. [En línea] 2016. pp. 1-6. [Consulta: 15 septiembre 2020]. Disponible en: <https://www.studocu.com/bo/document/universidad-autonoma-gabriel-rene-moreno/ingenieria-petrolera/lecture-notes/teoria-de-errores-escuela-politecnica-de-ingenieria-de-minas-y-energia-torre-la-vega/6493891/view>.

**TRIGO, Leonardo & SLOMOVITZ, Daniel.** Control de la deriva en osciladores de rubidio. VIII Semetro [En línea] 2011. pp. 3. [Consulta: 27 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiswcDiu7LpAhXFJt8KHZbABXUQFjAAegQIARAB&url=https%3A%2F%2Fwww.unsouthsouth.org%2Fwp-content%2Fuploads%2F2019%2F07%2FP%25C3%25A9rez-Guerrero-Trust-Fund-PGTF-2018.pd>.

**UIT, R.** Mediciones de la inestabilidad de frecuencia y en el tiempo ( fase ) [En línea] 2017. pp. 4-7. [Consulta: 25 mayo 2020 ]. Disponible en: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/tf/R-REC-TF.538-4-201707-I!!PDF-S.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/tf/R-REC-TF.538-4-201707-I!!PDF-S.pdf).

**VICENTE, Sebastián.** “Establecimiento de un sistema de aseguramiento metrológico conforme a la norma nte, iso 10012:2007 para el laboratorio de calibración de instrumentos de longitud INEN.” [En línea] (Trabajo de titulación). (Tesis pre - grado) Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Riobamba - Ecuador. 2013. pp. 115 - 120. [Consulta: 7 diciembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/2973/1/85T00263.pdf>.

**ZARZA, Cristian & VIVAS, Silvana.** Certificados de calibración. Interpretación y Uso [En línea] 2019. Instituto Nacional de Tecnología Industria. [Consulta: 05 septiembre 2020 ]. Disponible en: <https://cie.gov.ar/web/images/Curso-Certificados-Interpretacin-y-Uso.pdf>.



Firmado electrónicamente por:  
JHONATAN RODRIGO  
PARREÑO UQUILLAS



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO  
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS  
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS  
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 09 / 03 / 2021

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Carlos Luis Gusqui Guananga
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Mecánica
<b>Carrera:</b> Ingeniería Mecánica
<b>Título a optar:</b> Ingeniero Mecánico
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. CPA. Jhonatan Rodrigo Parreño Uquillas. MBA.
 Firmado electrónicamente por: JHONATAN RODRIGO PARREÑO UQUILLAS
 09-03-2021 0640-DBRAI-UPT-2021