

Sensor interdigitado capacitivo (SIC) para medición de la concentración de alcohol en agua a partir de la correlación entre temperatura y permitividad entre los 5° y 30° grados Celsius

Tatiana Paola Cabrera Gómez
Liseth Jeraldin Quintero Gómez

Universidad CESMAG
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Electrónica
San Juan de Pasto
2023

Sensor interdigitado capacitivo (SIC) para medición de concentración de alcohol en agua a partir de la correlación entre temperatura y permitividad entre los 5° y 30° grados Celsius

Tatiana Paola Cabrera Gómez
Liseth Jeraldin Quintero Gómez

Informe final de grado presentado al Comité Curricular del Programa de Ingeniería
Electrónica para optar por el título de Ingeniera Electrónica.

Asesor:
Edgar Alberto Unigarro Calpa

Universidad CESMAG
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Electrónica
San Juan de Pasto
2023

Nota de Aceptación

Aprobado por el Comité Curricular en cumplimiento de los
requisitos exigidos por la Universidad CESMAG
para optar al título de Ingeniero Electrónico

Edgar Alberto Unigarro Calpa

Asesor

William Andrea Arevalo Teran

Jurado

Olger Ferledy Erazo De La Cruz

Jurado

Página de nota de exclusión de responsabilidad intelectual

“El pensamiento que se expresa en esta obra es exclusivamente responsabilidad de su autor y no compromete la ideología de la Universidad CESMAG”

Dedicatoria

El presente proyecto de grado se la dedico a Dios por brindarme bienestar y sabiduría, para culminar este logro que me propuse hace 5 años.

A toda mi familia, principalmente a mis padres y hermanos, quienes con su apoyo y amor incondicional me han ayudado y guiado para cumplir la primera meta, de muchas metas, de mi vida profesional, a mi abuela quien me brindaba sus consejos, palabras sabias y llenas de amor en mis primeros años de carrera, las cuales tome y aplique para ser una mejor persona, aunque ella ya no me acompaña, siempre la llevare presente en mi día a día y en mi corazón.

A mis maestros de los cuales no solo me llevo aprendizajes académicos, si no también enseñanzas que me servirán en mi diario vivir, entre ellos principalmente a mi asesor Edgar Unigarro, el cual ha sido un pilar fundamental para lograr esta investigación aportando su conocimiento para guiarnos, apoyarnos y ayudarnos a solucionar falencias que surgían en el transcurso de la investigación, finalmente a mis compañeros de carrera los cuales me acompañaron y apoyaron durante estos 5 años, convirtiéndose en una parte importante de mi vida, sobre todo a mi compañera de tesis con quien compartimos juntas este proceso, sin ella no hubiera sido posible, finalmente a todas las personas que directa o indirectamente aportaron su granito de arena para que esto sea posible, de corazón, mil gracias.

Liseth Jeraldin Quintero Gómez.

Dedicatoria

El presente proyecto de grado, en primer lugar, lo dedico a Dios por darme sabiduría y salud para culminar esta meta. A mi madre quien con su apoyo y sus buenos consejos han hecho de mí una persona perseverante y llena de valores. A mi amada hija por ser mi fuente de motivación para poder superarme cada día más. A mis compañeros quienes siempre supieron sacarme una sonrisa durante todos estos cinco años. A mis profesores quienes brindaron todo su conocimiento y paciencia para que sea una excelente profesional.

Esta investigación no hubiera sido posible sin la aceptación y el apoyo de mi asesor Edgar Unigarro por haber propuesto la realización de este proyecto de grado, además de estar pendiente todos estos meses.

No quiero terminar mi dedicatoria sin agradecer a mi compañera de trabajo, quien con su esfuerzo y dedicación contribuyo en la culminación de esta gratificante investigación. Gracias a todos y a cada una de las personas que aportaron e hicieron que hoy culminara mi sueño de ser ingeniera.

Tatiana Paola Cabrera Gómez

Contenido

Lista de Tablas.....	11
Lista de Figuras	13
Introducción.....	16
1. El Problema de Investigación.....	18
1.1 Objeto o tema de investigación	18
1.2 Línea de investigación.....	18
1.3 Descripción del problema.....	18
1.4 Formulación del problema	19
1.5 Objetivos	19
1.5.1 Objetivo general	19
1.5.2 Objetivos específicos.....	19
1.6 Justificación.....	20
1.7 Delimitación.....	21
2. Tópicos del Marco Teórico.....	22
2.1 Antecedentes	22
2.1.1 Sensor pasivo habilitado para NFC para el control de calidad del etanol contra SARS-CoV-2	22
2.1.2 Sensor inalámbrico inteligente para la identificación de sustancia de calidad basado en el protocolo estándar NFC y cosechado de energía electromagnética.....	24
2.1.3 Sensor de condensador interdigitado rápido y altamente sensible para detectar una amplia gama de temperaturas utilizando una membrana dieléctrica que contiene óxido de grafeno	25
2.1.4 Ajuste de las propiedades dieléctricas de la meta estructura de electrodo interdigitado basada en LiNbO ₃ en el rango de Tera hercios.....	26
2.1.5 Detección capacitiva de solventes con microelectrodos interdigitados.....	27

2.1.6	Estudio de relajación dieléctrica de mezclas binarias de 1-pentanol-etanol en un rango de frecuencia de 10MHz a 50GHz utilizando la técnica TDR	28
2.1.7	Características dieléctricas, conductividad eléctrica y solvatación de iones en soluciones electrolíticas	29
2.1.8	Evaluación analítica de la capacitancia de electrodos interdigitales para una estructura multicapa	30
2.2	Enunciados de los supuestos teóricos.....	31
2.2.1	Relajación dieléctrica	31
2.2.2	Comportamiento de las moléculas de un líquido al aplicar un campo eléctrico	31
2.3	Definición de conceptos.....	32
2.3.1	Temperatura.....	32
2.3.2	Capacitancia.....	32
2.3.3	Concentración de alcohol en disoluciones de referencia.....	34
2.3.4	Permitividad.....	34
2.3.5	Error.....	35
2.4	Hipótesis.....	36
2.4.1	Hipótesis de investigación.....	36
2.4.2	Hipótesis nula.....	36
2.4.3	Hipótesis alternativa.....	36
3.	Metodología.....	37
3.1	Enfoque.....	37
3.2	Paradigma.....	37
3.3	Método.....	37
3.4	Tipo de investigación.....	37
3.5	Diseño de investigación.....	38

3.6	Universo.....	38
3.7	Muestra.....	38
3.8	Técnicas de recolección de la información.....	38
3.8.1	Validez de la técnica.....	39
3.8.2	Confiabilidad técnica.....	39
3.9	Instrumentos de la recolección de la información.....	39
4.	Resultados de la investigación.....	40
4.1	Desarrollo de Ecuaciones de capacitancia y funcionamiento del sensor interdigitado capacitivo (SIC).....	40
4.1.1	Modelado y Funcionamiento del Sensor Interdigitado Capacitivo para la Medición de Concentración de Alcohol en las disoluciones de referencia.....	40
4.1.2	Cálculo de la permitividad efectiva del sensor interdigitado capacitivo (SIC). 40	
4.1.3	Análisis teórico de la Capacitancia del Sensor Interdigitado Capacitivo (SIC), por medio de Wolfram Matemática.....	46
4.2	Diseño e Implementación del Sensor (SIC) para la toma De Datos Capacitancia De Disoluciones De Referencia En El Intervalo De Temperatura De 5°C A 30°C.....	48
4.2.1	Instrumentos para recolección de la información.....	48
4.2.2	Diseño preliminar del SIC con N=2.....	49
4.2.3	Segundo Diseño e implementación del sensor SIC.....	58
4.2.4	Implementación Final de sensor SIC N=30 para la toma de muestras en Disoluciones de Referencia a temperaturas de 5° a 30° Celsius.....	67
4.2.5	Toma de pruebas con el sensor SIC N=30.....	76
5.	Análisis y discusión de los resultados.....	82
5.1.1	Cálculo de la Capacitancia del sensor SIC N=30.....	82
5.1.2	Cálculo de la Permitividad del sensor SIC N=30.....	83

5.1.3	Modelamiento de la Permitividad del Sensor SIC N=30	83
5.1.4	Cálculo del porcentaje de error a partir de la permitividad usando el sensor SIC. 85	
5.2	Integración de Diferentes Concentraciones de Alcohol en la Toma de Muestras con el Sensor SIC N=30.....	86
5.3	Determinación de la Permitividad en Diferentes Concentraciones.....	88
	Conclusiones.....	97
	Recomendaciones	99
	Trabajos futuros.....	100
	Referencias	101
	Anexos.....	103

Lista de Tablas

Tabla 1 Constante dieléctrica estática ϵ_s , el tiempo de relajación del dipolo τ y la conductividad eléctrica de alta frecuencia límite $\kappa\omega$ de algunos disolventes polares; $t = 25^\circ \text{C}$...	30
Tabla 2 Parámetros geométricos de diseño del sensor (SIC).....	47
Tabla 3 Parámetros Físicas de los sensores SICN=2 del primer diseño	50
Tabla 4 Promedios de las capacitancias con el sensor SIC (a) N=2 del primer diseño	53
Tabla 5 Promedios de las capacitancias con el sensor SIC (b) N=2 del primer diseño	55
Tabla 6 Promedio de las capacitancias con el sensor SIC (c) N=2 del primer diseño.....	57
Tabla 7 Propiedades Físicas de los sensores SIC del segundo diseño.	60
Tabla 8 Promedio de las capacitancias con el sensor SIC (c) N=8 del segundo diseño ..	62
Tabla 9 Promedio de las capacitancias con el sensor SIC (d) N=10 del segundo diseño.	64
Tabla 10 Promedio de las capacitancias con el sensor SIC (f) N=20	66
Tabla 11. Dimensiones del diseño del Sensor SIC N=30	76
Tabla 12 Promedio de las capacitancias, tomadas con el Sensor SIC N=30	80
Tabla 13 Permitividad de las Disoluciones de Referencia con el sensor SIC	84
Tabla 14 Cálculo de concentración Teórico vs Practico y error porcentual	86
Tabla 15 Sustancias para la toma de pruebas.....	87
Tabla 16 Promedio de las capacitancias a Diferentes Concentraciones de Alcohol.....	87
Tabla 17 Permitividad de las Disoluciones de Referencia con el Sensor SIC	89
Tabla 18 Porcentaje de concentración Teórico vs Practico y error porcentual.....	91
Tabla 19 Porcentaje de Alcohol Teórico	95
Tabla 20 Porcentaje de Alcohol Práctico.....	96
Tabla 21 Errores Relativos.....	96
Tabla 22 Capacitancia del Agua Sensor SIC N=2 (a) Primer Diseño.	108
Tabla 23 Capacitancia de la Mezcla Sensor SIC N=2 (a) Primer Diseño	110
Tabla 24 Capacitancia del Alcohol Sensor SIC N=2 (a) Primer Diseño	112
Tabla 25 Capacitancia del Agua Sensor SIC N=2 (b) Primer Diseño	114
Tabla 26 Capacitancia de la Mezcla Sensor SIC N=2 (b) Primer Diseño	116
Tabla 27 Capacitancia del Alcohol Sensor SIC N=2 (b) Primer Diseño	117
Tabla 28 Capacitancia del Agua Sensor SIC N=2 (c) Primer Diseño	120
Tabla 29 Capacitancia de la Mezcla Sensor SIC N=2 (c) Primer Diseño	122

Tabla 30 Capacitancia del Alcohol Sensor SIC N=2 (c) Primer Diseño	124
Tabla 31 Capacitancia del Agua Sensor SIC N=8 (c) Segundo Diseño.	126
Tabla 32 Capacitancia de la Mezcla Sensor SIC N=8 (c) Segundo Diseño.	128
Tabla 33 Capacitancia de la Alcohol Sensor SIC N=8 (c) Segundo Diseño.	130
Tabla 34 Toma de Capacitancia del Agua, utilizando Sensor SIC N=10 (d)	132
Tabla 35 Toma de Capacitancia de la Mezcla, utilizando Sensor SIC N=8 (c).....	134
Tabla 36 Toma de Capacitancia del Alcohol utilizando el Sensor SIC N=10 (d)	136
Tabla 37 Toma de Capacitancia del Agua utilizando el Sensor SIC N=20 (f)	138
Tabla 38 Toma de Capacitancia del Alcohol Sensor SIC N=20 (f).....	139
Tabla 39 Toma de Capacitancia del Alcohol, utilizando el Sensor SIC N=20 (f).....	142
Tabla 40 Toma de Capacitancia del Agua Utilizando el Sensor SIC N=30	148
Tabla 41 Toma de Capacitancia en Disolución con un 50% de Alcohol.....	150
Tabla 42 Toma de Capacitancia del Alcohol Utilizando el Sensor SIC N=30	152
Tabla 43 Permitividad del agua con el sensor SIC N=30.	154
Tabla 44 Permitividad de la Mezcla con el sensor SIC N=30.	155
Tabla 45 Permitividad del Alcohol con el sensor SIC N=30.....	156
Tabla 46 Toma de Capacitancia en Disolución con un 15% de Alcohol.....	158
Tabla 47 Toma de Capacitancia en Disolución con un 30% de Alcohol.....	160
Tabla 48 Toma de Capacitancia en Disolución con un 75% de Alcohol.....	162
Tabla 49 Permitividad de la Disolución con un 15% de Alcohol.....	164
Tabla 50 Permitividad de la Disolución con un 30% de Alcohol.....	165
Tabla 51 Permitividad de la Disolución con un 75% de Alcohol.....	166

Lista de Figuras

Figura 1 Esquema del sistema compuesto por dos NFC acoplados con IDT.	22
Figura 2 Parámetros que definen la geometría de un electrodo interdigitado	24
Figura 3 Onda de referencia y señales de detección del sensor de temperatura IDC	25
Figura 4 Características del sensor de temperatura IDC diseñado	26
Figura 5 Doble capa eléctrica aniones y cationes cubren la superficie del electrodo polarizada positiva y negativamente formando una doble capa eléctrica que bloquea las líneas de campo eléctrico que penetran en la solución	28
Figura 6 Moléculas polares	32
Figura 7 Campo eléctrico generado por un capacitor	33
Figura 8 Campos eléctricos generados en el Sensor Interdigitado Capacitivo (SIC)	40
Figura 9 Capacitor con dos placas paralelas	41
Figura 10 Vista Transversal del Sensor SIC en Estratificación Dieléctrica Multicapa ...	42
Figura 11 Diseño y Visualización del Sensor SIC	43
Figura 12 Capacitancia generada por el Sensor SIC	44
Figura 13 Programas utilizados para el proceso de la información	48
Figura 14 Primer diseño realizado en proteus de sensores SIC N=2	50
Figura 15 Fabricación sensores SIC N=2 del primer diseño, con método de planchado .	52
Figura 16 Comportamiento de la Capacitancia del sensor SIC (a) N=2	54
Figura 17 Comportamiento de la Capacitancia del Sensor SIC (b) N=2	56
Figura 18 Comportamiento de la Capacitancia del Sensor SIC (c) N=2	58
Figura 19 Segundo diseño realizado en proteus de sensores SIC	59
Figura 20 Fabricación sensores SIC del segundo diseño, con método de planchado	61
Figura 21 Comportamiento de la Capacitancia del Sensor SIC (c) N=8	63
Figura 22 Comportamiento de la Capacitancia del Sensor SIC (d) N=10	65
Figura 23 Comportamiento de la Capacitancia del Sensor SIC (f) N=20	67
Figura 24. Programas para diseño e impresión del Sistema de Monitoreo	68
Figura 25 Diseño del sistema de flujo de agua para variación de temperatura	69
Figura 26 Esquema de conexiones de Monitoreo de Temperatura	70
Figura 27 Circuito Esquemático de Conexiones	71
Figura 28 Polarización de la señal	72

Figura 29 Sistema de monitoreo y temperatura	73
Figura 30 Diagrama de bloques para el sistema de monitoreo de temperatura	74
Figura 31. Diseño Sensor Interdigitado Capacitivo (SIC)	75
Figura 32 Fabricación del sensor SIC N=30.....	76
Figura 33. Sistema de Toma de Datos	77
Figura 34 Disoluciones de Referencia.	77
Figura 35 Toma de pruebas con Sensor SIC.....	78
Figura 36 Diagrama general del proyecto.....	79
Figura 37 Toma de pruebas.....	80
Figura 38 Comportamiento de la Capacitancia del Sensor SIC N=30.....	81
Figura 39 Comportamiento de la Permitividad del Sensor SIC N=30.....	85
Figura 40. Comportamiento de Capacitancia a Diferentes Concentraciones de Alcohol. 88	
Figura 41. Modelado de la Permitividad en Diferentes Concentraciones de Alcohol.....	90
Figura 42 Permitividad y Error calculado de estudio anterior	92
Figura 43 Concentraciones de Alcohol.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 44 Linealización de la Permitividad Vs Temperatura del Agua.....	94
Figura 45 Linealización de la Permitividad Vs Temperatura del Alcohol	94
Figura 46 Código de la interfaz de Wolfram Mathematica	104
Figura 47 Parámetros para el cálculo integral Elíptica K^*	105
Figura 48 Sumatoria de parámetros	106
Figura 49 Cálculo de permitividad efectiva.....	106
Figura 50 Capacitancia del Sensor SIC N=30	107
Figura 51 Comportamiento de la Capacitancia del Agua con el Sensor SIC (a)	109
Figura 52 Comportamiento de la Capacitancia de la Mezcla con el Sensor SIC (a)	111
Figura 53 Comportamiento de la Capacitancia de la Alcohol con el Sensor SIC (a).....	113
Figura 54 Comportamiento de la Capacitancia del Agua con el Sensor SIC (b).....	115
Figura 55 Comportamiento de la Capacitancia de la Mezcla con el Sensor SIC (b).....	117
Figura 56 Comportamiento de la Capacitancia de la Alcohol con el Sensor SIC (b).....	119
Figura 57 Comportamiento de la Capacitancia del Agua con el Sensor SIC (c)	121
Figura 58 Comportamiento de la Capacitancia de la Mezcla con el Sensor SIC (c)	123
Figura 59 Comportamiento de la Capacitancia de la Alcohol con el Sensor SIC (c).....	125

Figura 60 Comportamiento de la Capacitancia del Agua con el Sensor SIC (c)	127
Figura 61 Comportamiento de la Capacitancia de la Mezcla con el Sensor SIC (c)	129
Figura 62 Comportamiento de la Capacitancia del Alcohol con el Sensor SIC (c).....	131
Figura 63 Comportamiento de la Capacitancia del Agua con el Sensor SIC (d).....	133
Figura 64 Comportamiento de la Capacitancia de la Mezcla con el Sensor SIC (d).....	135
Figura 65 Comportamiento de la Capacitancia del Alcohol con el Sensor SIC (c).....	137
Figura 66 Comportamiento de la Capacitancia del Agua con el Sensor SIC (f)	139
Figura 67 Comportamiento de la Capacitancia de la Mezcla con el Sensor SIC (f)	141
Figura 68 Comportamiento de la Capacitancia del Alcohol con el Sensor SIC (f)	143
Figura 69 Comportamiento de la Capacitancia del Agua con el Sensor SIC N=30	149
Figura 70 Comportamiento de la Capacitancia de la Mezcla con el Sensor SIC N=30 .	151
Figura 71 Comportamiento de la Capacitancia de la Alcohol con el SIC N=30	153
Figura 72 Comportamiento de la Permitividad del Agua con el Sensor SIC N=30	154
Figura 73 Comportamiento de la Permitividad de la Mezcla con el Sensor SIC N=30 .	155
Figura 74 Comportamiento de la Permitividad del Alcohol con el Sensor SIC N=30 ...	156
Figura 75 Capacitancia del Alcohol con una concentración del 15%	159
Figura 76 Capacitancia del Alcohol con una concentración del 30%	161
Figura 77 Capacitancia del Alcohol con una concentración del 75%	163
Figura 78 Permitividad del Alcohol con una concentración del 15%	164
Figura 79 Permitividad del Alcohol con una concentración del 30%	165
Figura 80 Permitividad del Alcohol con una concentración del 75%	167

Introducción

Los Sensores interdigitados capacitivos (SIC) son dispositivos electroquímicos, que tienen la capacidad de detectar la conductividad, los cambios en la temperatura y las propiedades dieléctricas en una muestra líquida, este tipo de transductores por ejemplo miden la impedancia a través de variaciones superficiales, están formados por electrodos coplanares simétricos depositados sobre un sustrato aislante (Chac, 2019). La presente investigación se enfoca en realizar un sensor interdigitado que mida la concentración de alcohol en agua a partir de la permitividad, en un rango de temperaturas entre los 5° y 30° grados Celsius. En este estudio se muestra la necesidad de llevar un control de calidad en desinfectantes a base de alcohol que usamos en la vida cotidiana, debido a que las bacterias y virus tienen una gran capacidad de mutación y contagio. Este último por su alto poder de contagio puede provocar pandemias, que es lo que ocurrió en el mundo con COVID-19. Lo que hoy sabemos de este nuevo virus es que se debe desinfectar y lavar las manos y superficies (Liu & Zhang, 2020).

Se dice que el alcohol que permite eliminar virus y bacterias debe estar en un 70%, las personas por desinformación o para lograr un mayor rendimiento, alteran estos desinfectantes colocando a las comunidades en vulnerabilidad constante ante un posible contagio, además de generar reacciones alérgicas en la piel.

En respuesta a lo anterior, se ha concebido un proyecto de ingeniería destinado a prevenir la propagación de virus y bacterias, lo que conlleva a un beneficio significativo para la salud pública. Es destacable señalar que investigaciones previas han abordado el desarrollo de sensores interdigitados capacitivos (SIC) para medir la concentración de alcohol en función de la permitividad, aunque su aplicación se restringía a un rango de temperaturas limitado, generalmente entre 18°C y 20°C (Unigarro, 2021). La existencia de estos estudios previos respalda una nueva investigación, ya que las sustancias químicas como el alcohol exhiben valores de permitividad bien definidos, permitiendo comparaciones fiables con los datos recopilados en investigaciones anteriores, sin requerir un dispositivo patrón.

De acuerdo con lo anterior se buscó solucionar la problemática con un sensor interdigitado, a partir de la correlación entre la temperatura y la permitividad, que se da cuando la mezcla de alcohol exhibe cambios en la permitividad a su vez que también se ve afectada por las fluctuaciones de la temperatura. Al alcanzar temperaturas más amplias que estén entre 5°C y

30°C, se garantiza que el sensor pueda ser usado en diferentes climas, con el objetivo de que el error en el sensado sea mínimo.

Este dispositivo está conformado por electrodos interdigitados (IDEs) de alta precisión. En cuanto al desarrollo experimental se requirió que el diseño tenga una mayor sensibilidad, es por eso que se usa un multímetro RLC, el cual permite medir capacitancia ante las variaciones de la permitividad y la temperatura en la mezcla. Además de un fácil desarrollo en cuanto a la adquisición de las mezclas de agua con alcohol.

Al tener un bajo costo de fabricación y de su adaptación a las nuevas tecnologías se espera que tenga un gran nivel adquisitivo por parte de las personas que deseen cuidar su salud.

1. El Problema de Investigación

1.1 Objeto o tema de investigación

Sensor interdigitado capacitivo (SIC) para medir la concentración de alcohol en agua a partir de la correlación entre temperatura y permitividad entre los 5° y 30° grados Celsius.

1.2 Línea de investigación

El área de la microelectrónica del programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad CESMAG enfoca su trabajo en la aplicación de la ingeniería electrónica a componentes y circuitos de dimensiones muy pequeñas, para producir dispositivos y equipos electrónicos de dimensiones reducidas, pero altamente funcionales (Choetal, 2018).

1.3 Descripción del problema

Las bacterias y virus están presentes en la vida cotidiana, estos son microorganismos los cuales suelen ser perjudiciales para la salud, por eso es muy común el uso de desinfectantes a base de alcohol para eliminarlas, según estudios realizados por la organización mundial de la salud (OMS) para que este sea eficaz debe tener un alto grado de alcohol superior al 70%. (G. Kampf, 2020). Las personas por desinformación no tienen en cuenta esta problemática lo que genera que alteren los desinfectantes con otro tipo de impurezas nocivas como el metanol generando el daño de la concentración y pureza. Con la llegada del COVID-19 fue muy común el uso de estos desinfectantes en lugares públicos debido a los protocolos de bioseguridad establecidos por el ministerio de salud (MINSALUD, 2020).

A partir del artículo NFC-Enabled Passive Sensor for the Quality Control of Ethanol Against SARS-CoV-2 (Unigarro, 2021), en el cual se desarrolló un dispositivo inalámbrico pasivo que permite detectar las impurezas en desinfectantes a base de alcohol basado en los cambios en la permitividad que se producen en la solución. Su funcionamiento depende de dos sensores interdigitados capacitivos (SIC) con factores de frecuencias de acoplamiento hacia antenas NFC inalámbricas, estas evalúan una muestra en específico. Con los cambios de permitividad de la solución se enciende o apaga un chip NFC para cada antena. Como resultado mostró un análisis paramétrico donde se observa que la sustancia se afecta con cambios con la temperatura, por lo tanto, el sensor solo fue diseñado para el rango de temperatura de 18 ° C a 20

° C, se puede ver que el rango es muy corto y la temperatura es muy variante, por lo tanto, se desconoce las fluctuaciones de temperatura que afectan la permitividad de los sensores interdigitados en un rango más alto (5°C y 30°C), debido a las respuestas dieléctricas de sustancias líquidas como mezclas a base de alcohol porque no se ha realizado un estudio correspondiente. Si no se soluciona esta problemática la eliminación de virus y bacterias con desinfectantes no tendrá un resultado satisfactorio constituyendo un riesgo para la salud pública. Según el Servicio de Información Toxicológica (SIT) del Instituto Nacional de Ciencias Forenses alerta en el año 2020 el llamativo aumento de las consultas por intoxicaciones relacionado con el uso inadecuado de desinfectantes por la pandemia Covid-19, según revela el comunicado, durante los meses de marzo y abril los médicos atendieron un total de 11.337 consultas telefónicas, de las cuales 1.846 se debían a intoxicaciones relacionadas con el uso de desinfectantes. Algunos de los cuadros toxicológicos asociados a estos productos afectan principalmente a nivel respiratorio (rinitis, irritación de faringe o laringe, tos) y cutáneo (síntomas relacionados con la irritación e inflamación de la piel) (Nieto, 2020).

1.4 Formulación del problema

¿Cuál es el error en la medición del sensor interdigitado capacitivo (SIC) para la concentración de alcohol en agua a partir de la correlación entre temperatura y permitividad entre los 5° y 30° grados Celsius?

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Determinar el error en el sensor interdigitado capacitivo (SIC) para medición de la concentración de alcohol en agua a partir de la correlación de temperatura entre los 5 y 30 grados Celsius.

1.5.2 Objetivos específicos

- Definir las ecuaciones de capacitancia del sensor (SIC) al entrar en contacto con mezclas de alcohol con agua, utilizando el multímetro RLC y variando la temperatura.

- Implementar el sensor (SIC) con base a las ecuaciones obtenidas, para el rango de temperatura de 5° a 30° Celsius.
- Analizar el comportamiento del sensor (SIC) a partir de las pruebas de realizadas.

1.6 Justificación

Con la llegada del SARS-COV-2, el gel desinfectante es uno de los grandes aliados para mantener las manos limpias y poder protegerse del coronavirus. Según la administración de alimentos y medicamentos de los Estados Unidos FDA (por sus siglas en inglés), alerta sobre nueve marcas de gel desinfectante, las cuales tienen una sustancia química llamada alcohol metílico o alcohol de madera, que es altamente tóxico cuando se absorbe a través de la piel o al ingerirse por vía oral. La FDA comprobó que las muestras de desinfectantes como LavarGel contiene un 81% de metanol y nada de alcohol etílico, y CleanCare No Germ que contiene 28% de metanol. Advierte también que el metanol no es un ingrediente aceptable para desinfectantes de manos y que no debe usarse por sus efectos tóxicos, en ningún caso el alcohol etílico (etanol) puede ser sustituido por metanol, un compuesto que se usa para múltiples propósitos en la industria química, desde disolventes o anticoagulantes hasta su uso como combustible. (BBC News Mundo, 2020).

El presente proyecto de investigación tiene como finalidad fortalecer el sector de la salud en uno de sus ámbitos importantes como lo es el uso de antisépticos a base de alcohol que se incrementó en los últimos años debido al SARS-COV-2, estos son efectivos si contienen un porcentaje adecuado de alcohol. La organización mundial de la salud y las autoridades sanitarias locales han recomendado el uso de desinfectantes que por lo menos contengan un 70% de alcohol para evitar la propagación del covid-19 (Salud, 2020). Es por eso que se genera la necesidad de crear un dispositivo que permita sensor de manera precisa la concentración del antiséptico empleado por el usuario contribuyendo a una desinfección adecuada de virus y bacterias además de enfermedades generadas por la toxicidad de productos por absorción en la piel.

El proceso de control de calidad en la cantidad de alcohol requerido para la desinfección de manos se puede lograr con un sensor interdigitado capacitivo (SIC), de gran ayuda por su bajo costo y fácil manipulación. Al utilizarse en el campo de la biomedicina puede ser usado en centros de salud que se encuentran en zonas alejadas y en donde los climas varían, por esta razón

se requiere incrementar el rango en la temperatura entre los 5° y 30° Celsius, generando mayor precisión y un error mínimo en el sensado.

Existen antecedentes donde se implementan sensores interdigitados, pero con un rango menor de temperatura, no enfocados hacia zonas con diferentes climas y que logre llegar a más usuarios.(Unigarro, 2021).

Este proyecto será de gran ayuda como base para varias posibilidades de aplicaciones, los sensores SIC aprovechan las variaciones en las características geométricas o las propiedades dieléctricas del material situado entre sus placas conductoras, dependiendo de la aplicación y la sensibilidad que se desea alcanzar existen diferentes estrategias de diseño, en este caso la relación entre la permitividad y temperatura, con base a la variación de la capacitancia, esto puede ayudar a detectar bebidas alcohólicas adulteradas.(Ernesto A. Rincón, 2022).

1.7 Delimitación

Dentro de esta investigación, se seleccionaron sensores interdigitados capacitivos (SIC) para la medición de cambios en la capacitancia. Estas pruebas se llevaron a cabo utilizando Disoluciones de Referencia que contienen agua, alcohol y mezclas de estos componentes, con variaciones de temperatura en el rango de 5° a 30° Celsius. El multímetro RLC permitió medir cuantitativamente la capacitancia que arroja el sensor al entrar en contacto con las Disoluciones de Referencia, buscando una relación entre la temperatura y capacitancia, esto permitió encontrar la permitividad con el uso de ecuaciones que determinaron el diseño del nuevo sensor (SIC).

La evaluación de la concentración de alcohol en las mezclas se basa en una relación teórica de estudios anteriores entre la permitividad, la temperatura y la concentración de alcohol, lo que permite una comparación confiable de las concentraciones sin la necesidad de un medidor patrón específico. Como resultado, se logró mejorar el error con un mínimo del 5%.

2. Tópicos del Marco Teórico

2.1 Antecedentes

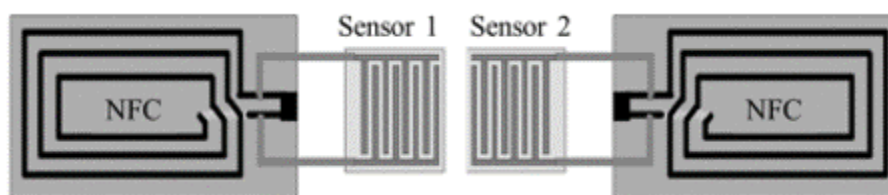
2.1.1 Sensor pasivo habilitado para NFC para el control de calidad del etanol contra SARS-CoV-2

Unigarro (2021) desarrolló un sensor inalámbrico pasivo, que basa su funcionamiento en los cambios de permitividad de una solución, se utiliza para detectar la concentración de algunos productos desinfectantes de etanol que ayudan a combatir el SARS-CoV-2. Cumple con un principio de funcionamiento y diseño que se logra a partir de electrodos interdigitados (IDT) y considerando los parámetros dieléctricos de la sustancia que contiene información acerca de la composición físico química, las propiedades de las muestras se modelan con un proceso de relajación dieléctrica, cuando la muestra entra en contacto con el sensor la capacitancia de este cambia de acuerdo con las propiedades de la sustancia.

Por eso se realiza un modelo capacitivo, donde se exhibe cambios de la permitividad (ϵ). El umbral capacitivo medido fue $128,2 \text{ pF} \pm 0,3 \text{ pf}$ teniendo en cuenta el rango de variación en la capacitancia del (IDT), se establecen entonces capacitancias de 129 pF y se seleccionaron 126 pF por encima y por debajo de la activación NFC. Ambos IDT deben cumplir con estos valores de capacitancia en la permitividad calculada de $\epsilon_{liq} = 45.76$ que se toma como el umbral de capacitancia. Estos cambios en la capacitancia generan una frecuencia de resonancia de la antena conectada al NFC-145 CI que logra solamente dos estados encendido y apagado. En la *Figura 1* se muestra el diseño del sistema compuesto por antenas NFC acoplados a los sensores interdigitados (IDT) sensibles a la impedancia de la sustancia.

Figura 1

Esquema del sistema compuesto por dos NFC acoplados con IDT.



Fuente. (Unigarro, 2021)

Con esta investigación se logra entender variables como la permitividad, capacitancia y como interactúa en el sistema.

En la Ec. (01) se observa el cálculo de la capacitancia total, cuando interactúa el sustrato con la sustancia líquida en el sensor, donde C_t es la capacitancia de la sección transversal del electrodo interdigitado (IDT), L_d es la longitud de los dígitos, y ND es el número de dígitos:

$$C_{IDT} = C_t L_d (ND - 1) \quad (01)$$

La capacitancia de las secciones transversales depende de la geometría (IDT), la permitividad del sustrato ϵ_{sto} , y la permitividad de la mezcla química ϵ_{liq} , que se encuentra sobre el sustrato. La capacitancia C_t se describe como:

$$C_t = \epsilon_{ff} C_0 \quad (02)$$

Donde ϵ_{ff} es la permitividad efectiva. La capacitancia C_0 de un IDT con geometría de dos dígitos se describe como:

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 K(k)}{K(k')} \quad (03)$$

ϵ_0 es la permitividad del vacío, K es la integral elíptica de primer orden y k , depende de la IDT geométrica y se describen mediante la Ec. (04) y Ec. (05) como

$$k = \sqrt{1 - \left(\frac{a}{b}\right)^2}, S = 2a, S + 2W = 2b \quad (04)$$

$$k' = \sqrt{1 - k^2} = \frac{S}{S + 2W} \quad (05)$$

W es el ancho de los dedos IDT, y S es la separación entre ellos. La permitividad efectiva ϵ_{ff} se calcula a partir de la ecuación Ec. (06) como:

$$\epsilon_{ff} = 1 + \frac{1}{2} (\epsilon_{liq} - 1) \frac{K(k)K(k'_1)}{K(k')K(k_1)} + \frac{1}{2} (\epsilon_{sto} - 1) \frac{K(k)K(k'_2)}{K(k')K(k_2)} \quad (06)$$

Donde k_i, k'_i , para $i = 1, 2$ viene dada por la Ec. (07) y Ec. (08) como:

$$k_i = \sqrt{1 - \frac{\sinh^2\left(\frac{\pi a}{2H_i}\right)}{\sinh^2\left(\frac{\pi b}{2H_i}\right)}}, i = 1, 2 \quad (07)$$

$$k'_i = \sqrt{1 - k_i^2} \quad (08)$$

H_i , corresponde a la altura del sustrato y el líquido por encima de sensor.

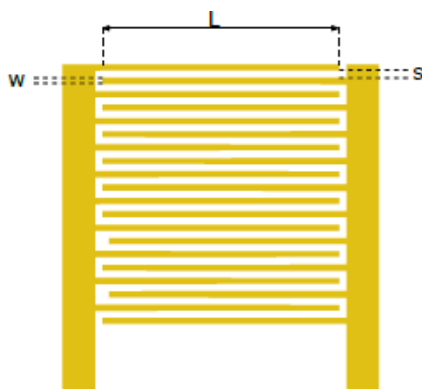
2.1.2 *Sensor inalámbrico inteligente para la identificación de sustancia de calidad basado en el protocolo estándar NFC y cosechado de energía electromagnética*

En la investigación de Rincón (2022) se presenta un sistema inteligente para identificar una sustancia de calidad, en este caso se enfatiza en las bebidas alcohólicas con la utilización de un electrodo interdigitado (IDT) como dispositivo de sensado, adaptado a una tecnología de comunicación de campo cercano “Near Field Communication (NFC)”, donde se logra establecer comunicación con un dispositivo móvil bajo un fundamento de operación que es la tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID). La generación de energía eléctrica está asociada a un acople electromagnético establecido en la NFC, también muestra un diseño a partir de un microcontrolador que se encarga de tomar las lecturas del electrodo interdigitado y de establecer una comunicación de 12C con un circuito integrado NT3H1101, trabajando con energía generada desde 2V a 5mA.

Esta investigación hace un gran aporte gracias al diseño de los electrodos interdigitados (IDT) que opera a una temperatura ambiente 20° Centígrados en específico, estos fueron fabricados mediante tecnologías de capa fina, sobre materiales laminados basados en fibra de vidrio, su principio de operación se basa en el comportamiento capacitivo. El valor de la capacitancia de un (IDT), depende de su geometría, como se puede observar en la *Figura 2*. Se tienen en cuenta los siguientes parámetros: espacio entre dígitos (s), grosor de dígito(w), longitud del dígito (L), número de dígitos (N). además, se resalta el cálculo de la capacitancia total generada expuesta por Rincón en la Ec. (02) pág. (03) del artículo.

Figura 2

Parámetros que definen la geometría de un electrodo interdigitado



Fuente. (Rincón, 2022)

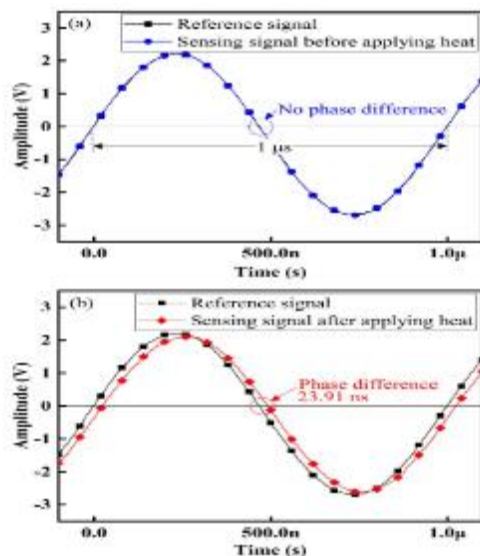
2.1.3 Sensor de condensador interdigitado rápido y altamente sensible para detectar una amplia gama de temperaturas utilizando una membrana dieléctrica que contiene óxido de grafeno

En esta investigación realizada por Khan & Kang (2018) se propone un sensor de condensador interdigitado (IDC), que permite medir temperaturas de 0°C a 120°C. Su principio de funcionamiento depende de la variación de la capacitancia cuando el sensor se calienta. El óxido de grafeno, que es un polímero conductor, se mezcló con polímero de polivinilpirrolidona (PVP), para lograr una solución de detección dieléctrica sensible a la temperatura.

En este artículo se puede apreciar la forma de respuesta de la onda del (IDC) propuesto para el sistema de detección de temperatura de 0° a 120°C, se puede observar la variación de la capacitancia ante cualquier cambio de calor que reciba el sensor, la impedancia de los Electrodo interdigitados (IDE), y la diferencia de fase entre la referencia de la señal y la señal de detección ante una temperatura dada son funciones del cambio de temperatura. En la *Figura 3* se observa la forma de onda de una señal a 0°C sin variación en fase. Por otro lado, cuando la temperatura aumenta a 30°C, se produce un cambio de fase en la forma de onda recibida y las detecciones de fase ocurren.

Figura 3

Onda de referencia y señales de detección del sensor de temperatura IDC

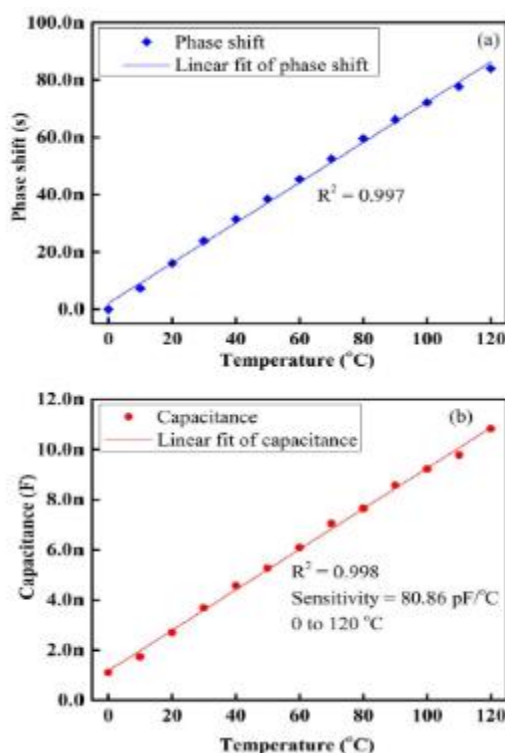


Fuente. (Khan & Kang, 2018)

Así mismo esta investigación con la *Figura 4* (a). permite aclarar la forma de respuesta ante una diferencia de fase en la detección recibida, tomando señales de referencia de 0° a 120°C. También se evidencia en el análisis experimental que, si la temperatura aumenta, el cambio de fase en estas respuestas de onda aumenta linealmente. En la *Figura 4* (b) se observan los cambios de la capacitancia del IDC debidos a los cambios de temperatura.

Figura 4

Características del sensor de temperatura IDC diseñado



Nota. En la Figura 4, (a) temperatura vs. Cambio de fase y (b) temperatura vs. Capacitancia. Fuente: (Khan & Kang, 2018)

2.1.4 Ajuste de las propiedades dieléctricas de la meta estructura de electrodo interdigitado basada en LiNbO3 en el rango de Tera hercios

En este artículo realizado por Wu et al. (2021), se demostró de forma teórica y práctica el espectro de permitividad dieléctrica de un electrodo interdigitado de LiNbO₃, que es un cristal de niobato de litio, es uno de los materiales inorgánicos más utilizados, tiene propiedades físicas excelentes como ópticas piezoeléctricas, ferroeléctricas, fotoeléctricas, no lineales. En este

trabajo se diseñó una estructura de electrodos interdigitados basado en una técnica LN, con una capacidad de ajuste ante la respuesta dieléctrica con una bomba eléctrica/óptica externa. El pulso de los THz se encuentra dentro de un área de muestra de 1cm^2 con una incidencia normal y la cintura del haz de 3,5mm. Los espectros de transmisión de la muestra y la referencia se obtienen con un campo eléctrico perpendicular al electrodo interdigitado.

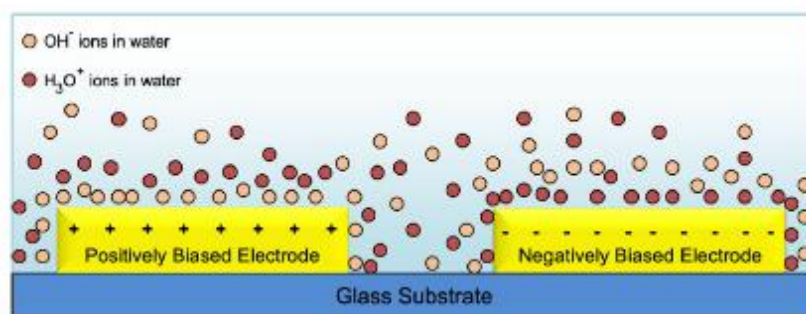
2.1.5 Detección capacitiva de solventes con microelectrodos interdigitados

En la investigación de Bilican, Guler, Gulener, Yuksel, & Agan,(2016) se realizó una cuantificación de las propiedades dieléctricas de disolventes como agua desionizada, alcohol isopropílico y acetona, utilizando microelectrodos interdigitados (IME). Se fabricaron con micro fabricación los cuales se sumergieron en una solución, y se midió la propiedad dieléctrica del medio. también se aclara el rango de frecuencias y voltajes (1 MHz y 100 Mv) de excitación para determinar la región de operación que produce la mayor relación señal a ruido. La capacitancia fue medida a partir de un modelo simple entre un condensador y una resistencia en paralelo, resultando acertado con los resultados teóricos.

El condensador de placas paralelas cumple un rol importante, debido al espacio entre cada electrodo similar a la distancia entre las placas paralelas de un condensador tomado como la distancia dieléctrica del medio. En la Ec. (02) de este artículo se puede detallar la fórmula del condensador para las placas del (IME). Se debe tener en cuenta algunas limitaciones, como el ancho y el espacio entre los canales deben ser iguales, porque cambia las distribuciones del campo eléctrico. De igual manera se resalta la importancia de la cantidad de electrodos interdigitados, (dedos) donde un número bajo de estos aumenta el efecto de la capacitancia parasita proveniente de los dedos del borde del dispositivo.

Figura 5

Doble capa eléctrica aniones y cationes cubren la superficie del electrodo polarizada positiva y negativamente formando una doble capa eléctrica que bloquea las líneas de campo eléctrico que penetran en la solución



Fuente. (Bilican et al., 2016)

En esta investigación se resalta que inclusive el agua incluye impurezas y también otros solventes. Estas impurezas se volvieron efectivas cuando se encontraron directamente con electrodos cargados que se atraen en la solución. aparte de las impurezas, las moléculas de agua se pueden encontrar como iones H_3O^+ y OH^- . cómo se observa en la *Figura 5*. Aunque la presencia de iones se encuentra en niveles insignificantes, esto se vuelve importante cuando se encuentra directamente con el campo eléctrico que hace que se agreguen cerca de los electrodos formando una doble capa eléctrica.

Aporta en relacionar este tipo de ionización con la de otras sustancias como la acetona. Aquí, los iones negativos. Este balance de carga forma la electricidad a partir de capas dobles que bloquean la penetración del campo eléctrico en la solución.

2.1.6 Estudio de relajación dieléctrica de mezclas binarias de 1-pentanol-etanol en un rango de frecuencia de 10MHz a 50GHz utilizando la técnica TDR

En este artículo realizado por Gurudas et al,(2022) se realizan mediciones dieléctricas utilizando una técnica de reflectometría en el dominio del tiempo (TDR) para 1-pentanol-etanol en forma pura, además también se experimenta con una mezcla líquida binaria en un intervalo de frecuencia de 10MHz y 50GHz a diferentes temperaturas, se tiene en cuenta los espectros de permitividad mostrando su funcionamiento en forma de frecuencia. a su vez que se estimaron los valores de la constante dieléctrica y el tiempo de relajación dependientes de la temperatura.

A partir de los resultados de la medición de los parámetros dieléctricos para mezclas binarias de 1-pentanol-etanol a varias temperaturas se muestra que la caída progresiva en los

valores de la constante dieléctrica con el aumento de la composición de 1-pentanol-etanol, explicada como el aumento en el número de átomos de carbono en la cadena alquílica de los alcoholes, lo que reduce el número de dipolos, lo contrario pasa con el tiempo de relajación con una tendencia creciente, razón por la cual el aumento de la longitud de la cadena de moléculas de alcohol dificulta la rotación de las moléculas de alcohol, lo que tiende a aumentar el valor del tiempo de relajación. La importancia de este estudio radica cuando se disminuye el tiempo de relajación con el aumento de la temperatura para todas las concentraciones, debido a la disminución de la viscosidad con el incremento de la temperatura.

2.1.7 Características dieléctricas, conductividad eléctrica y solvatación de iones en soluciones electrolíticas

En este documento realizado por Shcherbakov, Artemkina, Akimova, & Artemkina, (2021) se analiza las propiedades dieléctricas de solventes, la distancia entre iones en soluciones y la temperatura. La principal consideración es el efecto de la temperatura en la constante dieléctrica estática (DC), temperatura, el tiempo de relajación dieléctrica dipolar (DR) y la conductividad eléctrica (EC) de alta frecuencia (HF) limitante (última) del agua y algunos solventes polares. En el rango de temperatura investigado (0–370° C), la CC estática y el tiempo DR del agua disminuyen, y la EC HF límite pasa por un máximo de 250–300° C con aumento de temperatura. Las características dieléctricas del metanol, etanol y propanol se comportan de manera similar. En la *Figura 6* se puede ver mediciones realizadas en diferentes solventes.

Tabla 1

Constante dieléctrica estática ϵ_s , el tiempo de relajación del dipolo τ y la conductividad eléctrica de alta frecuencia límite k^∞ de algunos disolventes polares; $t = 25^\circ C$

Solvente	ϵ_s	τ, pd	$k^\infty, S/m$
Agua	78.35	8.25	84
Acetonitrilo	35.9	4.14	76.8
Acetona	20.7	3.2	57.3
Formamida	109.5	36.9	26.3
Dimetilformamida	37.1	13.1	25
Dimetilacetamida	38.6	15	22.8
Dimetilsulfóxido	47.1	19.4	21.5
Carbonato de propileno	64.9	42.2	13.6
N-metilformamida	181	123	13
Metanol	32.7	49.6	5.84
Etanol	24.5	162	1.34
Propanol	20.3	220	0.82
Butanol	17.5	474	0.33
Propanol	20.3	220	0.82
Butanol	17.5	474	0.33

Fuente. (Shcherbakov et al., 2021)

Es importante conocer cómo se comportan estos solventes en especial para el desarrollo de esta investigación, el alcohol. El tiempo de relajación dieléctrica del dipolo τ , que caracteriza la movilidad de las moléculas de solventes polares, puede considerarse como su característica cinética. Cuanto menor sea el valor de τ , más móviles serán las moléculas de disolvente. La movilidad anormalmente alta es característica de la acetona. La movilidad de las moléculas de disolventes polares disminuye al aumentar su tamaño: al aumentar la longitud del radical hidrocarbonado, al pasar de metanol a butanol, la movilidad de una molécula de alcohol disminuye casi 10 veces.

2.1.8 Evaluación analítica de la capacitancia de electrodos interdigitales para una estructura multicapa

En la investigación de Igreja & Dias (2004) se presentan nuevas expresiones analíticas para la capacitancia entre dos electrodos del peine de un sensor capacitivo interdigital periódico, basado en técnicas de mapeo conforme, el modelo propuesto es general y se ajusta a cualquier espacio y ancho de dedo, también se puede aplicar en cualquier número de capas con diferentes espesores y permitividad. Esta investigación aclara que la capacitancia para una configuración de

sensor particular es función de la permitividad dieléctrica de los materiales, la longitud de los dedos y de dos parámetros geométricos no dimensionales.

En este artículo se han desarrollado nuevas expresiones analíticas para la capacitancia de los IDC-S, estas expresiones son muy útiles para nuestro caso de estudio, debido a que un sustrato grueso con una capa dieléctrica sensible en la parte superior de los electrodos. En la página 3 de este artículo se puede ver la fórmula (03) que define la capacitancia en la parte superior e inferior del sensor teniendo en cuenta las diferentes capas en la suma de semiplanos.

2.2 Enunciados de los supuestos teóricos

2.2.1 *Relajación dieléctrica*

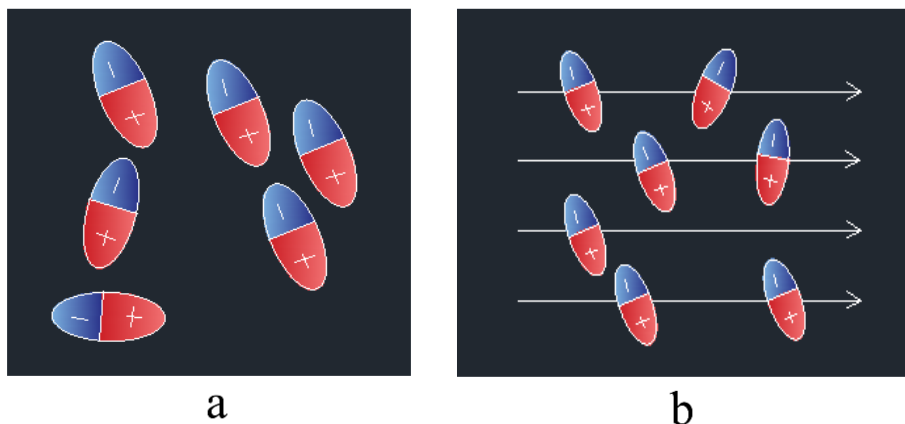
La relajación dieléctrica es la encargada de mirar las variaciones de la polarización eléctrica, después de aplicar un campo eléctrico a cualquier muestra, esta es diferente en cada sustancia que dependerá del campo eléctrico aplicado y de la temperatura de la sustancia (Ernesto A. Rincón, 2022); los parámetros dieléctricos de la sustancia ayudaran con el diseño del sensor interdigitado capacitivo (SIC), con las propiedades dieléctricas de la muestra de alcohol se moldeara un proceso de relajación dieléctrica, un cambio en la muestra modifica la capacitancia del sensor interdigitado (Unigarro, 2021).

2.2.2 *Comportamiento de las moléculas de un líquido al aplicar un campo eléctrico*

Algunas moléculas, como las de agua (H_2O) o el óxido de nitrógeno (N_2O), tienen cantidades iguales de cargas positivas y negativas, pero una distribución de dichas cargas desigual, es decir tienen más carga positiva concentrada en un lado de la molécula y con cargas negativas menores del otro lado, a esto se le conoce como dipolo eléctrico, y las moléculas se llaman molécula polar. Cuando no está presente un campo eléctrico como en un líquido o un gas estas se orientan al azar como se observa en la *Figura 6 (a)* pero, al aplicar un campo eléctrico, estas tienden a orientarse como se ve en la *Figura 6 (b)*.

Figura 6

Moléculas polares



Nota. En la figura se puede observar las moléculas polares (a). Moléculas polares sin campo eléctrico aplicado (b) Modelo molecular con carga eléctrica inducida.

2.3 Definición de conceptos.

2.3.1 Temperatura.

La temperatura es entendida como aquella energía cinética generada por el movimiento de átomos y moléculas individuales de una sustancia, (Arquitectura, 2006) se debe tener en cuenta la sensibilidad del sensor ante los cambios de temperatura que varían dependiendo de la sensibilidad de trabajo, en este caso las líneas de electrodos interdigitados de los sensores interdigitados capacitivos SIC se ven afectados por la temperatura debido a las 110 fluctuaciones relacionado con la respuesta dieléctrica de las sustancias liquidas en este caso alcohol en agua (Caro, 2016).

2.3.2 Capacitancia.

La capacitancia en un sensor interdigitado capacitivo (SIC) se refiere a la medida de la cantidad de carga eléctrica (Q) almacenada entre los dos conductores (capacitor) del sensor, en relación con la diferencia de potencial eléctrico (V) existente entre dichos conductores. En otras palabras, la capacitancia representa la capacidad del sensor para almacenar carga eléctrica en función de la diferencia de potencial aplicada (José & Moreno, 2012).

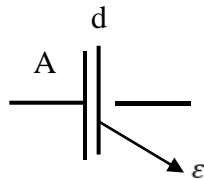
$$C = \frac{Q}{V} \quad (09)$$

Para el sensor interdigitado capacitivo (SIC), la capacitancia entre sus dedos paralelos es similar al concepto de un capacitor de placas paralelas. Al estar por un conjunto de electrodos paralelos entrelazados, y cada conjunto de estos actúan como una placa en un capacitor. Cuando se aplica una diferencia de potencial eléctrico entre estos electrodos, se crea un campo eléctrico entre ellos. Esto depende de tres factores importantes que son:

- a. Área de los dedos: la capacitancia aumenta si el área de los dedos del sensor es mayor, porque puede almacenar una mayor cantidad de carga eléctrica.
- b. Separación entre los dedos: la capacitancia disminuye a medida que se aumenta la separación entre los dedos o electrodos del sensor (SIC). Una separación más estrecha permite que los campos eléctricos de los dedos se superpongan más y, por lo tanto, aumente la capacitancia.
- c. Permitividad del dieléctrico: La capacitancia también está influenciada por la permitividad del material dieléctrico que se encuentra entre los dedos del sensor. La permitividad es una medida de la capacidad del dieléctrico para almacenar carga eléctrica. Un material con una alta permitividad aumentará la capacitancia, mientras que un material con baja permitividad la reducirá.

Figura 7

Campo eléctrico generado por un capacitor



$$C = \epsilon \frac{A}{d} \quad (10)$$

ϵ : permitividad

A : área de las placas

d : separacion de las placas

2.3.3 Concentración de alcohol en disoluciones de referencia.

La concentración de una solución es una medida que indica la cantidad de soluto presente en una cantidad específica de solvente o de la solución en sí. Esta relación se expresa utilizando unidades de concentración, las cuales pueden ser clasificadas en unidades químicas y físicas (Rodríguez, 2017).

En el contexto de esta investigación, se enfocó en el uso de unidades químicas para expresar las concentraciones de las disoluciones. Específicamente, se usó porcentajes de concentración para describir mezclas homogéneas compuestas por dos sustancias (disoluciones):

- Agua: Representa la concentración pura del solvente sin la presencia de soluto adicional.
- Mezcla de agua y alcohol a 70%: Indica que la disolución contiene un 50% de agua y un 50% de alcohol a 70%
- Alcohol a 70%: En este caso, el solvente es el alcohol con una concentración del 70%.

La elección de unidades químicas, como los porcentajes de concentración, es valiosa para describir las proporciones exactas de los componentes de las Disoluciones de Referencia utilizadas en la investigación.

2.3.4 Permittividad.

La permitividad es una constante física, la cual se puede determinar por la inclinación de un material a polarizarse al aplicarle un campo eléctrico y de esa forma anular parcialmente el campo interno del material; esta forma un campo eléctrico el cual afecta y es afectado por un medio (Flores Vidal, 2013). Se puede observar la permitividad que contiene una sustancia a partir de las propiedades de resonancia de ondas electromagnéticas en el interior del recipiente que contiene dicha sustancia.

Los sensores interdigitados de permitividad se ven afectados por la temperatura debido a las fluctuaciones de las respuestas dieléctricas de las sustancias líquidas en este caso alcohol en agua (Han et al., 2011).

$$\epsilon_{liq} = (1 - P_A)\epsilon_w + P_A\epsilon \quad (11)$$

ϵ_{liq} : Permittividad de la mezcla de agua con alcohol

P_A : porcentaje de alcohol en la solución

$\varepsilon\omega$: 80.09 permitividad del agua

εA : Permitividad del alcohol (metanol o etanol)

2.3.5 Error.

El error que se requiere calcular es el error del sensado de la concentración de alcohol en las Disoluciones de Referencia, para esto se realizara diferentes pruebas en las mismas condiciones (capacitancia y temperatura), se realizaron 20 tomas de prueba, para calcular el error de la medición se utilizará la siguiente formula:

$$\varepsilon_r = \frac{|v_m - v_r|}{v_r} \quad (12)$$

ε_r : Error relativo

v_m : valor de la concentración medido del sensado de la Disolución de Referencia

v_r : valor real de la concentracion de alcohol de la Disolución de Referencia

El valor real se lo determina, según la cantidad de alcohol y de agua que se le suministre a la Disolución de referencia medida, este se lo obtiene mediante la toma de capacitancia con el sensor SIC. Para encontrar el error relativo de la Disolución de referencia, se realiza el promedio ponderado de las tomas de pruebas, para saber si el sensor funciona adecuadamente, se requiere que el error sea menor al 5%.

para encontrar el error relativo de la mezcla, se hace el promedio de las pruebas y se calcula la desviación estándar de cada cálculo de error, para saber si el sensor funciona adecuadamente, se requiere que el error sea menor al 5%.

2.4 Hipótesis.

2.4.1 *Hipótesis de investigación.*

El error del Sensor interdigitado capacitivo (SIC) para medición de la concentración de alcohol en agua a partir de la correlación entre temperatura y permitividad entre los 5° y 30° grados Celsius es menor al 5%.

2.4.2 *Hipótesis nula.*

El error del Sensor interdigitado capacitivo (SIC) para medición de la concentración de alcohol en agua a partir de la correlación entre temperatura y permitividad entre los 5° y 30° grados Celsius no es menor al 5%.

2.4.3 *Hipótesis alternativa.*

El error del Sensor interdigitado capacitivo (SIC) para medición de la concentración de alcohol en agua a partir de la correlación entre temperatura y permitividad entre los 5° y 30° grados Celsius se encuentra entre el 5% y 10%.

3. Metodología

3.1 Enfoque.

El enfoque de la investigación es cuantitativo porque se pretende encontrar la concentración de alcohol, que es una variable numérica, a partir de las variables asociadas, las cuales son, la temperatura, capacitancia y la permitividad.

3.2 Paradigma.

El proceso que orienta la investigación cuantitativa desde el punto de vista del epistemológico y metodológico es el Neopositivismo, debido a que es racionalista y empirista:

El racionalismo son las deducciones que realizan a partir de los experimentos, antecedentes, enunciados teóricos que generan la hipótesis del error del Sensor interdigitado capacitivo (SIC) para medir la concentración de alcohol en agua a partir de la correlación entre temperatura y permitividad entre los 5° y 30° grados.

El empirismo, es el resultado de los experimentos realizados donde todos los X (Variables a analizar) se comportan de manera Z (Hipótesis generada). Esto da como resultado un error de 5% (Micheli, 2016).

3.3 Método.

El presente proyecto se basa en una investigación cuantitativa, el método utilizado es científico, se lo conoce también como método empírico – analítico (Vodniza, 2009), ya que busca encontrar el error del sensado interdigitado de la concentración de alcohol en agua, esto con el fin de confirmar o refutar las hipótesis planteadas y así resolver este problema de investigación del proyecto.

3.4 Tipo de investigación.

El tipo de investigación es descriptivo, ya que describe el error ante la respuesta de la concentración alcohol. Se realizará diferentes experimentos, en los cuales se varia la temperatura de 5° y 30° grados Celsius, esto con el fin de encontrar el porcentaje de error en el sensor interdigitado capacitivo (SIC) al medir la sustancia. Se uso un multímetro RLC para medir la capacitancia en el sensor, debido a las placas paralelas que lo conforman donde el valor de la

capacitancia cambia ante la respuesta de variación de la muestra que está directamente relacionada con la temperatura y la permitividad.

3.5 Diseño de investigación.

El diseño de esta investigación se define como experimento puro, porque es un método preciso para lograr comprobar la hipótesis. debido a que se compara el porcentaje de error ante un cambio de temperatura pasando de 18° C a 20° C hasta 5°C y 30°C con un sensor interdigitado, para el cálculo del porcentaje de alcohol y error de una mezcla de alcohol en agua.

RG X1 O 1

RG X2 O 2

RG: Mezcla de alcohol y agua

X1: Sensor interdigitado capacitivo (SIC) 5°C y 30°C

X2: Sensor interdigitado capacitivo (SIC) 18°C y 20°C

O 1: % de alcohol y temperatura de RG, % de error de X1

O 2: % de alcohol y temperatura de RG, % de error de X2

3.6 Universo.

Sensor interdigitado capacitivo (SIC) para la medición de la concentración en alcohol en las Disoluciones de Referencia, a partir de las medidas de capacitancia del sensor SIC, tomadas con un multímetro RLC, el universo es finito ya que es cuantificable y accesible.

3.7 Muestra.

La muestra es la misma que el universo, ya que se realizará el estudio de error de estas técnicas.

3.8 Técnicas de recolección de la información.

Observación directa: La información que se recolecta se obtuvo a partir de las pruebas realizadas con el multímetro RLC, el cual mide la capacitancia de las mezclas. Con la ayuda del sensor DS18B20, los datos obtenidos se registran en Excel y se exportan a Matlab, donde se grafica el comportamiento de las capacitancias de las sustancias (mezcla, alcohol, agua) se hacen pruebas para analizar la variable como la temperatura, la capacitancia y la permitividad. Esto

determina el diseño del sensor interdigitado capacitivo (SIC) para medir temperaturas entre 5° y 30° Celsius, con una eficiencia que determina el error en el sensado.

3.8.1 Validez de la técnica.

La técnica de recolección de la información usada es válida, porque el experimento se llevó de manera práctica con ayuda del multímetro RLC, que muestra en tiempo real los cambios de capacitancia ante la variación de la temperatura efectuados en la mezcla de alcohol y agua, los datos se almacenan en Excel.

3.8.2 Confiabilidad técnica.

La técnica es confiable, debido a que los datos de capacitancia en relación con la temperatura generados por el multímetro RLC son suministrados en tiempo real. A partir de esto se puede lograr el diseño del sensor interdigitado óptimo para las temperaturas de 5° a 30° Celsius para comparar la tasa de error generada, la cual se espera que sea menor al 5% debido a la precisión de la tarjeta.

3.9 Instrumentos de la recolección de la información.

Son los medios necesarios para la recolección y almacenamiento de los resultados del objeto de investigación.

Archivo plano.

El archivo plano está conformado solo por texto, no requiere de un formato en específico, solo es usado para almacenamiento. En el marco de este proyecto, se generará un archivo plano en Excel para almacenar la información recopilada de los instrumentos y equipos.

Posteriormente, estos datos se importarán a MATLAB para su representación gráfica y análisis.

4. Resultados de la investigación

4.1 Desarrollo de Ecuaciones de capacitancia y funcionamiento del sensor interdigitado capacitivo (SIC)

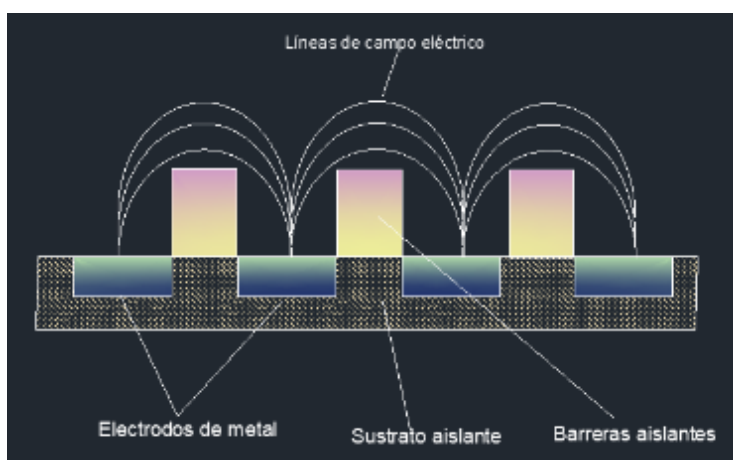
4.1.1 Modelado y Funcionamiento del Sensor Interdigitado Capacitivo para la Medición de Concentración de Alcohol en las disoluciones de referencia.

En el marco de la investigación, se definió el sensor interdigitado capacitivo (SIC) como un dispositivo que detecta y cuantifica los cambios de capacitancia en respuesta a la interacción que tenga con su entorno. El sensor (SIC) basa su comportamiento en la disposición de los electrodos interdigitados, que son placas paralelas metálicas con configuraciones alternas, que generan campos eléctricos entre ellas, como se observa en la *Figura 8*.

La operación del (SIC) se centró en la interacción de estos campos eléctricos con sustancias circundantes. Cuando este entra en contacto con una mezcla, en este caso con las disoluciones de referencia para medir las concentraciones de alcohol, se observó que las propiedades dieléctricas de las muestras impactaron en la capacitancia total del sistema.

Figura 8

Campos eléctricos generados en el Sensor Interdigitado Capacitivo (SIC)



4.1.2 Cálculo de la permitividad efectiva del sensor interdigitado capacitivo (SIC).

Capacitor de placas paralelas

En el desarrollo de las ecuaciones que definen el (SIC), se empleó diversos enfoques, algunos de los cuales se basan en el concepto fundamental de placas paralelas *Figura 9*. Asimismo, se determinó la capacitancia total generada en este tipo de capacitor definida por la Ec. (13).

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{d} [F] \quad (13)$$

Donde:

ϵ_0 : Permitividad del vacío = $8,85 \cdot 10^{-12} [F/m]$

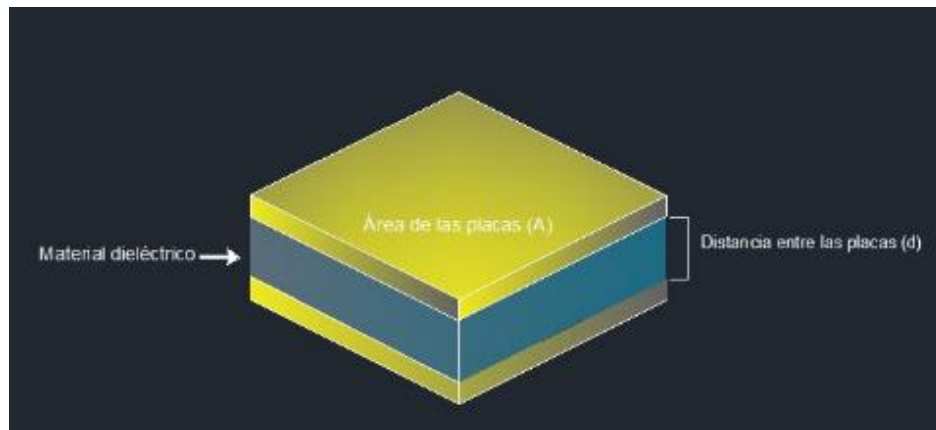
ϵ_r : Permitividad del material dielectrico entre las placas $[F/m]$

A: área de las placas planas paralelas metálicas $[m^2]$

d: separacion de las placas planas paralelas metálicas $[m]$

Figura 9

Capacitor con dos placas paralelas



La vista transversal del sensor SIC Inmerso en Estratificación Dieléctrica Multicapa se observa en la *Figura 10*. En esta estructura se establecen varios parámetros geométricos como el espacio entre los dígitos (S) que es igual a (2a), el grosor de las líneas conductoras (W) con una distancia de separación entre ellas es (2b), además de detallar los espesores del sustrato dieléctrico se designan como h1, la capa de sustrato superior del material es h2 y por la parte inferior de las líneas conductoras hasta la capa inferior del sustrato es h4, Por lo tanto, h3 representa la separación entre los conductores y la capa inferior, h5 se encuentra en medio de h1

y h_3 . Esto significa que h_5 representa el espesor del material dieléctrico entre la capa dieléctrica h_1 y la cubierta metálica de blindaje h_3 . Las permitividades se designan como $\epsilon_{r1}, \epsilon_{r2}, \epsilon_{r3}, \epsilon_{r4}, \epsilon_{r5}$ se disponen en función de las capas de material dieléctrico y otros materiales conductores, estas afectan la propagación de las ondas electromagnéticas.

Otras características del sensor SIC, como la longitud de los dígitos (L) y la representación del material dieléctrico se puede ver en la *Figura 11*

Figura 10

Vista Transversal del Sensor SIC en Estratificación Dieléctrica Multicapa

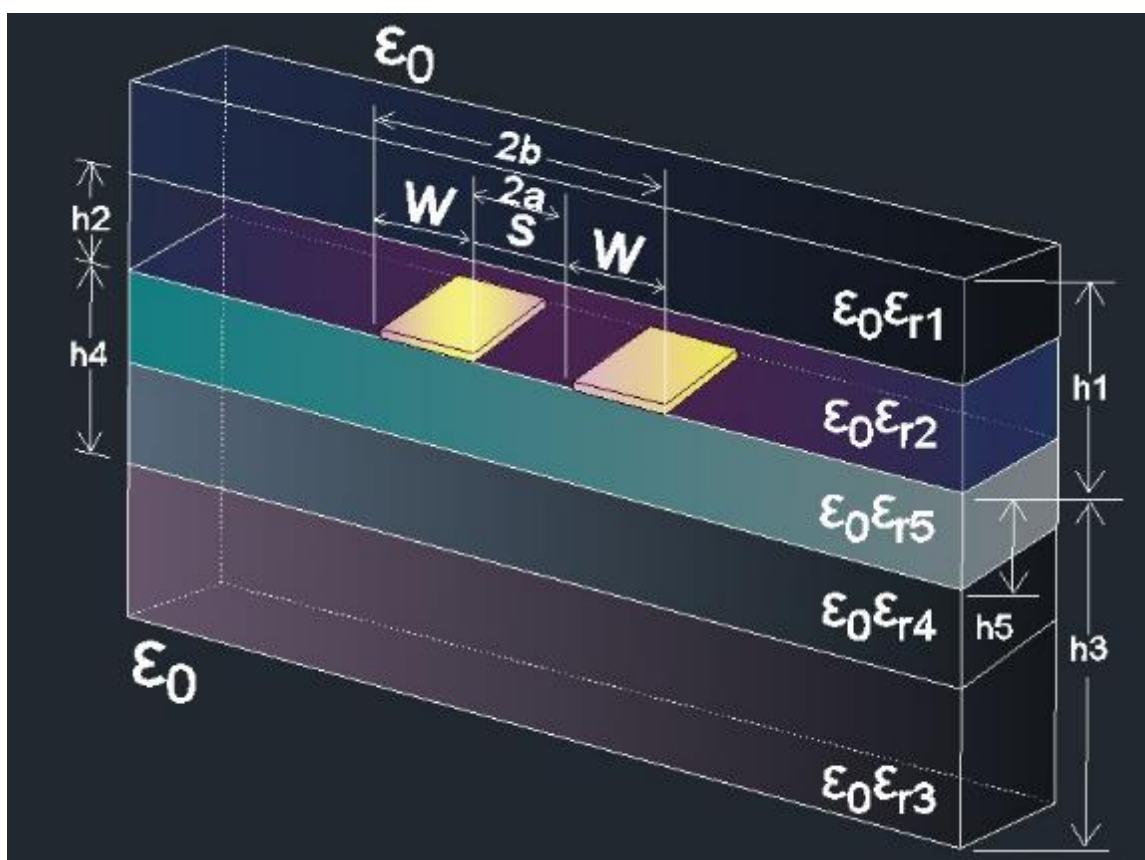
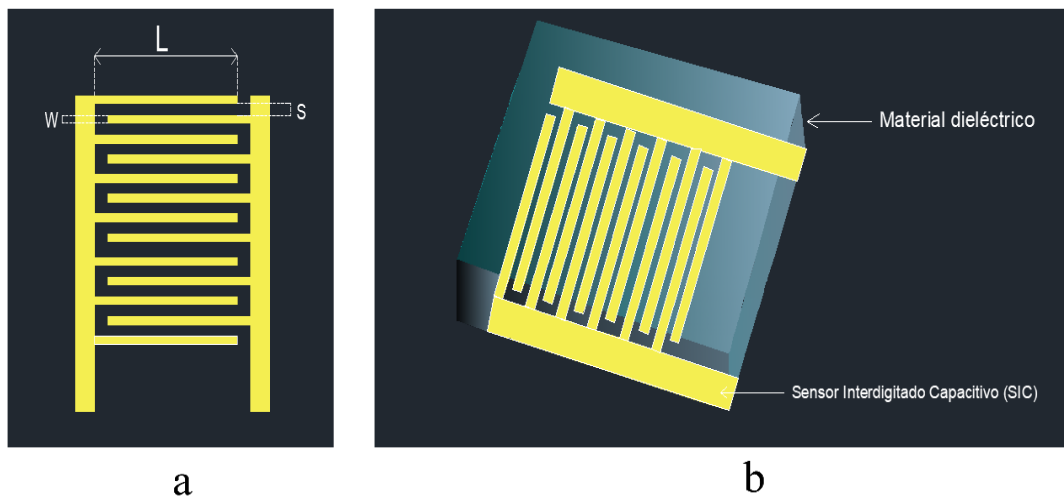


Figura 11

Diseño y Visualización del Sensor SIC



Nota. En la figura 11 (a) Características de diseño del sensor SIC. (b) Visualización del sensor SIC con material dieléctrico.

La capacitancia total está definida por la Ec. (14):

$$C = (N - 3) \cdot \frac{C_I}{2} + 2 \cdot \frac{C_I \cdot C_E}{C_I + C_E}, N > 3 [F] \quad (14)$$

La capacitancia de un sensor interdigitado capacitivo (SIC) depende de su geometría, y del material dieléctrico al que se expone. Para definir estos dos componentes, se tuvieron en cuenta parámetros como

Donde:

N : número de dígitos

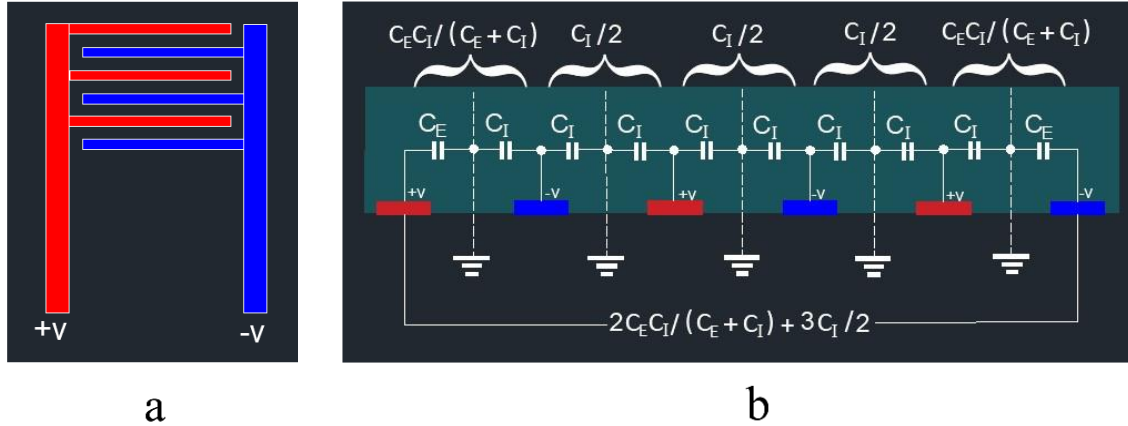
C_I : capacitores interiores con referencia a tierra [F]

C_E : capacitores exteriores con referencia a tierra [F]

En la *Figura 12* se observa la capacitancia total generada por el sensor (SIC) con 6 dígitos, en este se representan las capacitancias internas (C_I) y externas (C_E), para determinar los valores que acompañan a la Ec. (14), el autor (Ernesto A. Rincón, 2022) se basa en el desarrollo matemático de (Simons, 2003) que basa el modelo de microstrip's acopladas dados en diferentes niveles de materiales dieléctricos en los cuales se expone al (SIC), y sin pérdidas relacionadas.

Figura 12

Capacitancia generada por el Sensor SIC



Nota. En la figura 12 (a) sensor SIC 6 dígitos. (b)Capacitancia total generada por un sensor (SIC) de 6 dígitos.

Con el objetivo de encontrar la capacitancia total (C_{SIC}) que surge de la combinación de capacitancias individuales asociadas a áreas y espacios entre las líneas de electodos interdigitados del sensor, se usa el método de superposición o suma de capacitancias. Con este método se puede determinar las capacitancias generadas como la del sustrato dieléctrico y las diferentes alturas. Cuando se determinan estos parámetros se puede realizar la suma de las capacitancias como en la Ec. (15).

$$C_{t,sic} = C_0 + C_1 + C_2 + C_3 + C_4 \quad (15)$$

En la Ec. (16) se observa como la capacitancia total $C_{t,sic}$ es directamente proporcional a la permitividad efectiva ϵ_{ff} . El valor C_0 es un parámetro que se genera ante la ausencia del material dieléctrico.

$$C_t = \epsilon_{ff} C_0 \quad (16)$$

Para determinar este valor que define a C_0 se tiene en cuenta las elipses generadas en los campos electromagnéticos del sensor, estas elipses se modelan bajo la integral elíptica de primer orden K , y del orden de los argumentos k y k' , estos dependen de la geometría del (SIC). Se observa en la Ec. (17).

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 K(k)}{K(k')} \quad (17)$$

Como siguiente paso se muestran algunos elementos del esquema anteriormente mostrado del SIC, donde W es el ancho de las líneas de electrodo interdigitado, y S es la separación entre ellos. Se pueden ver en la Ec. (18) y Ec. (19) respectivamente

$$k = \sqrt{1 - \left(\frac{a}{b}\right)^2}, S = 2a, S + 2W = 2b \quad (18)$$

$$k' = \sqrt{1 - k^2} = \frac{a}{b} = \frac{S}{S + 2W} \quad (19)$$

En el siguiente paso muestra el cálculo que determina C_0, C_1, C_2, C_3, C_4 . Donde ϵ_{eff} en el SIC es una constante dieléctrica efectiva que se determina por todas las capas de materiales dieléctricos involucrados, como se muestra en la Ec. (20).

$$\epsilon_{eff} = \frac{c_{SIC}}{c_0} = 1 + \frac{1}{2}(\epsilon_{liq} - 1) \frac{K(k)K(k'_1)}{K(k')K(k_1)} + \frac{1}{2}(\epsilon_{sto} - 1) \frac{K(k)K(k'_2)}{K(k')K(k_2)} \quad (20)$$

$$\epsilon_{eff} = 1 + \frac{1}{2}(\epsilon_{liq} - 1) \frac{K(k)K(k'_1)}{K(k')K(k_1)} + \frac{1}{2}(\epsilon_{sto} - 1) \frac{K(k)K(k'_2)}{K(k')K(k_2)} \dots \quad (20)$$

En el siguiente paso se muestran los parámetros k_i, k'_i , para $i = 1, 2, \dots$ viene dada por la Ec. (21) y Ec. (22).

$$k_i = \sqrt{1 - \frac{\sinh^2\left(\frac{\pi a}{2H_i}\right)}{\sinh^2\left(\frac{\pi b}{2H_i}\right)}}, i = 1, 2 \quad (21)$$

$$k'_i = \sqrt{1 - k_i^2} \quad (22)$$

H_i , corresponde a la altura del sustrato y las diferentes sustancias utilizadas que suministran por encima de sensor.

De la Ec. 23 se despeja c_{sic} para obtener la capacitancia total de las líneas de electrodos interdigitados del sensor (SIC)

$$c_{sic} = \epsilon_{eff} C_0 \quad (23)$$

Como se ilustra en la *Figura 11*, la longitud de la capacitancia se calcula considerando la contribución de cada línea de electrodo interdigitado con respecto a la línea paralela siguiente o anterior. Como se observa en la Ec. (24).

$$Largo = L.digito(n - 1) \quad (24)$$

Donde n es el número de dígitos.

Con lo anterior, se pudo determinar que la capacitancia total se expresa como:

$$c_{sic} = \epsilon_{eff} C_0 Largo \quad (25)$$

4.1.3 *Análisis teórico de la Capacitancia del Sensor Interdigitado Capacitivo (SIC), por medio de Wolfram Matemática.*

Para calcular la capacitancia total teórica del sensor (SIC), se utilizó Wolfram Matemática, como se detalla en el *Anexo 1*. Con base a las ecuaciones previas presentadas, se definen cada uno de los parámetros de diseño del sensor (SIC) los cuales se describen en la *Tabla 2*.

En donde ϵ_0 es la permitividad del vacío que es una constante donde se observa la tendencia del material a polarizarse, ϵ_s es la permitividad del sustrato (FR4) que se utiliza comúnmente para la fabricación de circuitos impresos, el sensor se fabrica en baquelita por lo tanto el valor será de 4.2. lo que significa que este material tiene una capacidad alta de almacenar carga eléctrica, lo mismo sucede con ϵ_p , que es un material usado como sustrato antisoldante, tiene un valor de 6 en la permitividad. Estos al tener una permitividad relativamente alta, hace que la capacitancia del sensor (SIC) aumente. Por otro lado, la permitividad del medio ϵ_1 , que es igual a 1, debido a que el espacio circundante no tiene un efecto significativo en la capacitancia, esto simplifica los cálculos y modela un comportamiento ideal en el diseño.

Para el correcto funcionamiento del sensor (SIC) donde con su diseño se requiere medir los cambios de capacitancia en disoluciones de agua y alcohol, se debe implementar diferentes capas aislantes. Esto evita que las disoluciones actúen como conductores eléctricos, además de minimizar el efecto oxidante del sensor, por esta razón se incluye un cálculo de capacitancia total como se muestra en la Ec. (25), en ella se incluyen diferentes alturas como lo son h_s , h_p , FR4 y antisolder respectivamente que representan las capas aislantes, además de otras alturas h_1 y h_{12} , estas son de algún tipo de pintura o laca y contribuyen a las capacitancias adicionales.

Los parámetros como la permeabilidad del espacio libre μ_0 , que se relaciona con los cálculos a campos magnéticos y la conductancia del cobre, este valor es la capacidad de conducir corriente eléctrica. En consecuencia, son importantes en el diseño debido a sus aspectos magnéticos y eléctricos en el sistema. los valores específicos se detallan en la *Tabla 2*.

Tabla 2*Parámetros geométricos de diseño del sensor (SIC)*

Parámetro	Valor
ϵ_0 , la permitividad del vacio	$8,85 \cdot 10^{-12} [F/m]$
ϵ_s , la permitividad del sustrato FR4	4.2
ϵ_p , alto del sustrato antisolder	6
ϵ_1 , Epsilon del medio	1
A, el area de las placas paralelas	$\frac{s}{2}$
μ_0 , permeabilidad del espacio libre	$4\pi * 10^{-7}$
σ , conductancia del cobre	$58.1 * 10^6 S/m$
w, Ancho de pista	$100 * 10^{-6} m$
h, Alto de pista	$2.5 * 10^{-6} m$
s, separacion entre pistas	$150 * 10^{-6} m$
h_s , Alto del sustrato FR4	$1700 * 10^{-6}$
h_p , Alto del substrato antisolder	$1 * 10^{-6}$
h_1 , Alto del liquido	$1 * 10^{-6}$
h_{12} , Alto del liquido 2	$45.300 * 10^{-6}$

Con estos valores, se obtiene la capacitancia final esperada del sensor, como se muestra en la Ec. (26). El código detallado, que describe los cálculos de la capacitancia total utilizando Wólffram matemáticas, se observa en el *Anexo 1*.

$$c_{sic} = 3.83 \text{ pf/cm} \quad (26)$$

Con el resultado de esta capacitancia se realiza un análisis a partir de las pruebas practicas del sensor.

4.2 Diseño e Implementación del Sensor (SIC) para la toma De Datos Capacitancia De Disoluciones De Referencia En El Intervalo De Temperatura De 5°C A 30°C.

4.2.1 Instrumentos para recolección de la información

En esta investigación, se llevó a cabo una cuidadosa selección de los instrumentos de recopilación de datos, abordando tanto la parte de software, con el objetivo de obtener la información necesaria para alcanzar los objetivos planteados. Esto ayudo a una medición con menor error en la toma de capacitancias con diferentes diseños de sensores SIC.

En la *Figura 13*, se presentan los diferentes programas empleados para el análisis de datos, incluyendo Excel para almacenar los daos y MATLAB para el análisis de gráficos, así como Wólfram Alpha, que contribuyó al análisis de las ecuaciones que definen el diseño de los sensores explicado en el apartado anterior.

Figura 13

Programas utilizados para el proceso de la información



EXCEL: Microsoft Excel desempeñó un papel crucial en la recopilación de datos, permitiendo la agrupación de información en conjuntos de 20 muestras para cada una de las temperaturas evaluadas. A partir de estos conjuntos de datos, se calcularon valores promedio de capacitancia, lo que proporcionó resultados representativos y más precisos de las mediciones realizadas. Este proceso facilitó el análisis de las variaciones de capacitancia en función de la temperatura y permitió obtener una comprensión más detallada del comportamiento del sensor.

MATLAB: Es un lenguaje altamente eficiente diseñado para la computación en ciencias e ingeniería. Su integración de cálculo, visualización y programación en un entorno amigable resultó de gran utilidad para nuestra investigación (Giner et al., 2008). Gracias a la capacidad de expresar problemas y soluciones en notación matemática habitual, pudimos analizar los datos obtenidos del sensor (SIC) a través de gráficas de forma ingenieril y científica.

Wólfram Mathematica: Es una herramienta ampliamente utilizada en diversas áreas científicas, ingeniería, matemáticas y computacionales. Reconocido por su funcionalidad como sistema de álgebra computacional (Lic et al., 2011).

En el contexto de esta investigación sobre el sensor (SIC), Wólfram Mathematica jugó un papel fundamental al facilitar el cálculo de las integrales elípticas que definen el comportamiento del sensor. Estas integrales elípticas son esenciales para caracterizar y comprender cómo el sensor responde a diferentes condiciones y estímulos, al estar en contacto con las mezclas de alcohol y agua.

Arduino IDE: Es una plataforma de código libre ampliamente utilizada en proyectos de electrónica y robótica. Su entorno de desarrollo gráfico se basa en el lenguaje de programación Processing/Wiring, lo que lo hace accesible para personas con diferentes niveles de experiencia en programación. (Halley, 2014).

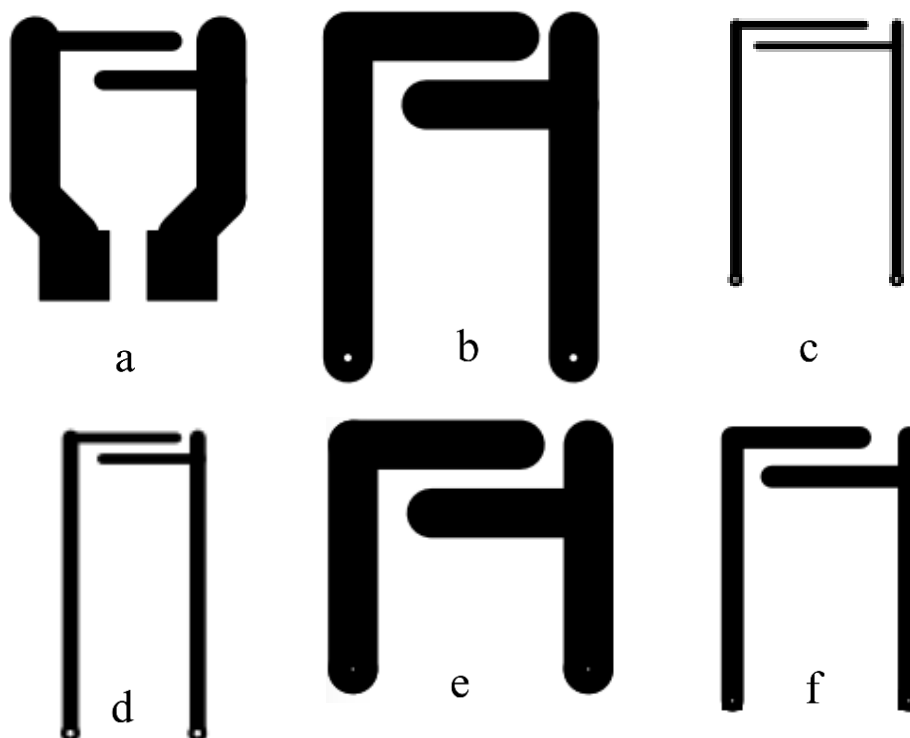
Mediante la programación en el entorno gráfico de Arduino, se pudo desarrollar un código personalizado para interpretar los datos del sensor y tomar decisiones basadas en las lecturas de temperatura, como por ejemplo activar las motobombas en función de los valores de temperatura detectados. Esto aseguró que el sistema pudiera mantenerse dentro de los parámetros deseados, con temperaturas desde los 5° a 30° Celsius.

4.2.2 *Diseño preliminar del SIC con N=2*

Para poder determinar las dimensiones geométricas del sensor SIC se realizó un análisis experimental, para esto se diseñaron seis sensores SIC con diferentes estructuras como se muestra en la *Figura 14*. Esto con el fin de verificar el comportamiento del sensor a partir de los cambios en la capacitancia dependiendo del ancho de las líneas de electrodo interdigitado. Con una configuración N=2 como se observa en la *Figura 14*.

Figura 14

Primer diseño realizado en proteus de sensores SIC N=2



A pesar de que todos los sensores SIC en este diseño presentan una configuración de N=2, lo que implica dos líneas de electrodos interdigitados, cada uno de ellos exhibe características distintas en términos de tamaño, separación entre líneas y grosor de las mismas, las cuales se detallan en la *Tabla 3*.

Tabla 3

Parámetros Físicas de los sensores SICN=2 del primer diseño

Características del Primer Diseño de los Sensores SIC				
Sensor	Número de líneas	Espacio entre líneas (mm)	Ancho de líneas (mm)	Tamaño (L*A) (mm)
a	2	2	2	29.1*24.2
b	2	2	5.1	38.1*28.1
c	2	1.8	0.8	28.5*16
d	2	1	1	30.5*13.5
e	2	2	5	28*29.1
f	2	1.8	2.2	29.4*20.3

Después del diseño los Sensores SIC N=2, se procedió a la etapa de fabricación, donde se empleó el método del planchado. Este proceso consiste en transferir los diseños a un sustrato, en este caso baquelita, mediante la aplicación de calor y presión controlados. A través de esta técnica, se logró la impresión y transferencia precisa de los patrones, como se puede observar la *Figura 15*.

4.2.2.1 Toma de pruebas con los sensores a, b y c del primer diseño.

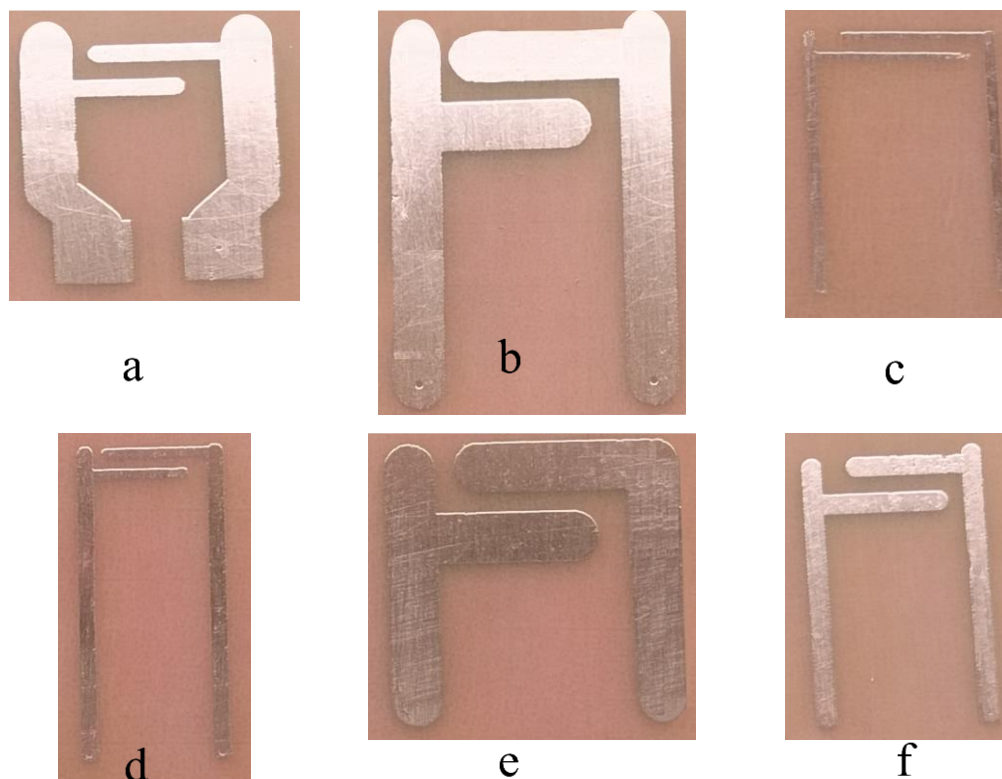
Para llevar a cabo las pruebas con las Disoluciones de Referencia en el rango de temperatura de 5°C a 30°C, se seleccionaron los sensores a, b y c del primer diseño con configuración N=2, ver en *Figura 15*; estos datos se tomaron en intervalos de 5 grados recopilando 20 datos de capacitancia de cada Disolución en cada punto de temperatura. Las muestras se obtuvieron manualmente al tomar 200 ml de cada una de las soluciones y sumergir el sensor en un beaker para medir la capacitancia usando el multímetro RLC.

A partir de estas mediciones se calculó el promedio correspondiente, con el propósito de representar gráficamente el comportamiento de las curvas de Capacitancia Vs Temperatura en las disoluciones de Referencia.

La elección de los sensores a, b y c se fundamenta en la variación que presentan las medidas de las líneas de electrodos interdigitados. De esta manera, se pudo analizar como la capacitancia varía en función del ancho de los dedos, y los resultados de este análisis se detallan en las *Figuras 15, 16 y 17*, esto proporcionó una visión más clara para el diseño del sensor.

Figura 15

Fabricación sensores SIC N=2 del primer diseño, con método de planchado



4.2.2.2 *Análisis preliminar de la capacitancia en función de la temperatura, con el sensor SIC (a) en configuración N=2.*

La *Tabla 4*, muestra el promedio de la capacitancia de cada Disolución de Referencia en cada punto de temperatura, obtenidas a través del sensor SIC (a) del primer diseño con Configuración N=2. Para estas pruebas fue necesario que cada una de las sustancias estén purificadas, ya que cualquier agente contaminante puede alterar los resultados. En los resultados obtenidos, se aprecia un patrón esperado en el comportamiento de las capacitancias de las tres soluciones, la capacitancia del agua es más alta que la del alcohol y que de la mezcla y aumentan a medida que la temperatura se incrementa. Sin embargo, se destaca que los valores resultantes de capacitancias en las tres disoluciones no son altamente significativos.

Para obtener información detallada de todas las mediciones, se puede consultar el *Anexo 2*, que contiene las tablas completas con las mediciones detalladas de cada muestra recopilada.

Tabla 4

Promedios de las capacitancias con el sensor SIC (a) N=2 del primer diseño

Promedios de las Capacitancias de las Disoluciones de Referencias con el Sensor (a) del Primer Diseño con Configuración N=2							
Disolución	Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
	Valor de la Capacitancia nF						
Agua		0.673	1.347	1.491	1.994	2.100	2.300
Alcohol		0.100	0.110	0.120	0.130	0.138	0.142
Mezcla		0.905	1.039	1.130	1.285	1.300	1.400

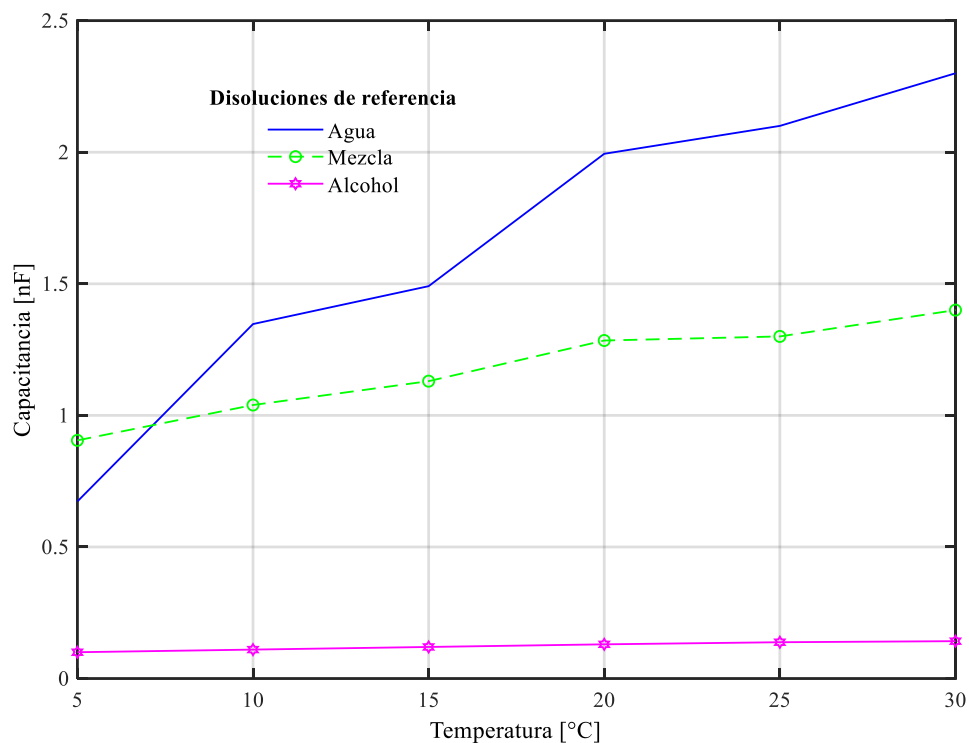
La *Figura 16*, muestra la representación gráfica del comportamiento de la Capacitancia en función de la Temperatura para las Disoluciones de Referencia, utilizando el sensor SIC (a) en configuración N=2 del primer diseño. En esta representación, se observa como la capacitancia del agua exhibe un comportamiento exponencial, aunque las mediciones no alcanzan un alto nivel de precisión esto porque son solo dos las líneas de electrodos interdigitados y también debido a su grosor. Además, se puede ver un error en la medición de la capacitancia de la mezcla a 5°C, ya que esta resulta ser mayor que la del agua. Este fenómeno está atribuido a las posibles alteraciones en la toma de datos al entrar en contacto con las disoluciones. Asimismo, se nota que el alcohol muestra un comportamiento lineal, con cambios menos significativos en su capacitancia.

Los datos utilizados para crear esta gráfica se extrajeron de la *Tabla 4*. Para una observación más detallada del comportamiento de la curva de Temperatura versus Capacitancia de cada sustancia, se puede consultar *Anexo 2.1*.

Figura 16

Comportamiento de la Capacitancia del sensor SIC (a) N=2

Caracterización de Disoluciones de referencia mediante el Sensor (a) en el Primer Diseño con Configuración N=2



4.2.2.3 Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura, con el sensor SIC (b) en configuración N=2 del Primer Diseño.

La *Tabla 5*, muestra el promedio de la capacitancia de cada Disolución de Referencia en cada punto de temperatura, obtenidas a través del sensor SIC (b) del primer diseño con Configuración N=2. En los resultados, se observa que la capacitancia de las tres disoluciones aumenta a medida que la temperatura aumenta. sin embargo, no se muestra una mayor sensibilidad, lo que se atribuye a que solo se usan dos líneas de electrodos interdigitados además que el grosor del sensor (b) es igual a 5,1mm es decir mayor al del sensor (a) que tiene 2mm, esto resulta una mayor capacitancia, pero menor sensibilidad debido al grosor de las líneas interdigitados del sensor.

Para obtener información detallada de todas las mediciones, se puede consultar el *Anexo 2.2*, que contiene las tablas completas con las mediciones detalladas de cada muestra recopilada.

Tabla 5

Promedios de las capacitancias con el sensor SIC (b) N=2 del primer diseño

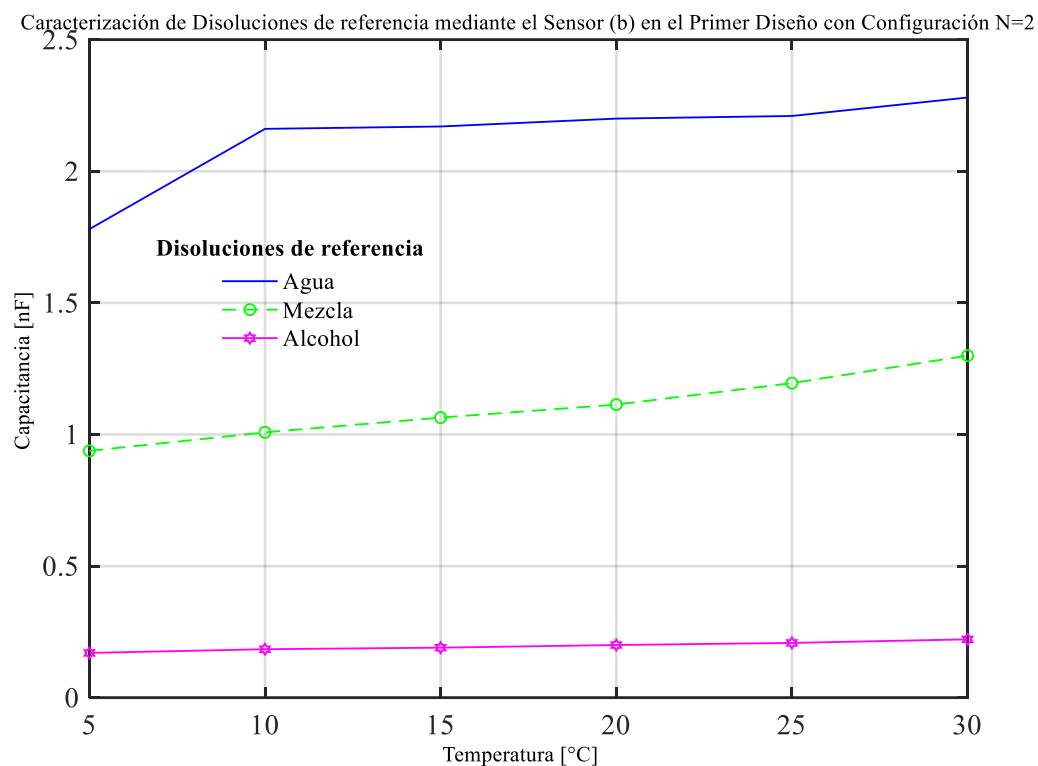
Promedios de las Capacitancias de las Disoluciones de Referencias con el Sensor (b) del Primer Diseño con Configuración N=2							
Disolución	Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
	Valor de la Capacitancia nF						
Agua		1.780	2.161	2.170	2.200	2.210	2.280
Alcohol		0.070	0.080	0.084	0.910	0.100	0.110
Mezcla		0.500	0.559	0.557	0.600	0.613	0.623

La *Figura 17*, muestra la representación gráfica del comportamiento de la Capacitancia en función de la Temperatura para las Disoluciones de Referencia, utilizando el sensor SIC (b) en configuración N=2 del primer diseño. La gráfica muestra un comportamiento lineal en las tres sustancias, lo que indica que no hay variaciones significativas a medida que la temperatura aumenta. Esto se debe a la baja sensibilidad del sensor, causada por el tamaño de las líneas de electrodo interdigitado. Sin embargo, es importante destacar que la capacitancia aumenta en comparación con el sensor (a).

Los datos utilizados para crear esta grafica se extrajeron de la *Tabla 5*. Para una observación más detallada del comportamiento de la curva de Temperatura versus Capacitancia de cada sustancia, se puede consultar *Anexo 2.2*.

Figura 17

Comportamiento de la Capacitancia del Sensor SIC (b) N=2



4.2.2.4 Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura, con el sensor SIC (c) en configuración N=2 del Primer Diseño.

La Tabla 6, muestra el promedio de la capacitancia de cada Disolución de Referencia en cada punto de temperatura, obtenidas a través del sensor SIC (c) del primer diseño con Configuración N=2. Los resultados destacan diferencias significativas en comparación con los sensores (a) y (b). El sensor (c), al tener líneas más delgadas y un menor espacio entre ellas, muestra una mejora en la sensibilidad. Sin embargo, los resultados no muestran cambios significativos en respuesta a las variaciones de temperatura utilizadas.

Para obtener información detallada de todas las mediciones, se puede consultar el Anexo 2.3, que contiene las tablas completas con las mediciones detalladas de cada muestra recopilada.

Tabla 6

Promedio de las capacitancias con el sensor SIC (c) N=2 del primer diseño

Promedios de las Capacitancias de las Disoluciones de Referencias con el Sensor (c) del Primer Diseño con Configuración N=2							
Disolución	Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
	Valor de la Capacitancia nF						
Agua		0.250	0.297	0.380	0.438	0.493	0.570
Alcohol		0.050	0.050	0.070	0.070	0.080	0.090
Mezcla		0.240	0.260	0.270	0.300	0.340	0.369

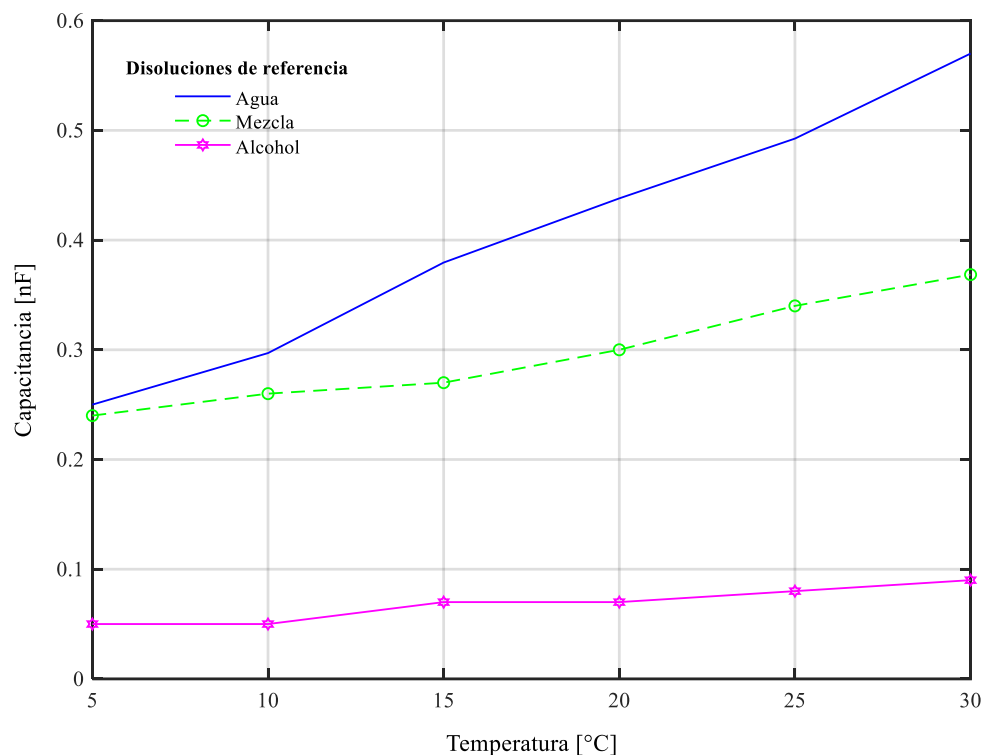
La *Figura 18*, muestra la representación gráfica del comportamiento de la Capacitancia en función de la Temperatura para las Disoluciones de Referencia, utilizando el sensor SIC (b) en configuración N=2 del primer diseño. En la gráfica, se muestra un comportamiento lineal en cada una de las sustancias, además del incremento acorde a la temperatura. Se puede analizar que existe una mayor sensibilidad, que se atribuye al grosor de las líneas de electrodos interdigitados que en este caso para el sensor (c) es de 0.8 mm, además de un menor espacio entre líneas en comparación al sensor (a) y (b) con una distancia de 1.8 mm. Sin embargo, existe errores en donde la capacitancia no tiene cambios significativos.

Los datos utilizados para crear esta grafica se extrajeron de la *Tabla 6*. Para una observación más detallada del comportamiento de la curva de Temperatura versus Capacitancia de cada sustancia, se puede consultar *Anexo 2.3*.

Figura 18

Comportamiento de la Capacitancia del Sensor SIC (c) N=2

Caracterización de Disoluciones de referencia mediante el Sensor (c) en el Primer Diseño con Configuración N=2

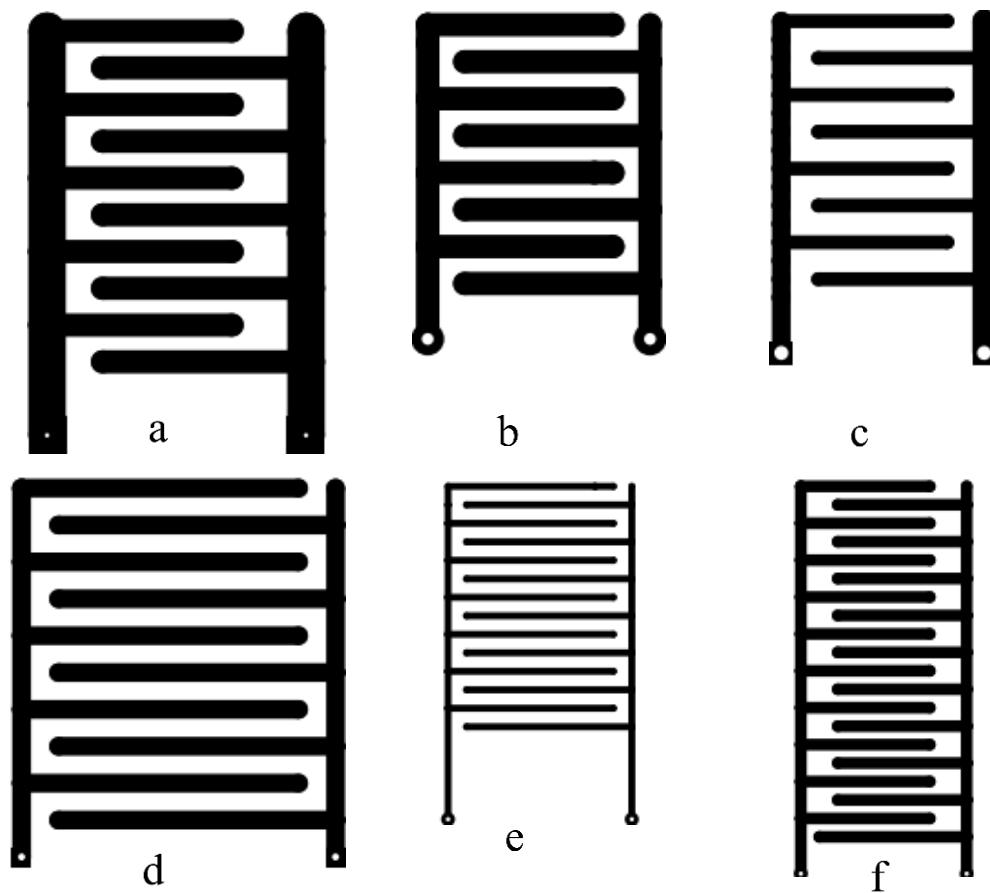


4.2.3 Segundo Diseño e implementación del sensor SIC.

Con el anterior análisis se observó que con solo dos electrodos interdigitados no posee la misma sensibilidad que aquellos con un mayor número de electrodos interdigitados, en consecuencia la sensibilidad del sensor SIC está estrechamente relacionada con la cantidad de electrodos interdigitados que se emplea, al crear una superficie más extensa que interactúa con la sustancia que se está midiendo permitiendo detectar cambios más sutiles en las disoluciones de referencia donde se realizó el monitoreo. Este segundo diseño de sensores SIC se realizó en el software Proteus, tal como se ilustra en la *Figura 19*. Estos sensores se crearon con diferentes cantidades de electrodos interdigitados y fueron diseñados con el propósito de realizar pruebas utilizando Disoluciones de Referencia en un rango de temperaturas que varió desde 5°C hasta 30°C.

Figura 19

Segundo diseño realizado en proteus de sensores SIC.



La *Tabla 7* presenta las características de los sensores SIC del segundo diseño, los cuales se visualizan en la *Figura 19*. En esta tabla, se detallan aspectos como el tamaño, el número de líneas, el ancho entre líneas y el espacio entre ellas, los cuales varían en comparación con el primer diseño. Con esto se realizó un análisis a partir de líneas de electrodos interdigitados, además de cambios geométricos, estos dos aspectos influyen en el comportamiento de la capacitancia.

Tabla 7

Propiedades Físicas de los sensores SIC del segundo diseño.

Características del Segundo Diseño de los Sensores SIC				
Sensor	Número de líneas	Espacio entre líneas (mm)	Ancho de líneas (mm)	Tamaño (L*A) (mm)
A	10	0.8	1.8	24*16.1
B	8	0.8	1.8	18.5*13.2
C	8	1.8	0.8	19.2*12.1
D	10	1	1	21*18
E	14	0.6	0.4	18.4*10.4
F	20	0.4	0.6	22.7*9.4

Después de realizar el segundo diseño los Sensores SIC, se procedió a la etapa de fabricación, donde se empleó el mismo método aplicado con el primer diseño, en la *Figura 19*, se puede observar los sensores ya impresos en baquelita.

4.2.3.1 Toma de pruebas con los sensores c, d y f del segundo diseño.

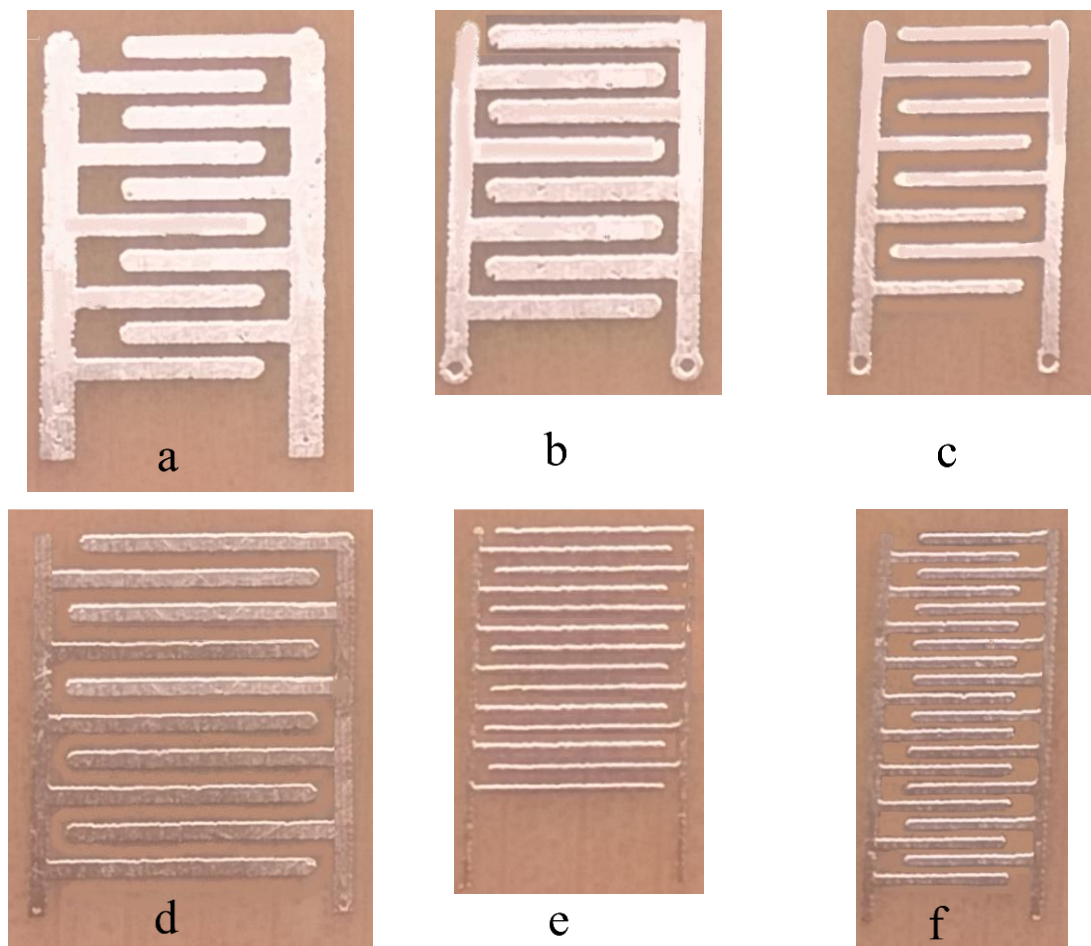
Con el fin de llevar a cabo estas pruebas, se seleccionaron los sensores c, d y f del segundo diseño realizado, ver en *Figura 19*; para tomar los datos y capacitancias de las Disoluciones de Referencia en un rango de temperatura que abarco dese 5°C hasta 30°C, en intervalos de 5°C, en cada punto de temperatura se recopiló 20 muestras de capacitancia de cada Disolución. Las muestras se obtuvieron manualmente al tomar 200 ml de cada una de las soluciones y sumergir el sensor en un beaker para medir la capacitancia usando el multímetro RLC.

A partir de estas mediciones se calculó el promedio correspondiente, con el propósito de representar gráficamente el comportamiento de las curvas de Capacitancia Vs Temperatura de disoluciones de Referencia.

La elección de estos sensores se basó en la diferencia en el número de electrodos interdigitados y otras dimensiones geométricas. Con base a esto se pudo realizar un análisis de la medición de la capacitancia y el comportamiento de los sensores al entrar en contacto con las Disoluciones de Referencia, este comportamiento se puede observar en las *Figuras 20, 21 y 22*.

Figura 20

Fabricación sensores SIC del segundo diseño, con método de planchado



4.2.3.2 Análisis del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura, con el sensor SIC (c) en configuración N=8 del Segundo Diseño.

La *Tabla 8*, muestra el promedio de la capacitancia de cada Disolución de Referencia en cada punto de temperatura, obtenidas a través del sensor SIC (c) del segundo diseño con Configuración N=8. En estos resultados se puede observar una mayor sensibilidad ante los cambios de capacitancia generados por la variación de temperatura. Sin embargo, se muestra que la capacitancia del agua no es mayor a la de la mezcla, generando un error al momento de la toma de datos, esto también puede ser causado por pequeños errores en la impresión del sensor y la manipulación de las disoluciones.

Para obtener información detallada de todas las mediciones, se puede consultar el *Anexo 3.1.*, que contiene las tablas completas con las mediciones detalladas de cada muestra recopilada.

Tabla 8

Promedio de las capacitancias con el sensor SIC (c) N=8 del segundo diseño

Promedios de las Capacitancias de las Disoluciones de Referencias con el Sensor (c) del Segundo Diseño con Configuración N=8						
Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
	Valor de la Capacitancia nF					
Disolución						
Agua	0.139	0.142	0.157	0.154	0.163	0.173
Alcohol	0.128	0.134	0.137	0.141	0.145	0.149
Mezcla	0.140	0.146	0.151	0.158	0.166	0.180

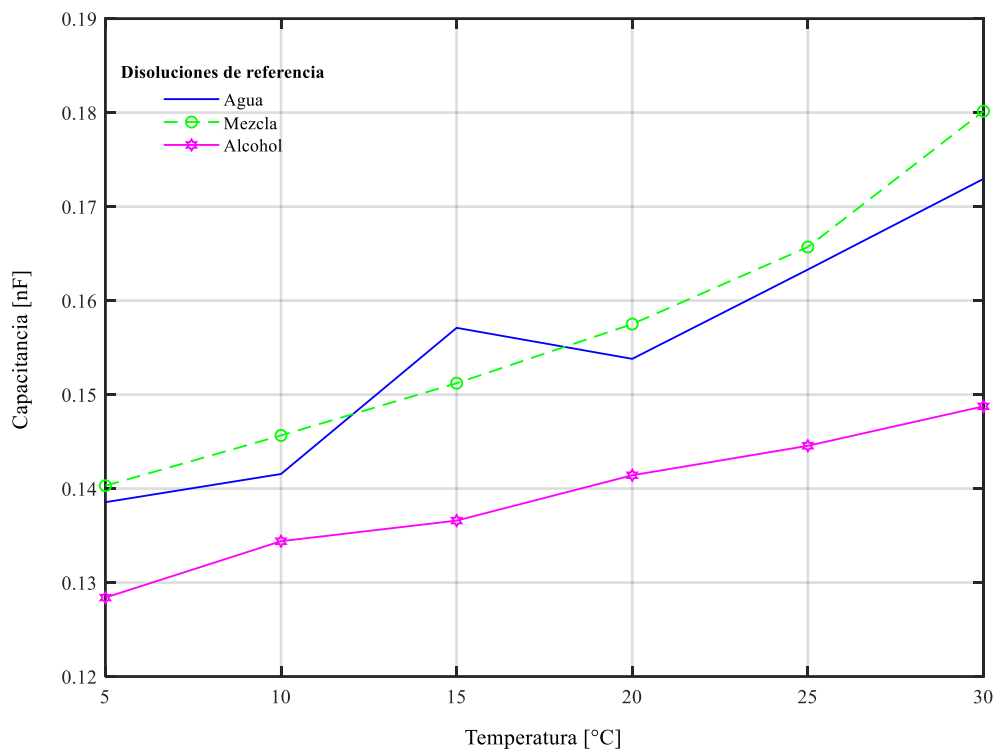
La *Figura 21*, muestra la representación gráfica del comportamiento de la Capacitancia en función de la Temperatura para las Disoluciones de Referencia, utilizando el sensor SIC (c) en configuración N=8 del segundo diseño. En la figura, se puede notar una falta de consistencia en los valores de capacitancia del agua, ya que algunos de ellos se sitúan por debajo de los correspondientes a la mezcla, principalmente a 10 y 20 grados Celsius donde se ve una mayor incidencia. Este error puede causarse por posibles problemas en el aislamiento del sensor. Sin embargo, a pesar de que las curvas características no son las ideales, se observa un aumento exponencial y con una mayor variación en la capacitancia.

Los datos utilizados para crear esta grafica se extrajeron de la *Tabla 8*. Para una observación más detallada del comportamiento de la curva de Temperatura versus Capacitancia de cada sustancia, se puede consultar *Anexo 3.1*.

Figura 21

Comportamiento de la Capacitancia del Sensor SIC (c) $N=8$

Caracterización de Disoluciones de referencia mediante el Sensor (c) en el Segundo Diseño con Configuración $N=8$



4.2.3.3 *Análisis del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura, con el sensor SIC (d) en configuración $N=10$ del Segundo Diseño.*

La *Tabla 9*, muestra el promedio de la capacitancia de cada Disolución de Referencia en cada punto de temperatura, obtenidas a través del sensor SIC (d) del segundo diseño con Configuración $N=10$. Con estos resultados, se evidencia una mejora en comparación con el sensor (c), el cual tiene menos líneas de electrodos interdigitados. Esta mejora se debe a que tiene una mayor sensibilidad de este sensor. Sin embargo, tanto el alcohol como la mezcla muestran un cambio mínimo al interactuar con las variaciones de temperatura lo que significa que no hay cambios significativos en la capacitancia.

Para obtener información detallada de todas las mediciones, se puede consultar el *Anexo 3.2*, que contiene las tablas completas con las mediciones detalladas de cada muestra recopilada.

Tabla 9

Promedio de las capacitancias con el sensor SIC (d) N=10 del segundo diseño

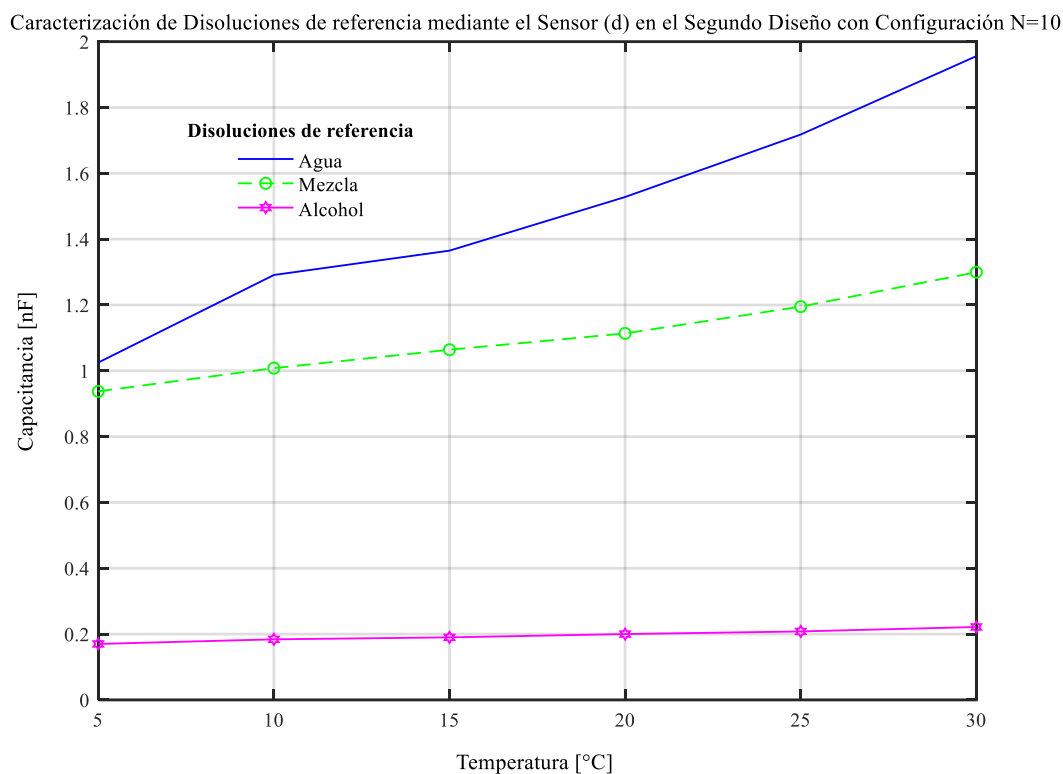
Promedios de las Capacitancias de las Disoluciones de Referencias con el Sensor (d) del Segundo Diseño con Configuración N=10						
Disolución \ Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
	Valor de la Capacitancia nF					
Agua	1.025	1.291	1.365	1.528	1.718	1.956
Alcohol	0.170	0.184	0.190	0.200	0.208	0.222
Mezcla	0.938	1.008	1.064	1.114	1.195	1.300

La *Figura 22*, muestra la representación gráfica del comportamiento de la Capacitancia en función de la Temperatura para las Disoluciones de Referencia, utilizando el sensor SIC (d) en configuración N=10 del segundo diseño. En esta figura se muestra cómo se obtiene un comportamiento característico de las tres disoluciones, pero se muestra que el alcohol no tiene una variación significativa con una capacitancia muy mínima.

Los datos utilizados para crear esta grafica se extrajeron de la *Tabla 9*. Para una observación más detallada del comportamiento de la curva de Temperatura versus Capacitancia de cada sustancia, se puede consultar *Anexo 3.2*.

Figura 22

Comportamiento de la Capacitancia del Sensor SIC (d) N=10



4.2.3.4 Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura, con el sensor SIC (f) en configuración N=20 del Segundo Diseño.

La Tabla 10, muestra el promedio de la capacitancia de cada Disolución de Referencia en cada punto de temperatura, obtenidas a través del sensor SIC (f) del segundo diseño con Configuración N=20. Los resultados de capacitancia revelan una variación más significativa y una mayor sensibilidad, ya que se observa que la capacitancia cambia de manera más pronunciada en respuesta a las variaciones de temperatura, esto debido a las 20 líneas de electrodos interdigitados, a su tamaño y al espacio que hay entre ellas.

Para obtener información detallada de todas las mediciones, se puede consultar el Anexo 3.3, que contiene las tablas completas con las mediciones detalladas de cada muestra recopilada.

Tabla 10

Promedio de las capacitancias con el sensor SIC (f) N=20

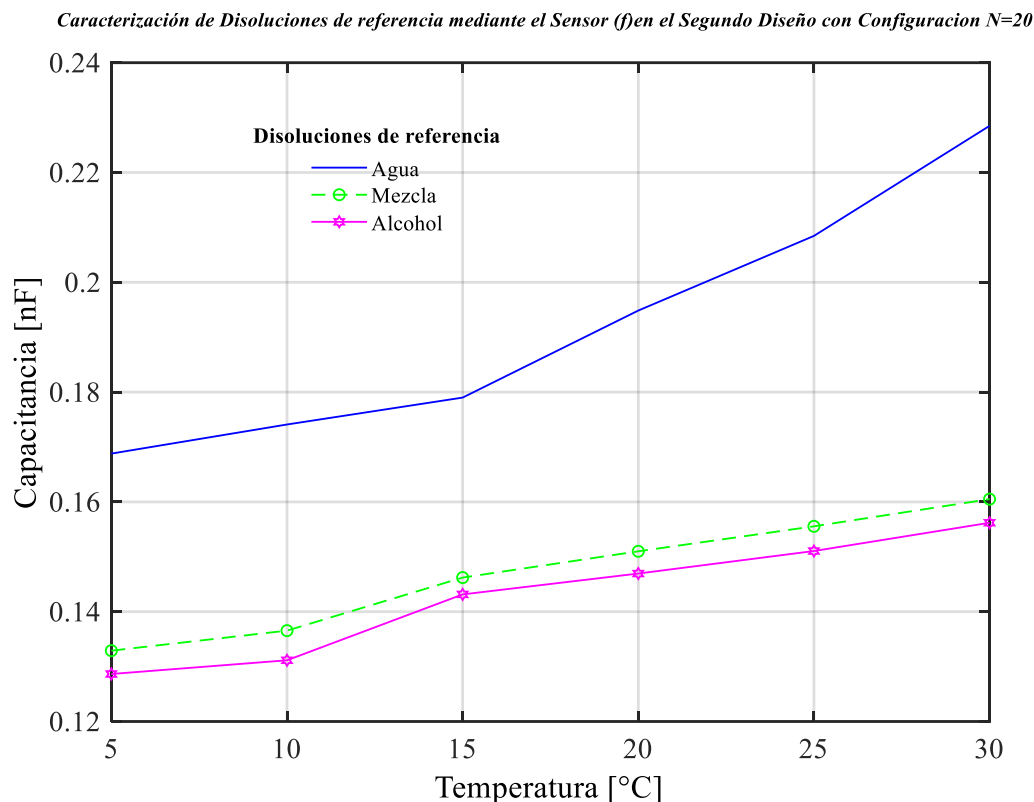
Promedios de las Capacitancias de las Disoluciones de Referencias con el Sensor (f) del Segundo Diseño con Configuración N=20							
Disolución	Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
	Valor de la Capacitancia nF						
Agua		0.169	0.174	0.179	0.195	0.208	0.229
Alcohol		0.129	0.131	0.143	0.147	0.151	0.156
Mezcla		0.133	0.137	0.146	0.151	0.156	0.161

La *Figura 23*, muestra la representación gráfica del comportamiento de la Capacitancia en función de la Temperatura para las Disoluciones de Referencia, utilizando el sensor SIC (f) en configuración N=20 del segundo diseño. En la gráfica se evidencia un comportamiento exponencial en las tres disoluciones, acompañado de una variación de capacitancia significativa. Esto sugiere que el número de líneas, su grosor y espacio entre ellas influyen en la sensibilidad del sensor ante las variaciones de capacitancia.

Los datos utilizados para crear esta grafica se extrajeron de la *Tabla 10*. Para una observación más detallada del comportamiento de la curva de Temperatura versus Capacitancia de cada sustancia, se puede consultar *Anexo 3.3*.

Figura 23

Comportamiento de la Capacitancia del Sensor SIC (f) N=20



4.2.4 Implementación Final de sensor SIC N=30 para la toma de muestras en Disoluciones de Referencia a temperaturas de 5° a 30° Celsius.

Para llevar a cabo las pruebas finales, se implementó un sistema de monitoreo de temperatura con el propósito de evitar el contacto directo con las disoluciones de referencia para poder garantizar la integridad de los datos de la capacitancia. La creación del sistema de monitoreo siguió los siguientes pasos.

4.2.4.1 Diseño del Sistema de Monitoreo de Temperatura.

En el marco de este proyecto, se recurrió al uso de una impresora 3D para la creación de un prototipo funcional, cuyo objetivo es aislar una sustancia específica durante el control de temperatura. Inicialmente, se plasmaron las ideas en un software de diseño asistido por computadora, SOLIDWORKS, el cual permitió crear un modelo digital tridimensional del

diseño. A partir de esto, la impresora 3D produjo un prototipo físico, se llevaron a cabo varias correcciones y mejoras del prototipo inicial. Una vez que los ajustes fueron incorporados en el diseño, se procedió a imprimir el prototipo final utilizando Poliácido Láctico (PLA) como material, a través del método de impresión aditiva. Para asegurar su correcto funcionamiento, se utilizó una máquina CNC para la impresión y perforación de dos placas esenciales: una destinada a la unificación de tierras de las motobombas y el drive, y la otra encargada del acondicionamiento de la señal del sensor DS18B20. en la *Figura 24*, se pueden observar los programas que se usó para el diseño y la creación del sistema de monitoreo de temperatura.

Figura 24.

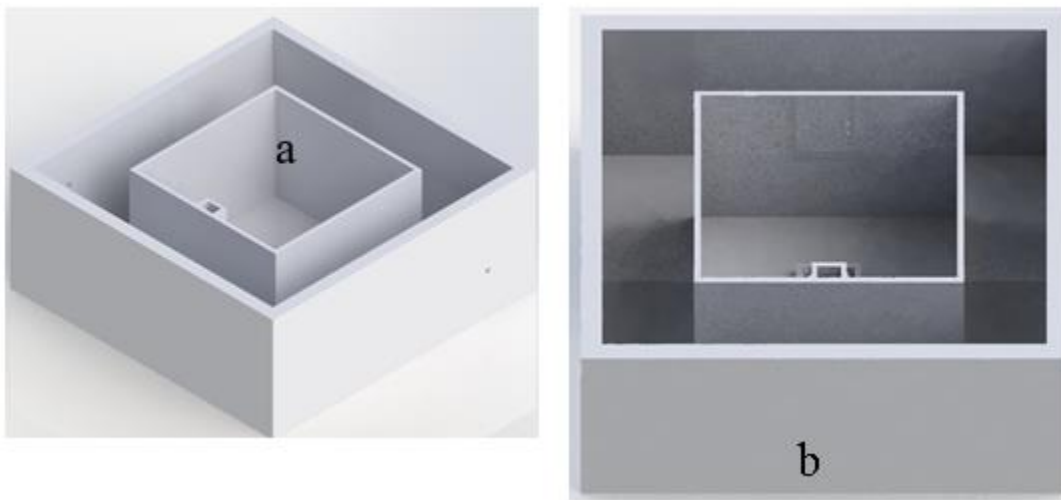
Programas para diseño e impresión del Sistema de Monitoreo



Durante las primeras pruebas manuales, el monitoreo de temperatura resulta un poco desafiante. Como respuesta a la limitación, se decidió desarrollar un prototipo más preciso en el monitoreo de la temperatura. En esta configuración, se aisló la disolución en una caja interna (a), mientras que en una caja externa (b) se estableció un sistema de flujo de agua para controlar la variación de temperatura. El diseño se puede ver en la *Figura 25*.

Figura 25

Diseño del sistema de flujo de agua para variación de temperatura



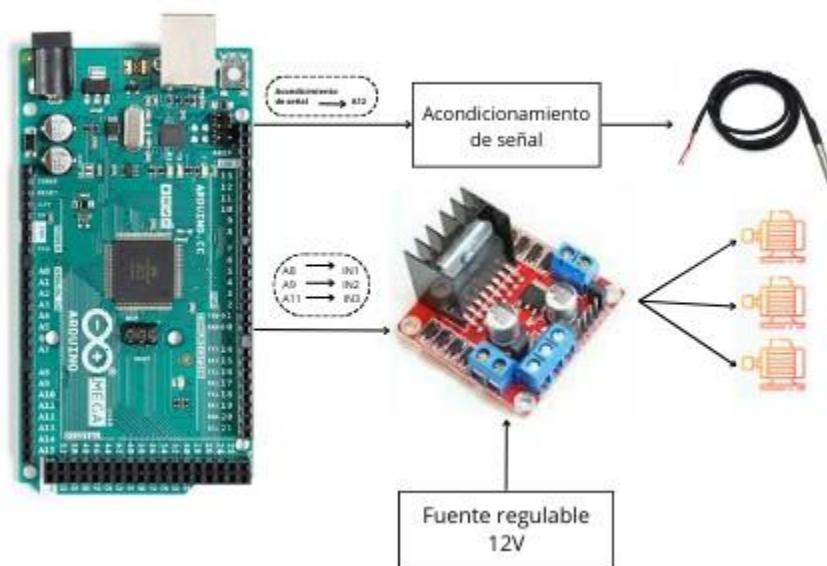
Para la impresión del diseño se usó la impresora de las instalaciones del laboratorio de la Universidad CESMAG, esta impresión fue con PLA.

4.2.4.2 Sistema de Monitoreo de Temperatura

Para el monitoreo de temperatura, se implementó un montaje que involucró los elementos representados en el diagrama de la Figura 26. Este conjunto incluyó componentes clave como el controlador H L298N, un Arduino Mega, tres motobombas sumergibles y un sensor de temperatura DS18B20.

Figura 26

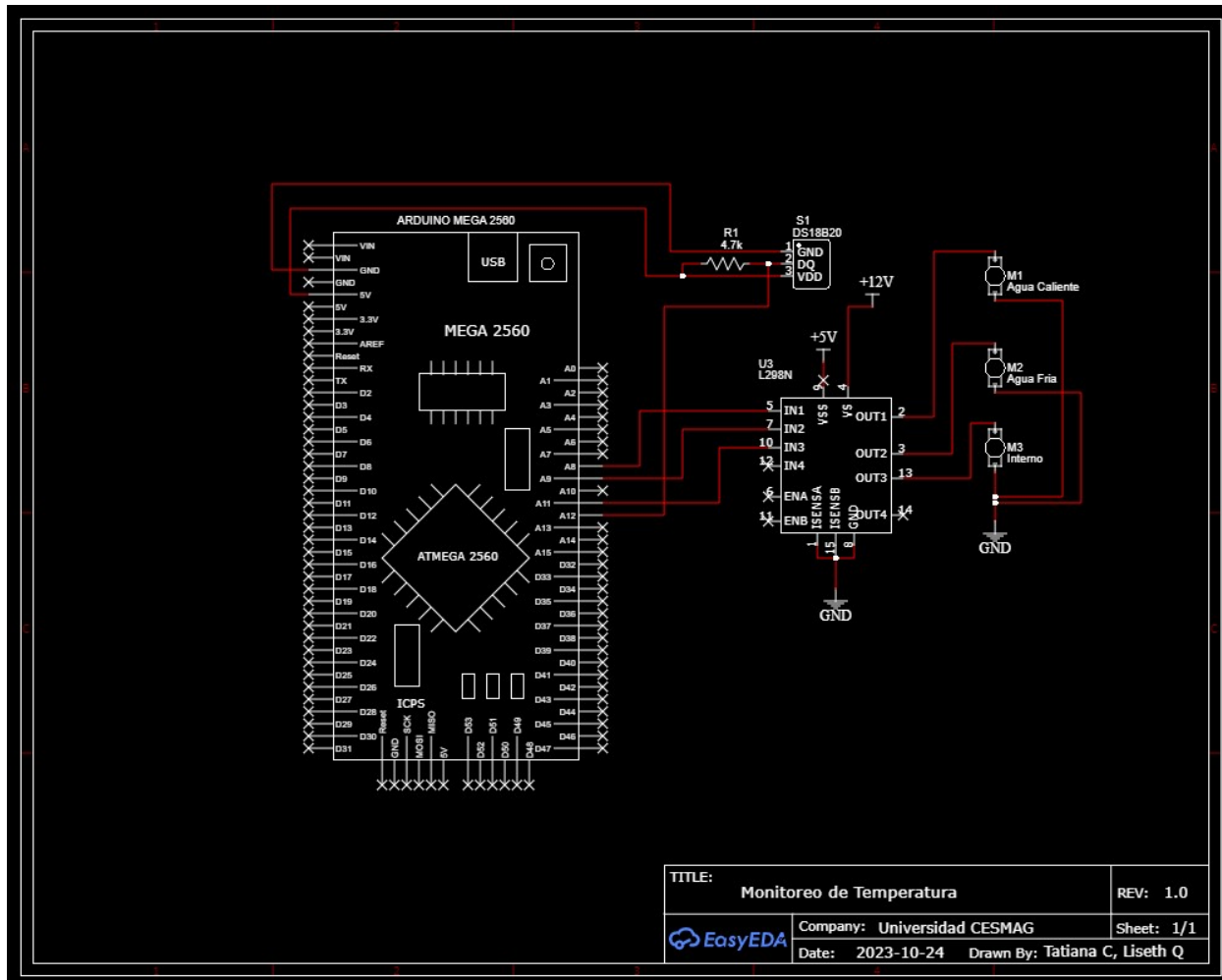
Esquema de conexiones de Monitoreo de Temperatura



En el sistema de monitoreo de temperatura, se utilizó un conjunto de componentes para lograr un control preciso de las condiciones de temperatura. Este conjunto incluye un controlador de potencia puente H L298N, que se conectó a las motobombas sumergibles encargadas de modificar la temperatura de las disoluciones de referencia alojadas en la caja interna. Estas motobombas funcionan con una fuente de alimentación de 12V. Además, se empleó un Arduino Mega para gestionar tanto el funcionamiento de las motobombas como la lectura del sensor DS18B20. Los pines 8, 9 y 11 del Arduino se asignaron al control de las motobombas, mientras que el pin 12 se utilizó para alimentar la termocupla, para esto se realizó circuito de esquemático de conexiones, el cual se puede observar en la *Figura 27*.

Figura 27

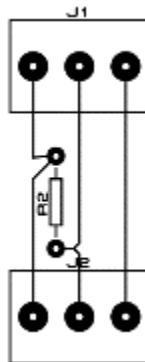
Circuito Esquemático de Conexiones



Para conectar el sensor DS18B20, se realizó una polarización de la señal y el voltaje mediante el uso de una resistencia de 4.7k ohm como se observa en la *Figura 28*.

Figura 28

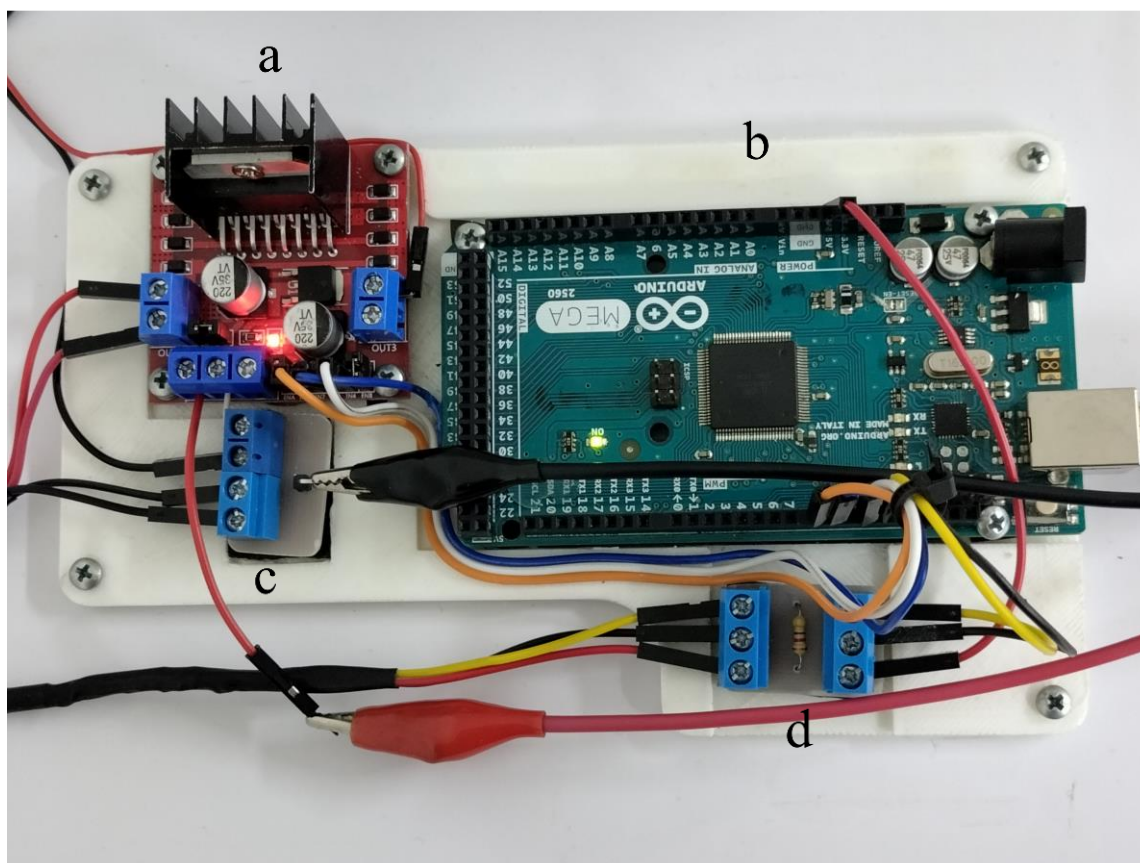
Polarización de la señal



En cuanto a la gestión de tierras, se diseñó un sistema donde las tierras de entrada se condicionaron y se canalizaron hacia una única tierra de salida, que se conectó directamente a la fuente dual de 12V. Tanto el diseño del acondicionamiento de señal como la configuración de tierras se llevaron a cabo utilizando el software Proteus, y la impresión de los circuitos se realizó mediante una máquina CNC disponible en la Universidad CESMAG. En la *Figura 29* se puede detallar las conexiones del sistema de monitoreo de temperatura.

Figura 29

Sistema de monitoreo y temperatura



Nota. en la figura 29 se puede ver que a) Drives de potencia, b) Sistema microcontrolador, c) Unificación de tierras, d) Acondicionamiento de señal

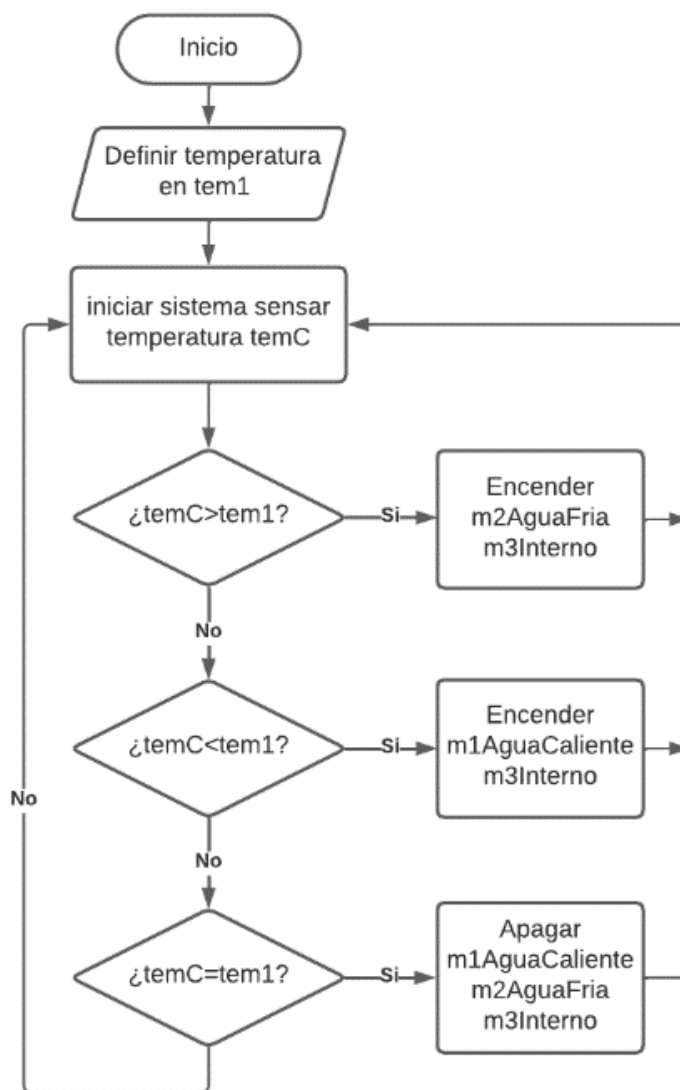
4.2.3.2.1 Código de monitoreo de temperatura

El código del sistema de monitoreo de temperatura se describe a través de un diagrama de flujo. Ver *Figura 30*. En este sistema, se establece la temperatura deseada para la disolución que se va a muestrear. Luego, el sistema entra en un ciclo continuo de sensado de la temperatura de la disolución que se encuentra en la caja interna. Donde se establece un condicional que determina Si la temperatura de la disolución es mayor que la temperatura definida, se activa una motobomba que introduce agua fría y también se activa una motobomba que va a estar siempre encendida para extraer el agua sobrante, creando un flujo constante de agua para enfriar la disolución. Por otro lado, si la temperatura de la disolución es menor que la temperatura definida, se enciende una motobomba para introducir agua caliente. En caso de que la temperatura de la

disolución alcance la temperatura definida, se apagan las tres motobombas, y el sistema permanece en espera hasta que se registren los datos de capacitancia generados por el sensor SIC y mostrados por el multímetro RLC. Este ciclo de sensado y monitoreo de temperatura se mantuvo activo de manera continua para garantizar que la solución se mantenga en las temperaturas desde los 5° hasta los 30°C que se especificó en cada toma de muestras. El código detallado se muestra en el *Anexo 4*.

Figura 30

Diagrama de bloques para el sistema de monitoreo de temperatura

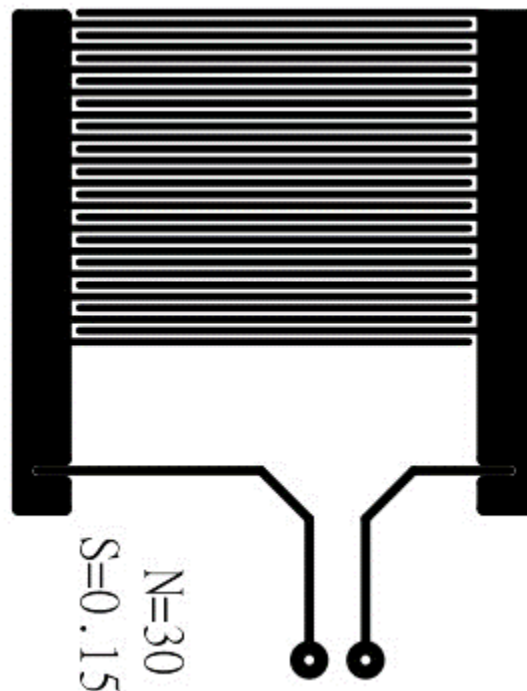


4.2.4.3 Diseño y Ejecución de Pruebas Experimentales con el Sensor SIC N=30.

El proceso de diseño del sensor interdigitado capacitivo (SIC) se llevó a cabo utilizando el software de diseño electrónico Proteus, específicamente la extensión PCB Layout. Para definir las dimensiones y la configuración de las líneas de electrodos interdigitados, se utilizaron herramientas circulares, rectangulares y cuadradas para los pines de conexión al sensor. El diseño resultante se muestra en la *Figura 31*.

Figura 31.

Diseño Sensor Interdigitado Capacitivo (SIC)



El diseño se basó en un análisis previo y en las ecuaciones pertinentes, considerando que los sensores con un mayor número de líneas de electrodos interdigitados tienden a ser más sensibles a las variaciones de capacitancia. Por lo tanto, se decidió utilizar 30 líneas en el diseño. Además, se prestó atención al espacio y al ancho de las líneas, con valores de 0.15 mm y 0.2 mm, respectivamente, para minimizar errores en las mediciones. Las características de diseño se detallan en la *Tabla 11*.

Tabla 11.*Dimensiones del diseño del Sensor SIC N=30*

Características de Diseño del Sensor SIC N=30			
# Líneas	Espacio entre líneas (mm)	Ancho de líneas (mm)	Tamaño (L*A) (mm)
30	0.15	0.2	19.9*15

La impresión del sensor SIC se realizó en una empresa líder de fabricación de PCB (PCBWay) en China. Tienen la capacidad de fabricar mediante procesos químicos y revestimiento de cobre, evitando el uso de adhesivos conductores. El sensor paso por rigurosas pruebas de revestimiento de cobre, AOI (Automated Optical Inspection) esta es una tecnología de inspección óptica automatizada utilizada en la fabricación de placas de circuito impreso (PCB). Esto garantiza calidad y confiabilidad en la detección de posibles defectos de fabricación. El sensor SIC cuenta con especificaciones de elaboración además del tamaño que se muestra en la *Tabla 11*. Entre ellos son 2 capas, un grosor de 1.6mm, un revestimiento o espesor de cobre en la placa de 1oz y un acabado de superficie HASL que es un tipo de plomo que tiene un acabado para proteger la superficie de cobre de la placa. Además de una máscara aislante roja. El sensor impreso se puede visualizar en la *Figura 32*.

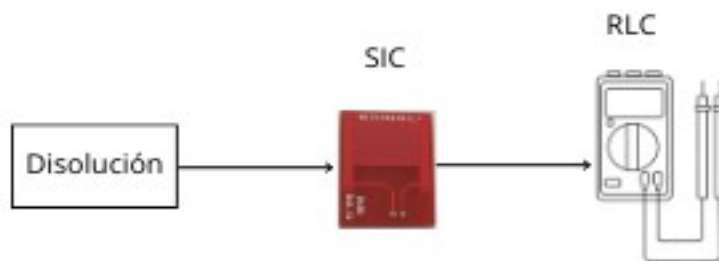
Figura 32*Fabricación del sensor SIC N=30*

4.2.5 Toma de pruebas con el sensor SIC N=30

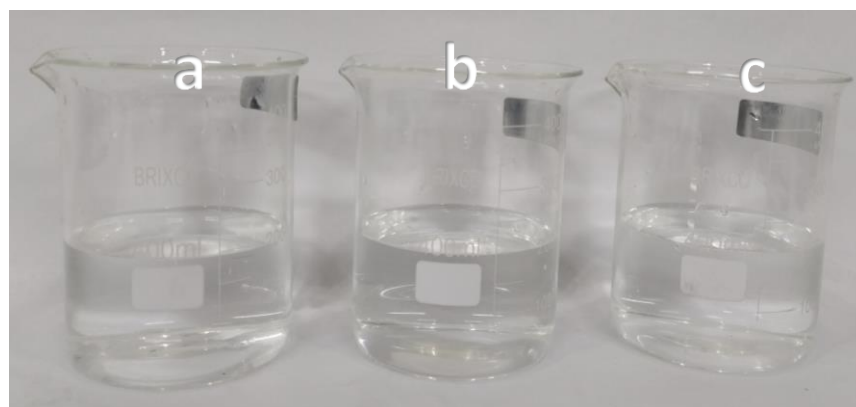
En el diagrama de la *Figura 33*, representa el proceso de toma de muestras de capacitancia. El sensor SIC se sumerge en las sustancias de referencia y se conecta a un multímetro RLC que registra y muestra los resultados de la capacitancia medida.

Figura 33.

Sistema de Toma de Datos



Para el proceso de la toma de muestras se escogió tres diferentes disoluciones de referencia 200 ml de Agua pura, 200 ml de Alcohol 70% y 200 ml y Disolución Agua pura y Alcohol 70% como se detalla en la *Figura 34*. Esta última es una mezcla equitativa de agua y alcohol, se permitió que esta sustancia reposara durante una semana para lograr una completa homogeneización. Es importante destacar que, al realizar esta mezcla, se genera una interacción especial entre las moléculas de agua y alcohol, resultando en una fuerte cohesión que provoca un significativo aumento en la temperatura de la mezcla.

Figura 34*Disoluciones de Referencia.*

Nota. en la figura 34 se puede observar las disoluciones de referencia, donde (a): 200 ml de Agua pura (b) 200 ml de Alcohol 70%. (c) 200 ml Disolución Agua pura y Alcohol 70%

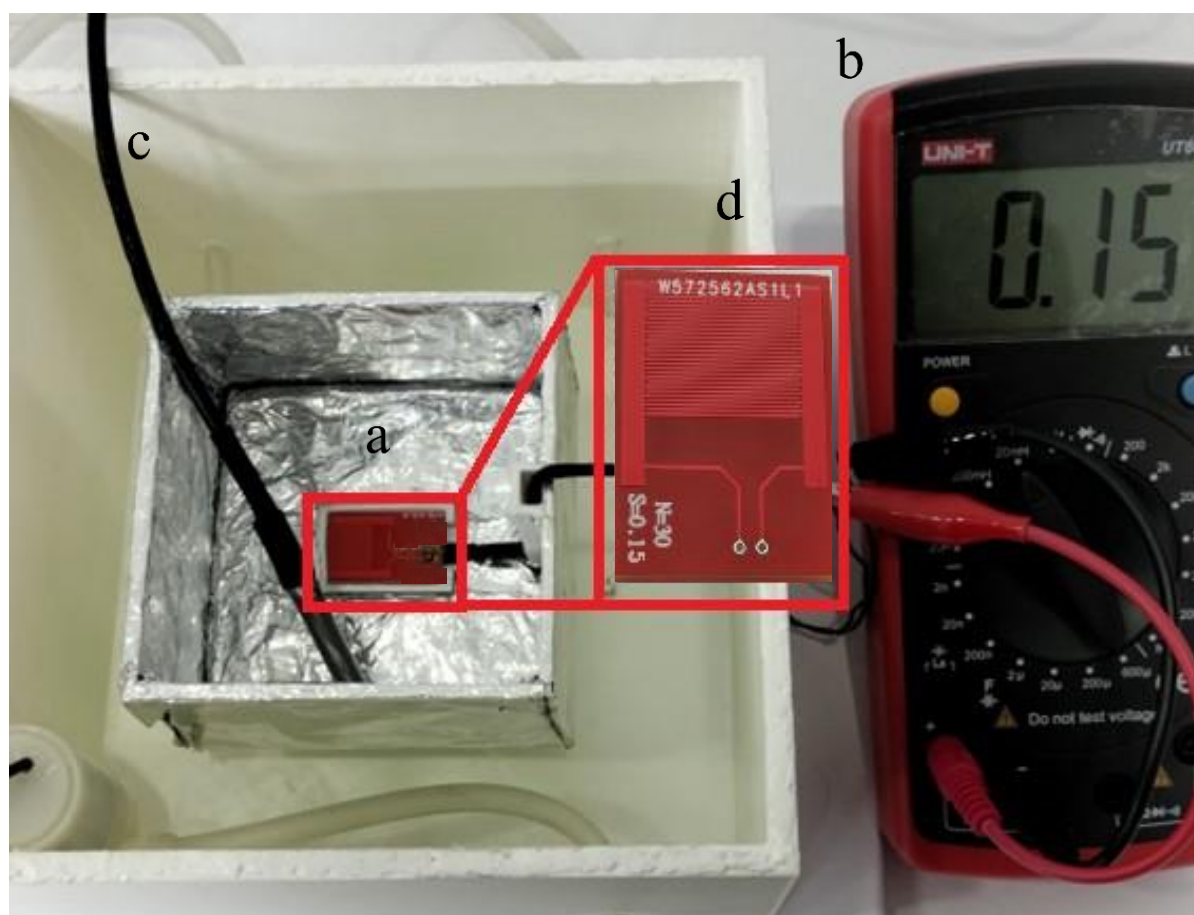
En el proceso de adquisición de datos de capacitancia generado por el sensor SIC, se tomaron las disoluciones de referencia mencionadas previamente y se colocaron en la caja interna, la cual fue recubierta con papel aluminio para facilitar un cambio rápido de temperatura.

La temperatura de la caja interna se midió utilizando el sensor DS18B20, el cual está conectado al pin 12 de la placa de Arduino MEGA. A través de un programa en Arduino, los datos de temperatura se visualizaron mediante el puerto serial.

Para la medición de capacitancia, se conectó el multímetro RLC a los dos cables del sensor SIC, que se sumergió en las disoluciones de referencia. La disposición real de la toma de datos se observa en la *Figura 35*.

Figura 35

Toma de pruebas con Sensor SIC

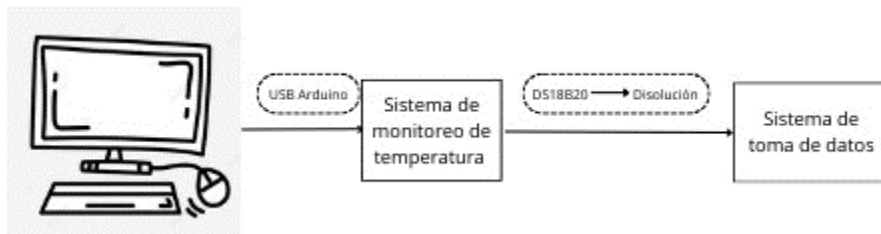


Nota, en la figura 30 se observa la toma de pruebas con Sensor SIC, donde a) Solución, b) Multímetro RLC, c) Sensor DS18B20 y d) Sensor sic

El esquema general e conexiones del proyecto se presenta en la *Figura 36*, en este se puede ver las diferentes etapas de la toma de datos del Sensor SIC.

Figura 36

Diagrama general del proyecto

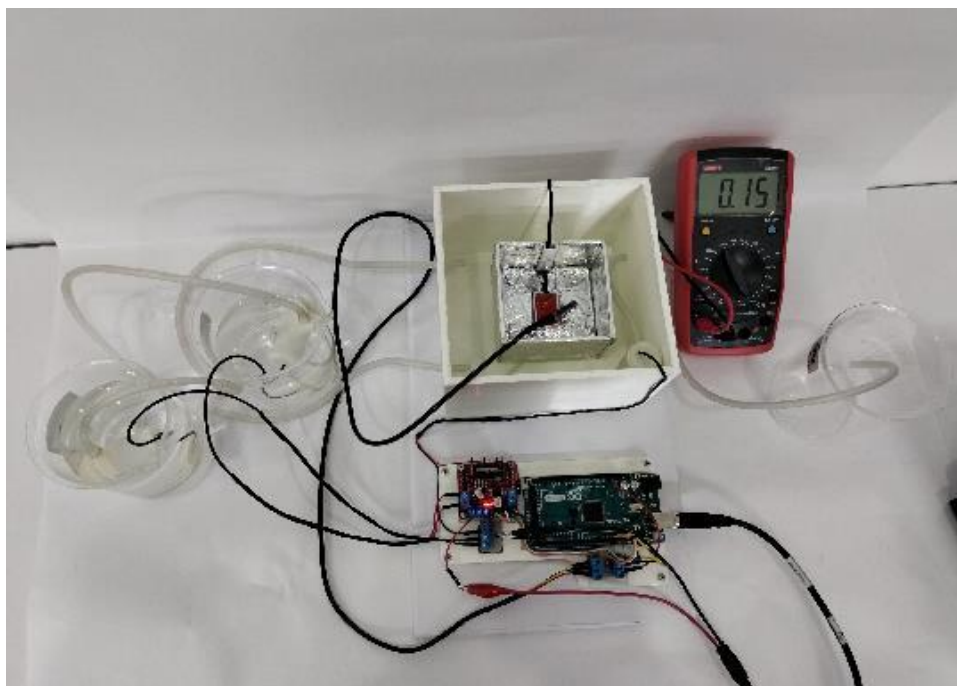


Durante la toma de muestras, se generaron 20 conjuntos de datos de capacitancia para cada temperatura en las tres disoluciones de referencia. Se encontraron ciertas dificultades, como la influencia significativa de la temperatura ambiente en la velocidad de cambio de la temperatura de las disoluciones. Durante la toma de muestras, se garantizó que el sensor SIC se mantuviera en óptimas condiciones de limpieza entre los cambios de las diversas muestras, considerando las variaciones en las concentraciones, con el fin de minimizar el error experimental. Además, se llevó a cabo un proceso de esterilización del prototipo utilizado en la toma de muestras entre cada ciclo de medición.

La *Figura 37* proporciona una representación visual de cómo se llevó a cabo la adquisición de datos de capacitancia.

Figura 37

Toma de pruebas



4.2.5.1 Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura, con el sensor SIC N=30.

La capacitancia que se muestra en la *Tabla 12* revela un comportamiento característico de las tres soluciones. A medida que la temperatura aumenta, la capacitancia también experimenta un incremento gradual, lo que indica que el sensor posee una notable sensibilidad al interactuar con las disoluciones de referencia mencionadas anteriormente. La tabla completa donde se ven los cambios de capacitancia en cada toma se observa en el *Anexo 5*.

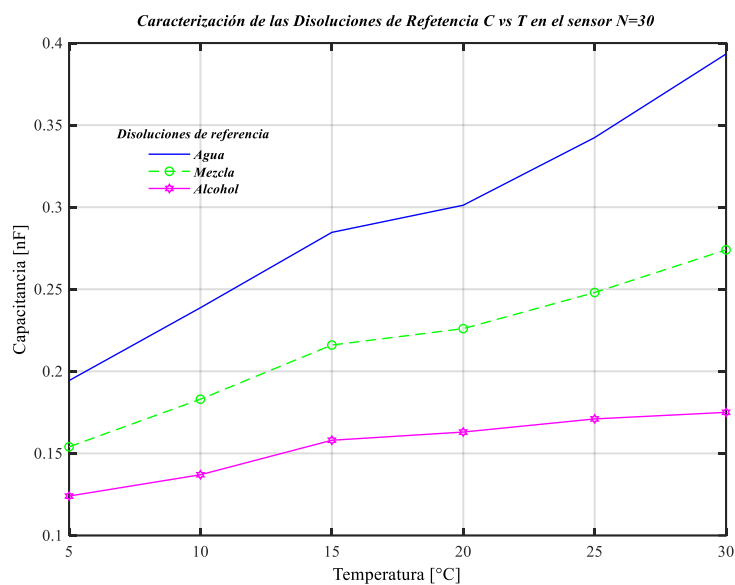
Tabla 12

Promedio de las capacitancias, tomadas con el Sensor SIC N=30

Promedios de las Capacitancias de las Disoluciones de Referencias con el Sensor SIC N=30						
Temperatura Disolución	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
Valor de la Capacitancia nF						
Agua	0.194	0.239	0.285	0.301	0.342	0.393
Alcohol	0.124	0.137	0.158	0.163	0.171	0.175
Mezcla	0.154	0.183	0.216	0.226	0.248	0.274

La *Figura 38* se observa la gráfica del comportamiento de las capacitancias de la *Tabla 12*, se observa claramente que se generan unas curvas de crecimiento exponencial en las tres disoluciones de referencia, además de comprobar la sensibilidad que genero el sensor SIC ante los cambios producidos. Cada una de las gráficas a detalle se la visualiza en el *Anexo 5*.

Figura 38 Comportamiento de la Capacitancia del Sensor SIC N=30



5. Análisis y discusión de los resultados.

En este capítulo, se presenta un análisis del cálculo experimental de la capacitancia del sensor SIC. Este análisis contribuye a la determinación de la permitividad en diversas concentraciones de alcohol para poder determinar el error porcentual en cada sensado, con el fin de evaluar y garantizar la fiabilidad de las mediciones y la precisión del sensor.

5.1.1 Cálculo de la Capacitancia del sensor SIC N=30

La capacitancia de un Sensor Interdigitado Capacitivo (SIC) depende de varios factores que están relacionados con su diseño, incluyendo la geometría de los dedos interdigitados, el material dieléctrico utilizado y la separación entre los dedos, así como las condiciones ambientales y el potencial eléctrico aplicado. Estos factores se combinan para determinar la respuesta dieléctrica el SIC a las magnitudes que está diseñado para medir.

Cuanto mayor sea el área efectiva de superficie creada por los dedos y menor la separación entre ellos, mayor será la capacitancia, la separación entre dedos interdigitados influye inversamente en la capacitancia, a medida que reduce la distancia entre los dedos, la capacitancia aumenta, ya que las cargas eléctricas pueden acumularse más cerca una de otras.

La capacitancia es una propiedad eléctrica fundamental que se utiliza en la medición de diversas magnitudes como la humedad, la densidad, la distancia, en entre otras, es el caso de esta investigación se la usa para medir la concentración de alcohol en las Disoluciones de Referencia.

Como la capacitancia del sensor SIC, no se puede calcular directamente se optó por calcularla de la siguiente manera.

$$C_a = C_c + C_0 \quad (27)$$

En donde:

C_a : Capacitancia del aire

C_c : Capacitancia de los cables

C_0 : Capacitancia del SIC

Para poder calcular la capacitancia del sensor SIC, a la capacitancia del aire se le resta la capacitancia de los cables, lo cual da como resultado la capacitancia del SIC.

$$C_0 = C_a - C_c \quad (27)$$

La capacitancia de un Sensor Interdigitado Capacitivo (SIC) es específica para cada sensor y depende de las características antes mencionadas; las características del sensor se las puede ver en la *Tabla 11*.

Se reemplaza en la Ec. (27), la capacitancia del aire y la capacitancia del cable, al realizar la resta da como resultado la capacitancia del sensor.

$$C_0 = 0.022nF - 0.018nF \quad (27)$$

La Capacitancia para el sensor SIC N=30, diseñado con base a esta investigación es:

$$C_0 = 0.004nF \quad (27)$$

5.1.2 *Cálculo de la Permitividad del sensor SIC N=30*

La permitividad de la sustancia es directamente proporcional a la capacitancia, como se puede ver en la Ec. (28).

$$\varepsilon_s = \frac{C_s}{C_0} \quad (28)$$

En donde:

ε_s : *permitividad de la sustancia*

C_s : *Capacitancia de sustancia*

C_0 : *Capacitancia del SIC*

La permitividad de las Disoluciones de encuentra con la Capacitancia de la Sustancia dividida en la Capacitancia del Sensor SIC, el valor de la capacitancia del SIC para este caso es una constante, esto debido a que cada sensor fue el usado para la toma de estos datos, para el cálculo de la permitividad de las Disoluciones de Referencia, se tomó las capacitancias de la *Tabla 12*.

$$\varepsilon_s = \frac{C_s}{0.004nF} \quad (28)$$

5.1.3 *Modelamiento de la Permitividad del Sensor SIC N=30*

A partir de los cálculos anteriores se determinó la permitividad de las disoluciones de referencia, esto con el objetivo de modelar los cambios en las permitividades relativas

relacionadas con las variaciones en la composición química de la sustancia bajo las temperaturas desde 5°C a 30°C, como se muestra en la *Tabla 13*.

Tabla 13

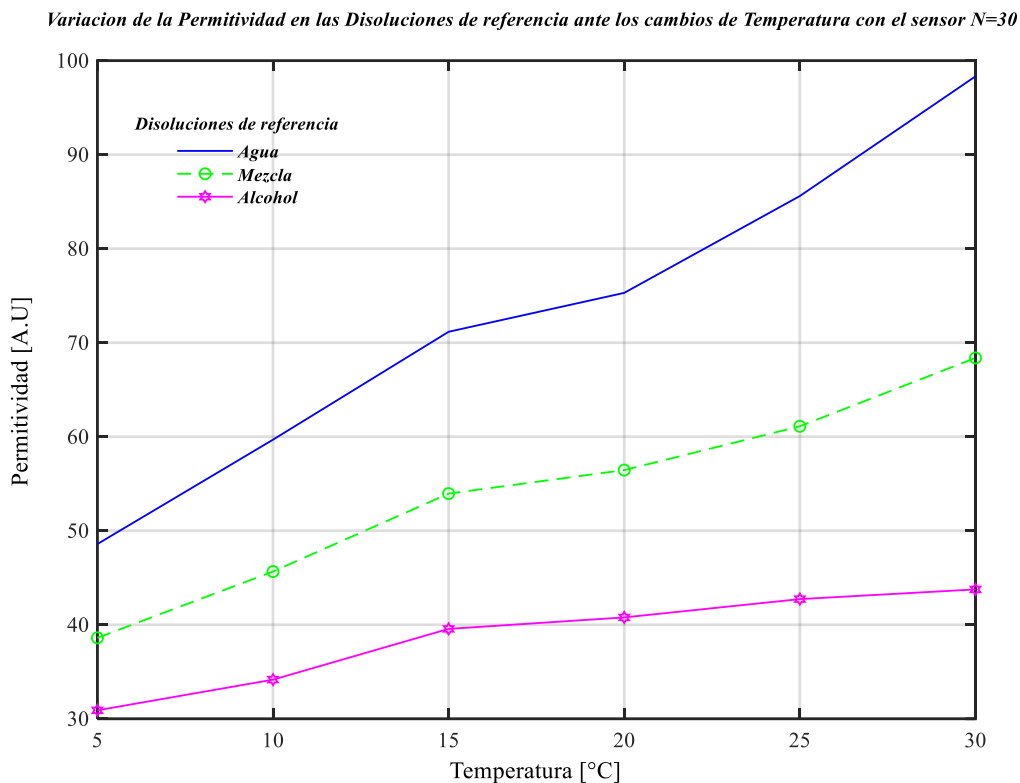
Permitividad de las Disoluciones de Referencia con el sensor SIC

Permitividad de las Disoluciones de Referencias con el Sensor SIC N=30						
Temperatura	5°C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
Disolución	Valor de la Permitividad A.U.					
Agua	48.588	59.688	71.163	75.300	85.600	98.329
Alcohol	30.900	34.163	39.563	40.775	42.725	43.763
Mezcla	38.613	45.663	53.950	56.450	62.113	68.375

En la *Figura 39*, se pueden apreciar las variaciones en la permitividad. Es importante señalar que la permitividad no posee unidades específicas, por lo tanto, se expresan en Unidades Arbitrarias (A.U). Esto se debe a que la permitividad se mide en relación con una dimensión de referencia elegida para propósitos de medición o cálculo, lo que significa que las unidades no corresponden a medidas estándar, sino que son relativas a una escala particular utilizada en el contexto del sensor SIC.

Figura 39

Comportamiento de la Permitividad del Sensor SIC N=30



5.1.4 Cálculo del porcentaje de error a partir de la permitividad usando el sensor SIC.

La permitividad de las disoluciones líquidas se modela como la suma ponderada del volumen contenido de cada soluto multiplicado por su respectiva permitividad, tal como se ilustra en la Ec. (29).

$$\varepsilon_{Liq} = (1 - P_{Con})\varepsilon_w + P_{Con} \cdot \varepsilon_A \quad (29)$$

En donde:

ε_{Liq} : permitividad del Líquido

P_{con} : porcentaje de concentración de Alcohol

ε_w : permitividad del Agua

ε_A : permitividad del Alcohol

Con el sensor SIC en primer lugar se analizaron concentraciones al 50% y en un rango de temperaturas de 5 a 30 grados Celsius, como se presenta en la *Tabla 14*. El modelo describe mediciones con un error promedio relativo de 3%.

Tabla 14*Cálculo de concentración Teórico vs Practico y error porcentual*

Permitividad de las Disoluciones de Referencia con el Sensor SIC N=30						
Temperatura	5°C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
Disolución	Valor de la Permitividad U.A.					
Agua	48.588	59.688	71.163	75.3	85.6	98.329
Alcohol 70%	30.9	34.163	39.563	40.775	42.725	43.763
Mezcla 50%	38.613	45.663	53.95	56.45	62.113	68.375
Teórico	39.744	46.925	55.363	58.038	64.163	71.046
Error Mezcla 50%	2.85%	2.69%	2.55%	2.74%	3.20%	3.76%

5.2 Integración de Diferentes Concentraciones de Alcohol en la Toma de Muestras con el Sensor SIC N=30

Posterior a la obtención de resultados en cada una de las fases del desarrollo de la investigación, se optó por realizar tres muestras adicionales de capacitancia, con concentraciones de alcohol del 15%, 30%, y 75% respectivamente, con el fin de observar con mayor detalle la capacitancia de cada sustancia, Esta etapa permitió llevar a cabo la caracterización del sensor SIC frente a distintas concentraciones de alcohol.

Para realizar un análisis más preciso en las mediciones de capacitancia, se mantuvieron las condiciones iniciales en donde se tomó para todas las muestras 200 ml de disoluciones, con el objetivo de que el sensor estuviera totalmente inmerso en cada muestra. Para obtener una concentración de 15% de alcohol, se añadieron 170 ml de agua y 30 ml de alcohol. Para una concentración del 30%, se emplearon 140 ml de agua y 60 ml de alcohol. Por último, para alcanzar un 75% de concentración de alcohol, se mezclaron 50 ml de agua con 150 ml de alcohol. Estos datos se integraron con las muestras anteriores, esta composición se detalla en la *Tabla 15*.

Tabla 15*Sustancias para la toma de pruebas*

Sustancia	Cantidad
Agua	200 ml de agua
15% Alcohol	170 ml de agua y 30 ml de alcohol 70%
30% Alcohol	140 ml de agua y 60 ml de alcohol 70%
50% Alcohol	100 ml de agua y 100 ml de alcohol 70%
75% Alcohol	50 ml de agua y 150 ml de alcohol 70%
Alcohol	200 ml de alcohol 70%

Durante la caracterización del sensor, se evidenció una alta dependencia de la capacitancia respecto a la temperatura ambiente. En las pruebas realizadas, se mantuvieron constantes los parámetros previos, en los que la temperatura ambiente fue fijada a 20°C, bajo las mismas temperaturas que se tomaron en las anteriores pruebas como se detalla en la *Tabla 15*.

Los datos de capacitancia correspondientes a cada nivel de concentración de alcohol, se obtuvieron mediante la recopilación de 20 mediciones por cada temperatura y concentración. Para obtener un detalle completo de estos datos, se hace referencia al *Anexo 7*.

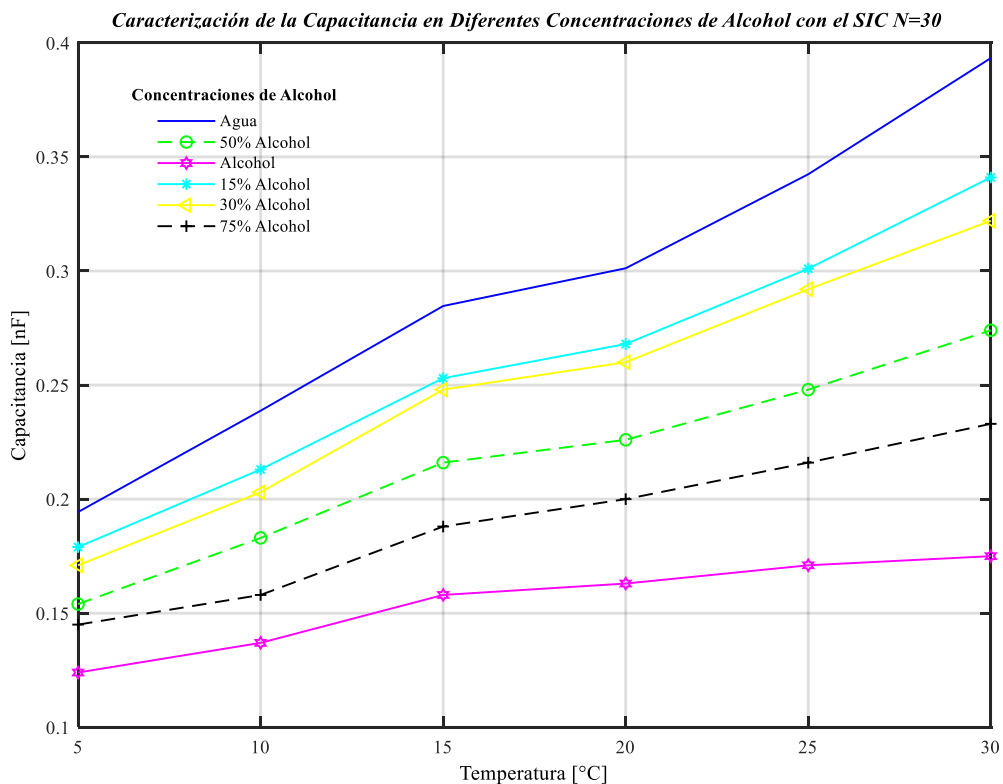
Tabla 16*Promedio de las capacitancias a Diferentes Concentraciones de Alcohol*

Promedios de las Capacitancias de las Disoluciones a Diferentes Concentraciones de Alcohol con el Sensor SIC N=30							
Disolución	Temperatura	5°C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
	Valor de la Capacitancia nF						
Agua		0.194	0.239	0.285	0.301	0.342	0.393
15% Alcohol		0.179	0.213	0.253	0.268	0.301	0.341
30% Alcohol		0.171	0.203	0.248	0.260	0.292	0.322
50% Alcohol		0.154	0.183	0.216	0.226	0.248	0.274
75% Alcohol		0.145	0.158	0.188	0.200	0.216	0.233
Alcohol		0.124	0.137	0.158	0.163	0.171	0.175

En la *Figura 40* se puede observar que cada concentración de alcohol se encuentra en orden característico con respecto al funcionamiento del sensor SIC, además de que se evidencia una alta sensibilidad ante los distintos niveles de concentración a los que está expuesto.

Figura 40.

Comportamiento de Capacitancia a Diferentes Concentraciones de Alcohol



5.3 Determinación de la Permitividad en Diferentes Concentraciones

Para determinar la permitividad, se utilizó la Ec. (28) siguiendo los mismos patrones de cálculo previos. Los resultados revelaron variaciones notables en la concentración de alcohol en respuesta a los cambios de temperatura. Se observó una variación adecuada en la permitividad para el 15%, acercándose a la del agua, y para el 30% y 75%, se notaron variaciones por encima y por debajo del 50%, lo que indica una respuesta precisa y acertada del sensor SIC. Los datos se pueden visualizar en la *Tabla 16*.

Tabla 17

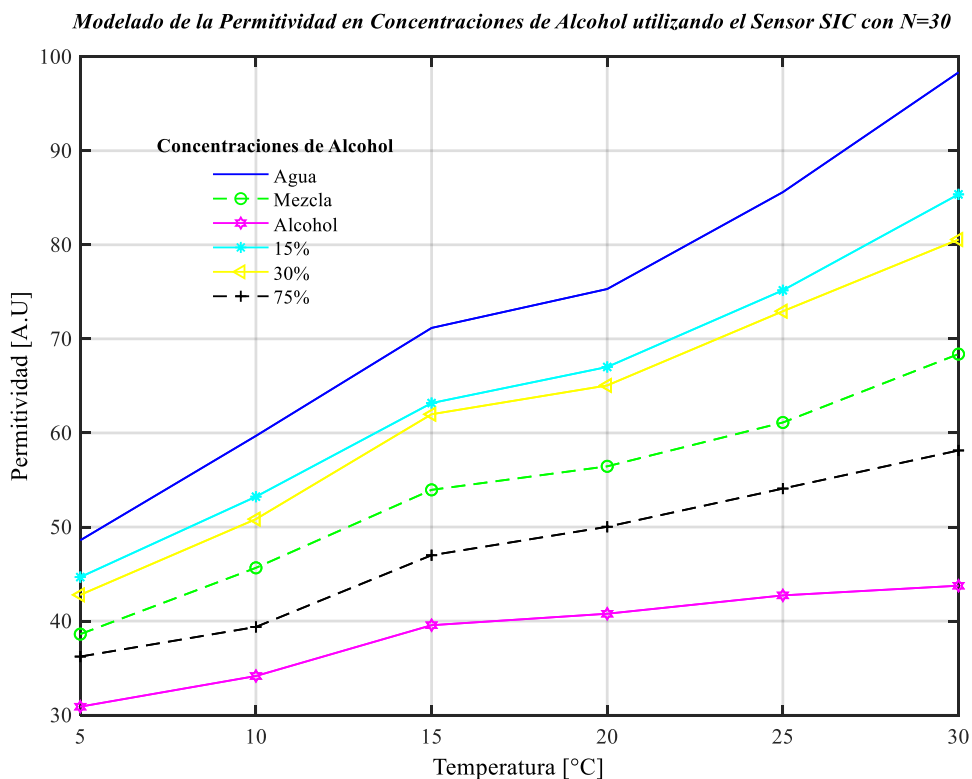
Permitividad de las Disoluciones de Referencia con el Sensor SIC

Permitividad de las Disoluciones de Referencia con el Sensor SIC N=30						
Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
Disolución	Valor de la Permitividad					
Agua	48.588	59.688	71.163	75.300	85.600	98.325
15% Alcohol	44.675	53.225	63.175	67.013	75.163	85.363
30% Alcohol	42.788	50.838	61.988	65.050	72.938	80.563
50% Alcohol	38.613	45.663	53.950	56.450	62.113	68.375
75% Alcohol	36.225	39.375	47.000	50.025	54.088	58.138
Alcohol	30.900	34.163	39.563	40.775	42.725	43.763

En la *Figura 41* se observa el comportamiento de la permitividad en función de diferentes concentraciones de alcohol y temperaturas. Estos datos permiten analizar cómo se comporta el sensor SIC ante la variedad de condiciones y determinar con más precisión su exactitud en la detección de esos cambios en las concentraciones de alcohol. Además de esto es fundamental porque la permitividad es un parámetro clave que influye en la capacidad del sensor de detectar cambios en las propiedades dieléctricas de las disoluciones. Proporcionando información más detallada que más adelante será de gran ayuda en el cálculo del error del sensor SIC.

Figura 41.

Modelado de la Permitividad en Diferentes Concentraciones de Alcohol



Cálculo del porcentaje de concentración de Alcohol en las Disoluciones de Referencia

El cálculo del porcentaje de concentración de alcohol en las disoluciones de referencia permitió conocer la cantidad exacta de alcohol presente en cada muestra. Esta información es fundamental para comprender cómo el sensor SIC puede medir diferentes concentraciones con variaciones de temperatura. Los datos se pueden observar en la *Tabla 18*.

En base a la precisión de la concentración de alcohol en las disoluciones de referencia, llevo a establecer el modelo matemático donde se establece la relación que hay entre la variación en la permitividad en función de la concentración de alcohol. Esto con el fin de asegurar y validar la respuesta que el sensor SIC tiene a las diferentes concentraciones de alcohol.

Cabe aclarar que los resultados de los errores relativos, que se muestran para diversas concentraciones, se obtienen mediante el cálculo de la ecuación 12.

Tabla 18*Porcentaje de concentración Teórico vs Practico y error porcentual*

Temperatura \ Permitividad	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
Agua	48.588	59.688	71.163	75.300	85.600	98.329
Practico 15%	44.675	53.225	63.175	67.013	75.163	85.363
Practico 30%	42.788	50.838	61.988	65.050	72.938	80.563
Mezcla 50%	38.613	45.663	53.950	56.450	62.113	68.375
Practico 75%	36.225	39.375	47.000	50.025	54.088	58.138
Practico Alcohol	30.900	34.163	39.563	40.775	42.725	43.763
Teórico 15%	44.166	53.306	63.263	66.669	74.881	84.687
Teórico 30%	43.281	52.030	61.683	64.943	72.738	81.959
Teórico 50%	39.744	46.925	55.363	58.038	64.163	71.046
Teórico 75%	35.322	40.544	47.463	49.406	53.444	57.404
Error 15%	1.15%	0.15%	0.14%	0.52%	0.38%	0.80%
Error 30%	1.14%	2.29%	0.49%	0.17%	0.27%	1.70%
Error 50%	2.85%	2.69%	2.55%	2.74%	3.20%	3.76%
Error 75 %	2.56%	2.88%	0.97%	1.25%	1.20%	1.28%

En la *Figura 43*, se muestra las diferentes concentraciones de alcohol y cómo influyen en la permitividad de las disoluciones, se ve una clara tendencia donde la permitividad varía en función de la concentración de alcohol presente en el agua. Esto implica que el sensor SIC responde de manera diferente ante las concentraciones variadas de alcohol. Estos resultados respaldan la efectividad y el funcionamiento del SIC en la detección de cambios en las propiedades eléctricas de las disoluciones cuando la concentración de alcohol cambia.

Como referencia para validar los datos de permitividad y garantizar la precisión de los resultados sin la necesidad de un equipo patrón, se empleó la tabla proporcionada en la investigación titulada "NFC-Enabled Passive Sensor for the Quality Control of Ethanol Against SARS-CoV-2." Esta tabla desempeñó un papel crucial al comparar y respaldar los valores de permitividad obtenidos en el presente estudio, contribuyendo así a la confiabilidad de los datos recopilados, como se puede apreciar en la *Figura 42*.

Figura 42

Permitividad y Error calculado de estudio anterior

TABLE III
PERMITTIVITY AND ERRORS CALCULATED FROM THE MODEL
FOR DI-WATER - METHANOL (98%) AND DI-WATER -
ETHANOL MIXTURES

Solute Concentration	0 %	5 %	10 %	20 %	50 %	80 %	100 %
Methanol (98 %)	80.09	77.64	75.19	70.29	55.58	40.87	31.06
Ethanol (95 %)	80.09	77.36	74.62	69.15	52.75	36.34	25.40
Error-methanol	0.12	0.69	1.30	1.35	2.29	2.32	1.06
Error-ethanol	0.12	0.08	0.46	0.69	2.41	0.17	2.00

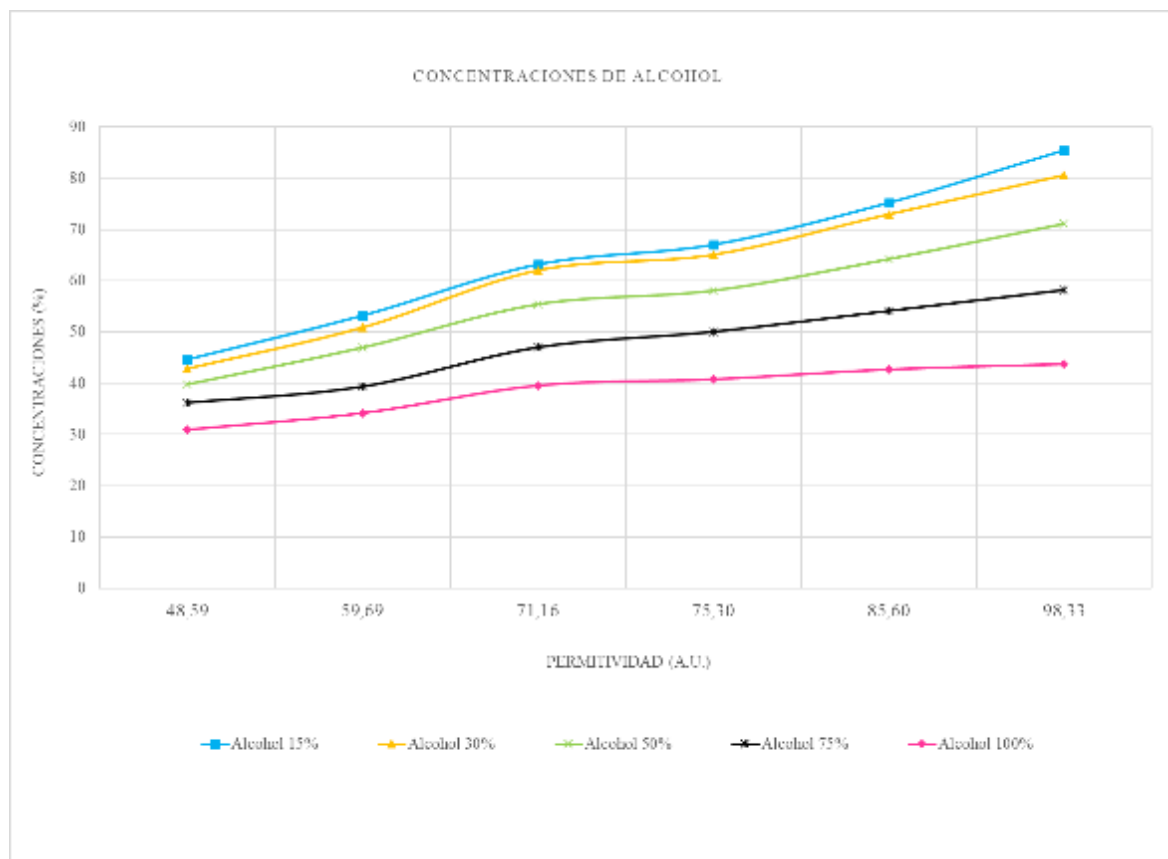
Fuente: (Unigarro, 2021)

En el análisis realizado, se observó que el sensor no alcanza un estado de saturación, pero sí presenta límites en sus mediciones. El límite inferior se define como la capacitancia del medio, que está determinada por la permitividad del medio, denotada como ϵ_1 . Esto incluye la capacitancia del sustrato y la protección de los electrodos del sensor.

Por otro lado, el límite superior se relaciona con la permitividad de la sustancia en este caso las diferentes mezclas de alcohol a la temperatura más alta dentro del rango de medición (30°C). Sin embargo, se analiza que cuando la sustancia se evapora, su permitividad disminuye, ya que se mezcla con el aire circundante. En la *tabla 18* se observa que a medida que la temperatura aumenta, la permitividad de las sustancias varía. Estos límites son importantes para comprender las limitaciones del sensor y para interpretar adecuadamente sus mediciones en diferentes condiciones de temperatura y concentración de las disoluciones.

Figura 43

Concentraciones de Alcohol



Modelamiento Matemático de la Temperatura Vs la Permittividad

Se realizó una linealización polinómica de segundo grado, para simplificar y modelar la relación entre la permitividad del agua (ϵ) y la concentración de alcohol en el agua (x). Al ser una variable no lineal, la permitividad se eleva al cuadrado para transformar la ecuación para que se asemeje a una relación lineal.

Esta linealización tanto en el agua como en el alcohol arroja resultados muy significativos. En ambos casos el valor de R^2 que representa el ajuste de la permitividad y la concentración de alcohol en los datos experimentales es alto. En el caso del agua se obtiene un valor R^2 igual a 0,9869, mientras que para el alcohol se obtiene un valor de R^2 igual a 0,9841. Estos valores indican que las ecuaciones de permitividad que se derivan de datos experimentales se ajustan de manera excelente a los datos reales.

En la *Figura 44* y la *Figura 45* se visualiza como los puntos de datos experimentales se ajustan a la curva generada por la ecuación polinómica. Con este ajuste preciso se respalda la utilidad de la ecuación en la predicción de la permitividad en función de la temperatura.

Figura 44

Linealización de la Permitividad Vs Temperatura del Agua

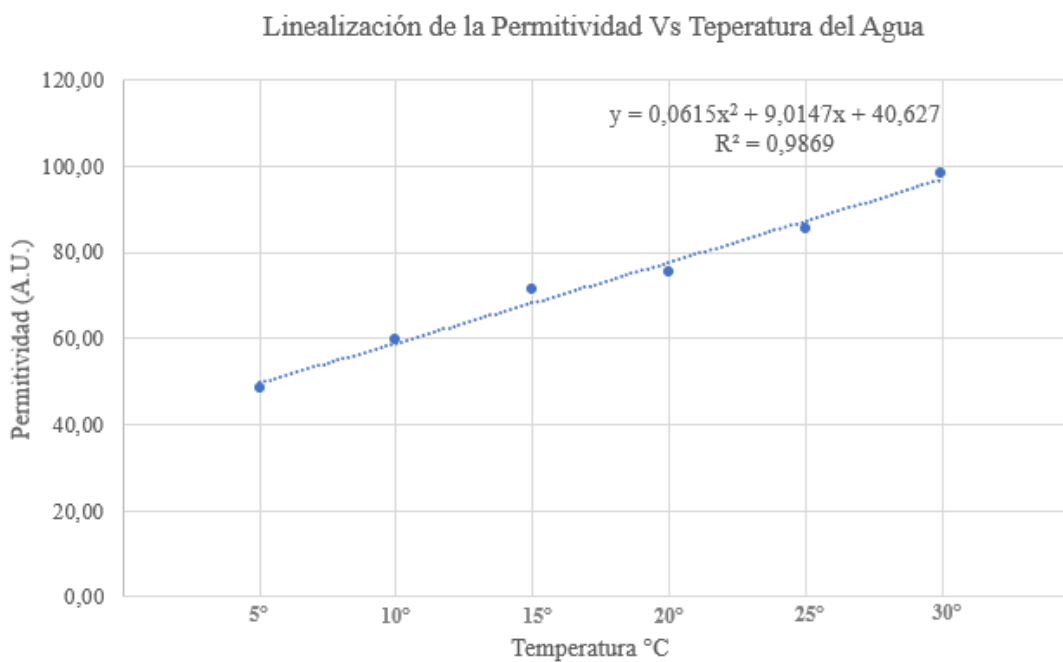
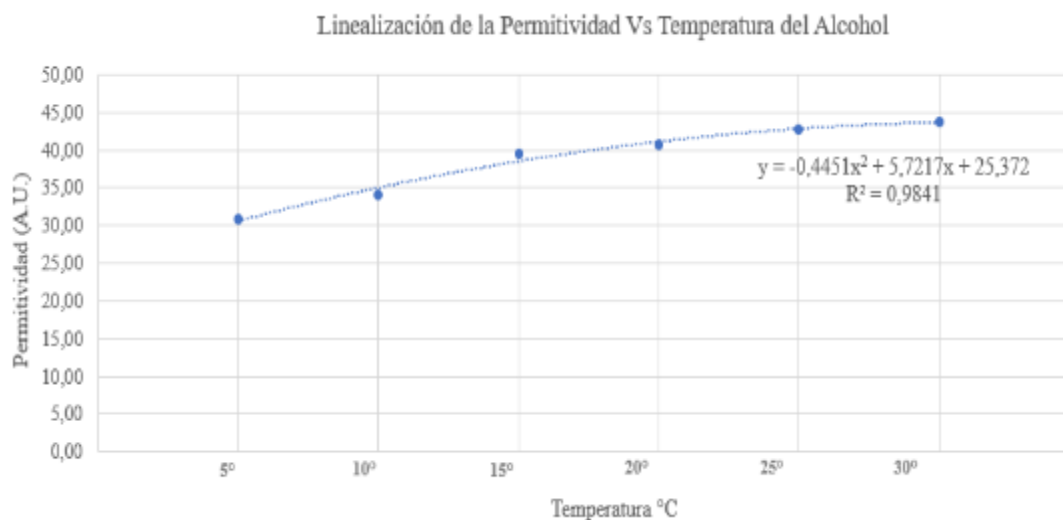


Figura 45

Linealización de la Permitividad Vs Temperatura del Alcohol



Evaluación de la Precisión en la Determinación del Porcentaje de Alcohol

Se realizó un cálculo para obtener el valor de P_{Con} , que representa el porcentaje de concentración de alcohol, a partir de la Ec (29). El proceso completo de cálculo se encuentra detallado en el *Anexo 9*.

$$P_{Con} = \frac{\epsilon_{Liq} - \epsilon_W}{\epsilon_A - \epsilon_W} \quad (29)$$

El porcentaje teórico de alcohol se calculó utilizando los datos teóricos proporcionados en la *Tabla 18*, los cuales se obtuvieron a partir de la Ec (29). Se observa un desfase en la concentración del 15%, ya que muestra un porcentaje del 25%. Como se muestra en la *Tabla 19*.

Tabla 19

Porcentaje de Alcohol Teórico

Porcentaje de Alcohol Teórico						
Temperatura Concentración	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
15%	25%	25%	25%	25%	25%	25%
30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%

El porcentaje de alcohol práctico se calculó utilizando la ecuación mencionada anteriormente, basándonos en los resultados prácticos de la *Tabla 18*. El análisis de la *Tabla 20* muestra que, en general, los valores prácticos tienden a ser ligeramente más altos que los teóricos. Esto podría indicar una tendencia a sobreestimar el porcentaje de alcohol en las disoluciones. Sin embargo, es fundamental considerar que estos resultados están dentro de un rango de error normal para este tipo de mediciones y son coherentes con la variación de la permitividad esperada al cambiar la concentración de alcohol en el líquido.

Tabla 20*Porcentaje de Alcohol Práctico.*

		Porcentaje de Alcohol Práctico					
Concentración	Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
	15%		22%	25%	25%	24%	24%
30%		33%	35%	29%	30%	30%	33%
50%		56%	55%	54%	55%	55%	55%
75%		70%	80%	76%	73%	73%	74%

En la siguiente tabla se muestra los errores porcentuales y el error promedio con esto se logró medir la discrepancia entre los valores teóricos y prácticos. En ellos se puede ver que los errores porcentuales son bajos y están dentro de un rango normal, indicando que las mediciones practicas son cercanas a las teóricas, en conclusión, el sensor sic está funcionando de manera consistente. Por otro lado, el error promedio indica el rendimiento general del sensor SIC se puede observar que es bueno y funciona de manera adecuada, porque los porcentajes son bajos y varían según la concentración de alcohol y según la temperatura. Los resultados de los errores relativos se obtuvieron a partir de la ecuación 12.

Tabla 21*Errores Relativos*

		Errores Relativos					
Concentración	Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
	15%		0,11511	0,01269	0,01114	0,03986	0,02631
30%		0,09290	0,15565	0,03217	0,01033	0,01555	0,08528
50%		0,12788	0,09888	0,08943	0,09199	0,09563	0,09790
75%		0,06807	0,06106	0,01954	0,02391	0,02003	0,01794
Promedio		0,10099	0,08207	0,03807	0,04152	0,03938	0,06267
Error Promedio		10,09886	8,20723	3,80696	4,15217	3,93786	6,26665

Conclusiones

Con la definición de las ecuaciones de capacitancia del sensor interdigitado capacitivo (SIC), los resultados obtenidos muestran una relación clara entre la capacitancia del sensor y la concentración de alcohol a diferentes temperaturas, esto en consecuencia a la geometría de los dedos interdigitados, se observó una mayor área de superficie y una menor separación entre los dedos aumentan la capacitancia mejorando la sensibilidad. Se logro representar las ecuaciones al entrar en contacto con alcohol y agua por medio del cálculo de la capacitancia específica dando como resultado 0,004nF que fue fundamental para determinar las mediciones de concentraciones de alcohol de manera práctica.

Se desarrollaron varios diseños de sensores con el objetivo de lograr un óptimo diseño que logre operar en un amplio rango de temperatura y diversas concentraciones de alcohol. Además, se mejoró el entorno experimental al introducir un sistema de monitoreo. Esto creo un entorno experimental aislado minimizando las interferencias que podrían afectar la capacitancia de la sustancia debido a la manipulación.

En el desarrollo de la determinación de error del sensor interdigitado capacitivo (SIC) para la concentración de alcohol en agua, a partir de la correlación entre la temperatura y permitividad entre los 5° y 30° Celsius, los resultados obtenidos proporcionan un desempeño claro donde se demostró que el sensor es capaz de medir con precisión la concentración de alcohol con un error promedio aproximado de 6,08% y en temperaturas de 15° a 25° presenta un error de 3,97% Esto indica que, en general, las mediciones se mantuvieron dentro de un rango aceptable de error. En la determinación de este análisis se realizó de la linealización de la permitividad en función de la temperatura arrojó resultados buenos, con un coeficiente de validez del 98% tanto para las mediciones de agua como para las de alcohol. Estos resultados respaldan la eficacia del sensor SIC en su capacidad para proporcionar mediciones precisas y consistentes en una variedad de condiciones de temperatura.

El sensor SIC diseñado demostró un rendimiento óptimo para medir el porcentaje de alcohol en desinfectantes, lo que posibilita una efectiva desinfección contra virus y bacterias. Los resultados obtenidos respaldan la utilidad de este tipo de sensores Interdigitados Capacitivos que ayudan en aplicaciones críticas de salud pública, destacando un gran potencial al integrarlos en centros de salud, donde se puede reducir el contagio de enfermedades infecciosas.

se ha constatado que el sensor SIC es capaz de operar en un amplio espectro de concentraciones de sustancias y temperaturas sin experimentar saturación en sus mediciones, lo que respalda su versatilidad. No obstante, es esencial reconocer que este sensor presenta límites en sus mediciones. El límite inferior se establece en función de la capacitancia del vacío, mientras que el límite superior se define por la permitividad de la sustancia. Estos límites son esenciales para comprender las capacidades y restricciones del sensor en diversas condiciones de operación.

Recomendaciones

En el transcurso de esta investigación, se resalta la vital importancia de llevar a cabo mediciones precisas. Por ello, resulta fundamental determinar la capacitancia del sensor para poder compararla con la capacitancia obtenida a través de Wolfram Mathematica. Para el calcular el valor de la Capacitancia del sensor SIC, en este caso de configuración $N=30$, se tuvo en cuenta la capacitancia de los cables que se encuentran conectados desde el Sensor SIC al Multímetro RLC, ya que estos también tienen capacitancia.

Esta comparación se revela como un paso esencial para evaluar tanto la precisión del sensor como la validez de los resultados obtenidos en las pruebas a lo largo del proyecto. Consecuentemente, contribuirá a perfeccionar tanto el diseño como el desempeño del sensor, aportando mejoras sustanciales al proyecto en su totalidad.

Es recomendable utilizar agua de alta pureza en las pruebas experimentales, ya que la presencia de químicos comunes en el agua del grifo puede generar fluctuaciones y errores en las mediciones de capacitancia. El hecho de que el agua no esté contaminada con estos químicos preserva sus propiedades dieléctricas, garantizando mediciones más precisas y fiables. Este aspecto se torna fundamental para cumplir con los objetivos planteados al inicio de esta investigación.

Trabajos futuros

Los sensores interdigitados capacitivos se presentan en diversos tipos, cada uno diseñado con características específicas para aplicaciones particulares. En este caso, se centró en un tipo de sensor que opera en un rango de temperatura determinado y se utiliza principalmente para medir sustancias específicas, como el agua y el alcohol. Las pruebas se llevaron a cabo en un entorno de laboratorio, lo que subraya la importancia de realizar mediciones en campo utilizando el sensor. Se propone emplear dispositivos portátiles para evaluar, por ejemplo, si el porcentaje de concentración de alcohol es óptimo para la desinfección, considerando también a desarrollar un sistema integral, el cual permita la temperatura del líquido, la temperatura ambiente y la capacitancia del sensor en una plataforma portátil, esto con el fin de facilitar la movilidad en distintas ubicaciones. Este enfoque permitiría analizar el comportamiento del sensor en un entorno nuevo, donde no solo varía la temperatura, sino también otros factores relevantes, como la humedad que pueden influir en la capacitancia del sensor. Además, se contempla la posibilidad de aplicar diferentes sustancias sobre los sensores interdigitados. Esto abriría la puerta a mediciones adicionales para evaluar la calidad de estas sustancias como por ejemplo la cantidad de pesticidas en el agua, la concentración de cloro, o la detección de gases industriales, ampliando así las posibles aplicaciones de estos sensores y proporcionando oportunidades para mejorar su funcionalidad.

El desarrollo de sensores interdigitados capacitivos (SIC) ofrece la oportunidad de crear un modelo de capacitancia que podría ser utilizado en la identificación de gestos o en el reconocimiento de personas con déficit cognitivos mediante la integración de inteligencia artificial. Esta aplicación se basaría en la detección de cambios en la capacitancia que ocurren cuando una persona toca directamente el sensor al ser este altamente sensible.

Referencias

- Arquitectura, I. E. T. S. (s/f). *Agustín Martín Domingo Agustín Martín Domingo*.
- Bilican, I., Guler, M. T., Gulener, N., Yuksel, M., & Agan, S. (2016). Capacitive solvent sensing with interdigitated microelectrodes. *Microsystem Technologies*, 22(3), 659–668. <https://doi.org/10.1007/s00542-015-2617-1>
- Caro, C. D. D. (2016). *DETECCION ELECTRO-QUÍMICA DE LA CALIDAD DEL AGUARDIENTE, A PARTIR DE LA TECNOLOGIA NFC Y SENSADO INTERDIGITADO*. 1–23.
- Chac, S. (2019). *Sandra Chacón Aparicio*.
- de Micheli, A. (2016). La lógica en la investigación científica. En *Archivos de Cardiología de México* (Vol. 86, Número 2). <https://doi.org/10.1016/j.acmx.2016.01.006>
- Ernesto A. Rincón. (2022). *Sensor inalámbrico inteligente para la identificación de sustancia de calidad basado en el protocolo estándar NFC y cosechado de energía electromagnética*. 1–13.
- Flores Vidal, M. D. L. S. (2013). *Reflectividad en Estructuras Compuesto-Metal*. 6–8.
- Giner, S., I. C. D. S. D. P., Departamental, Á., & Química, I. (2008). *Curso de Matlab*.
- Gurudas, N. S., Wahed, P. A., Champatrao, K. A., Deshmukh, A., Abdul Haque, A. J., & Shaikh, Y. H. (2022). Dielectric relaxation study of 1-pentanol–ethanol binary mixtures at 10 MHz–50GHz frequency range using TDR technique. *Physics and Chemistry of Liquids*, 60(1), 1–8. <https://doi.org/10.1080/00319104.2021.1888380>
- Han, F. E. I., Ganju, E., Prezzi, M., Salgado, R., Zaheer, M. I. R., & The, I. (2011). *NFC-Enabled Passive Sensor for the Quality Control of Ethanol Against SARS-CoV-2*. 9, 1–8.
- Igreja, R., & Dias, C. J. (2004). Analytical evaluation of the interdigital electrodes capacitance for a multi-layered structure. *Sensors and Actuators, A: Physical*, 112(2–3), 291–301. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2004.01.040>
- José, I., & Moreno, A. (2012). *Consideraciones Sobre La Medición De Capacitancia En Simuladores De Capacitancia*.
- Khan, M. R. R., & Kang, S. W. (2018). Fast, Highly Sensitive Interdigitated Capacitor Sensor to Detect Wide Range of Temperatures Using Graphene-Oxide-Containing Dielectric Membrane. *IEEE Sensors Journal*, 18(7), 2667–2674. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2018.2807395>

- Lic, A., Alejandra, E., & Matoso, L. (2011). *Software Mathematica : “ Su aplicación en los Métodos Numéricos ”*. 1–58.
- Liu, X., & Zhang, S. (2020). COVID-19: Face masks and human-to-human transmission. *Influenza and other Respiratory Viruses*, 14(4), 472–473. <https://doi.org/10.1111/irv.12740>
- Rodríguez, 2017 *Fundamentos de Química General*. (2017).
- Salud, O. M. de la. (2020). Limpieza y desinfección de las superficies del entorno inmediato en el marco de la COVID-19. *Organizacion mundial de la salud*, 1–3.
<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/332168/WHO-2019-nCoV-Disinfection-2020.1-spa.pdf>
- Shcherbakov, V. V., Artemkina, Y. M., Akimova, I. A., & Artemkina, I. M. (2021). Dielectric characteristics, electrical conductivity and solvation of ions in electrolyte solutions. *Materials*, 14(19). <https://doi.org/10.3390/ma14195617>
- Simons, R. N. (2003). Coplanar Waveguide Applications. En *Coplanar Waveguide Circuits, Components, and Systems* (Vol. 7). <https://doi.org/10.1002/0471224758.ch12>
- Unigarro, E. (2021). *NFC-Enabled Passive Sensor for the Quality Control of Ethanol Against SARS-CoV-2*. 9, 1–8.
- Vodniza, A. J. Q. (2009). *Guia de investigacion Cuantitativa*.
- Wu, L., Zhang, X., Fu, Y., Xu, Z., Ding, X., & Yao, J. (2021). Tuning the dielectric properties of LiNbO₃ based interdigitated electrode metastructure in the terahertz range. *Results in Physics*, 24. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2021.104120>

Anexos

Anexo 1. Cálculo de ecuaciones de sensor (SIC) por medio del software Wolfram Mathematica para estimar la capacitancia total del sensor

Gracias al lenguaje multiparadigma que utiliza este software es ideal para realizar integrales insolubles de manera manual, en el caso de esta investigación las integrales elípticas que modelan los campos eléctricos en el sensor (SIC), este software integra muchos paradigmas de programación como procedimental, de patrones, de diseño, etc. Lo que genera un mayor respaldo ante la solución a problemas.

En la *Tabla 2* se muestra las ecuaciones que determinan el diseño del sensor (SIC). Se puede observar parámetros. por ejemplo: ϵ_0 , *la permitividad del vacio* = $8,85 \cdot 10^{-12} [F/m]$, ϵ_s , *la permitividad del sustrato* = 4.2, A , *el area de las placas paralelas* = $\frac{S}{2}$, μ_0 = *permeabilidad del espacio libre* = $4\pi * 10^{-7}$

Como primer paso se ingresan todos los parámetros de diseño del sensor SIC, como se muestra en la siguiente *Figura*.

Figura 46

Código de la interfaz de Wolfram Mathematica

```

Clear["Global`*"]
|borra

ε₀ = 8.854187817620 * 10^-12;
μ₀ = 4 Pi * 10^-7;
    |número pi
σ = 58.1 * 10^6; (*Conductacia Cobre [S/m]*)
w = 100 * 10^-6; (*Ancho pista [m]*)
h = 2.5 * 10^-6; (*Alto pista [m]*)
s = 150 * 10^-6; (*separacion entre pistas[m]*)
hₛ = 1700 * 10^-6; (*alto sustrato FR4*)
hₚ = 1 * 10^-6; (*alto sustrato antisolder*)
h₁ = 1 * 10^-6; (*alto liquido*)
h₁₂ = 45300 * 10^-6; (*alto liquido 2*)

(*Estimacion Capacitancia*)
εₛ = 4.2; (*Epsilon FR4*)
εₚ = 6; (*Epsilon antisolder*)
ε₁ = 1; (*Epsilon Medio*)
A = S / (2); (*Area delas placas paralelas*)

```

En la siguiente *Figura* se presentan los parámetros utilizados en el cálculo de la integral elíptica (k), donde se incorporan la Ec. (18) y Ec. (19). Como resultado de estos cálculos, obtenemos dos valores: 0.428571 y 0.903508, que corresponden a las magnitudes de los campos generados por el sensor (SIC). Luego se ingresan la Ec. (17) y Ec. (18) que corresponden al cálculo de k_i y k_i' que son importantes para entender como los campos eléctricos se propagan en las placas paralelas del sensor en función de su geometría y las capas dieléctricas presentes en el diseño del sensor.

Figura 47 Parámetros para el cálculo integral Elíptica K*

(*Parámetros para el calculo integral Eliptica K*)

$$k1 = N \left[\frac{s}{s+2w} \right]$$

[valor numérico]

$$k = N \left[\sqrt{1 - \left(\frac{s}{s+2w} \right)^2} \right]$$

[valor numérico]

0.428571

0.903508

$$ks[h_] := N \left[\text{Sqrt} \left[1 - \frac{\text{Sinh} \left[\frac{\pi s}{4h} \right]^2}{\text{Sinh} \left[\frac{\pi (s+2w)}{4h} \right]^2} \right] \right]$$

[raíz cuadrada]

$$ks1[h_] := N \left[\text{Sqrt} \left[1 - \left(1 - \frac{\text{Sinh} \left[\frac{\pi s}{4h} \right]^2}{\text{Sinh} \left[\frac{\pi (s+2w)}{4h} \right]^2} \right) \right] \right]$$

[raíz cuadrada]

En la siguiente *Figura* se ingresa la Ec. (20) que se utiliza para calcular la permitividad efectiva (ϵ_{eff}) en función de las capacitancias de las líneas de los electrodos interdigitados, con este cálculo vemos la permitividad del medio (ϵ_1), además de la estructura geométrica del sensor. Esta permitividad efectiva es un parámetro importante para entender como el sensor responde a cambios en su entorno y se calcula considerando las capacitancias de las líneas de electrodos interdigitados y las funciones elípticas de K y k, generando un resultado de 2,59684

Figura 48

Sumatoria de parámetros

$$\begin{aligned}
 \epsilon_{\text{effs}} = & \\
 & 1 + \left(\frac{\text{EllipticK}[k]}{2 * \text{EllipticK}[k1]} \right) * \\
 & \left((\epsilon_1 - 1) * \frac{\text{EllipticK}[ks1[h_1 + h_s]]}{\text{EllipticK}[ks[h_1 + h_s]]} + \right. \\
 & (\epsilon_s - \epsilon_1) * \frac{\text{EllipticK}[ks1[h_s]]}{\text{EllipticK}[ks[h_s]]} + \\
 & (\epsilon_1 - 1) * \frac{\text{EllipticK}[ks1[h_{12} + h_p]]}{\text{EllipticK}[ks[h_{12} + h_p]]} + \\
 & \left. (\epsilon_p - \epsilon_1) * \frac{\text{EllipticK}[ks1[h_p]]}{\text{EllipticK}[ks[h_p]]} \right)
 \end{aligned}$$

2.59684

En la siguiente *Figura* se muestra (ϵ_l) que hace referencia a la permitividad del liquido que se encuentra entre las placas del sensor. Este liquido es el medio bajo análisis y monitoreo, y se procede a realizar una sumatoria de cada una de las integrales elípticas con los parámetros geométricos relevantes. Este proceso de cálculo arroja un valor total de permitividad efectiva (ϵ_{eff}) igual a 12.0979.

Figura 49

Cálculo de permitividad efectiva

$$\begin{aligned}
 \epsilon_{\text{eff}}[\epsilon_l] := & \\
 & 1 + \left(\frac{\text{EllipticK}[k]}{2 * \text{EllipticK}[k1]} \right) * \\
 & \left((\epsilon_l - 1) * \frac{\text{EllipticK}[ks1[h_1 + h_s]]}{\text{EllipticK}[ks[h_1 + h_s]]} + \right. \\
 & (\epsilon_s - \epsilon_l) * \frac{\text{EllipticK}[ks1[h_s]]}{\text{EllipticK}[ks[h_s]]} + \\
 & (\epsilon_l - 1) * \frac{\text{EllipticK}[ks1[h_{12} + h_p]]}{\text{EllipticK}[ks[h_{12} + h_p]]} + \\
 & \left. (\epsilon_p - \epsilon_l) * \frac{\text{EllipticK}[ks1[h_p]]}{\text{EllipticK}[ks[h_p]]} \right)
 \end{aligned}$$

$\epsilon_{\text{eff}}[20]$

12.0979

Con el resultado de la permitividad efectiva total (ϵ_{eff}), se calcula la capacitancia de cada línea de electrodo interdigitado. Posteriormente, se determina la capacitancia total mediante la multiplicación de dicho resultado por 30, lo que resulta en una capacitancia total de 3,8 p F. Este valor representa la capacitancia total generada por un sensor que tiene 30 electrodos interdigitados.

Figura 50

Capacitancia del Sensor SIC N=30

(*Capacitancia de un segmento*)

$$\text{Cap00}[nv_] := N \left[\epsilon_0 * \text{EllipticK} \left[\sqrt{1 - \left(\frac{s}{s+2w} \right)^2} \right] / \text{EllipticK} \left[\frac{s}{s+2w} \right] \right]$$

N [valor... |K elíptica]

$$C_{\text{total}} = \text{Cap00}[1] * 30 * 10000 * 10^{-6}$$

$$3.83383 \times 10^{-12}$$

Anexo 2. tablas y graficas de las pruebas tomadas con los sensores SIC a, b, c del primer diseño

A continuación, se presentan los datos obtenidos en las pruebas realizadas con los sensores a, b y c del primer diseño, que se muestra en la *Figura 15*. Los datos recopilados de estas pruebas proporcionan una visión detallada del comportamiento de la capacitancia medida por los sensores SIC, en respuesta a las variaciones de temperatura de las Disoluciones de referencia.

Estas pruebas se llevaron a cabo variando la temperatura de las Disoluciones de Referencia desde 5°C a 30°C, con incrementos de 5°C. Estos datos contribuirán a una comprensión más profunda de la relación entre la temperatura y la capacitancia de las Disoluciones de referencia.

Anexo 2.1. Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura, con el sensor SIC (a) en configuración N=2 del Primer Diseño.

En las siguientes tablas se muestran los registros obtenidos de las pruebas realizadas con el Sensor SIC (a) con configuración N=2 del primer diseño; para poder observar su sensibilidad

y variación se optó por tomar 20 datos por cada muestra, los cuales se promedió para poder observar su comportamiento por medio de una gráfica.

El rango de temperatura es de 5°C a 30°C y las Disoluciones de Referencia son: Agua, Mezcla y Alcohol.

Anexo 2.1.1. Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura de la Sustancia Agua

En la siguiente tabla se encuentran los datos recopilados de Capacitancia del Agua con el Sensor (a) del Primer Diseño con Configuración N=2.

Tabla 22

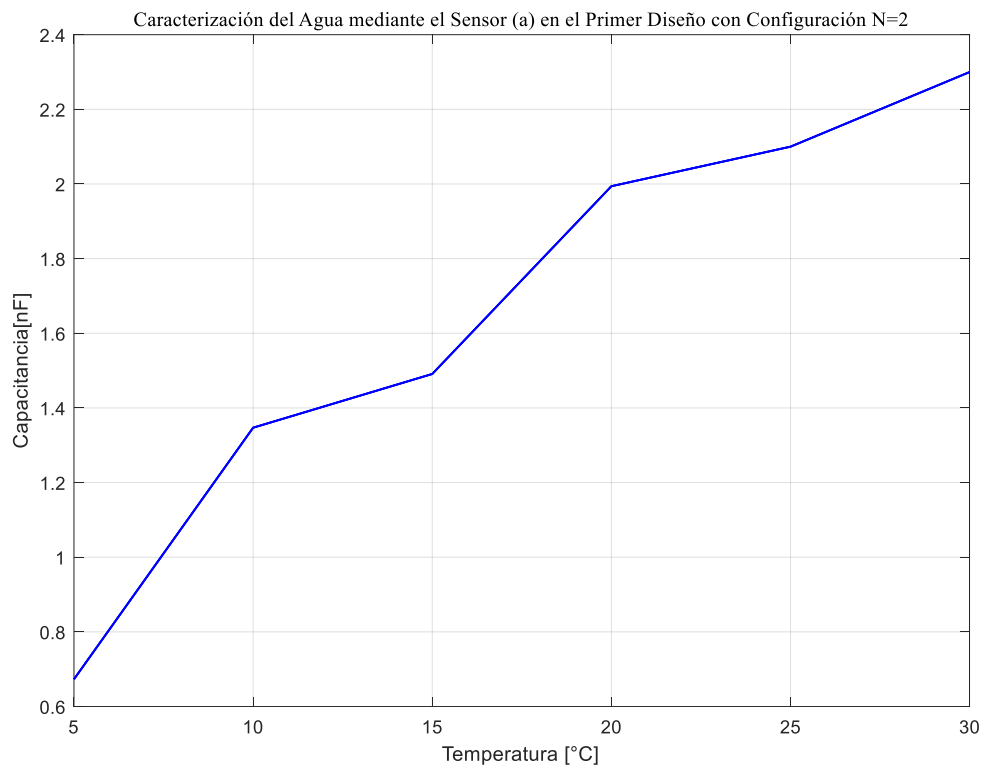
Capacitancia del Agua Sensor SIC N=2 (a) Primer Diseño.

Capacitancia del Agua con el Sensor (a) del Primer Diseño con Configuración N=2							
ítem	Temperatura	5°C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
	Valor de la Capacitancia nF						
1		0.680	1.340	1.480	1.980	2.100	2.300
2		0.680	1.340	1.480	1.980	2.100	2.300
3		0.570	1.340	1.480	1.980	2.100	2.300
4		0.680	1.340	1.480	1.980	2.100	2.300
5		0.680	1.340	1.480	1.980	2.100	2.300
6		0.680	1.340	1.480	1.980	2.100	2.300
7		0.670	1.340	1.500	1.980	2.100	2.300
8		0.670	1.340	1.500	1.980	2.100	2.300
9		0.670	1.340	1.500	2.010	2.100	2.300
10		0.670	1.340	1.500	2.010	2.100	2.300
11		0.670	1.350	1.500	2.010	2.100	2.300
12		0.690	1.350	1.490	1.970	2.100	2.300
13		0.670	1.350	1.490	1.970	2.100	2.300
14		0.670	1.350	1.490	2.010	2.100	2.300
15		0.670	1.350	1.480	2.010	2.100	2.300
16		0.690	1.350	1.500	2.010	2.100	2.300
17		0.670	1.350	1.500	2.010	2.100	2.300
18		0.690	1.350	1.500	2.010	2.100	2.300
19		0.690	1.370	1.490	2.010	2.100	2.300
20		0.690	1.370	1.500	2.010	2.100	2.300
Promedio		0.673	1.347	1.491	1.994	2.100	2.300

En la siguiente gráfica se observa el comportamiento de Capacitancia del Agua frente al cambio de temperatura, se graficó con los promedios obtenidos de la tabla anterior con el Sensor (a) del Primer Diseño con Configuración N=2.

Figura 51

Comportamiento de la Capacitancia del Agua con el Sensor SIC (a)



Anexo 2.1.2. Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura de la Sustancia Mezcla.

En la siguiente tabla se encuentran los datos recopilados de Capacitancia de la Mezcla con el Sensor (a) del Primer Diseño con Configuración N=2.

Tabla 23

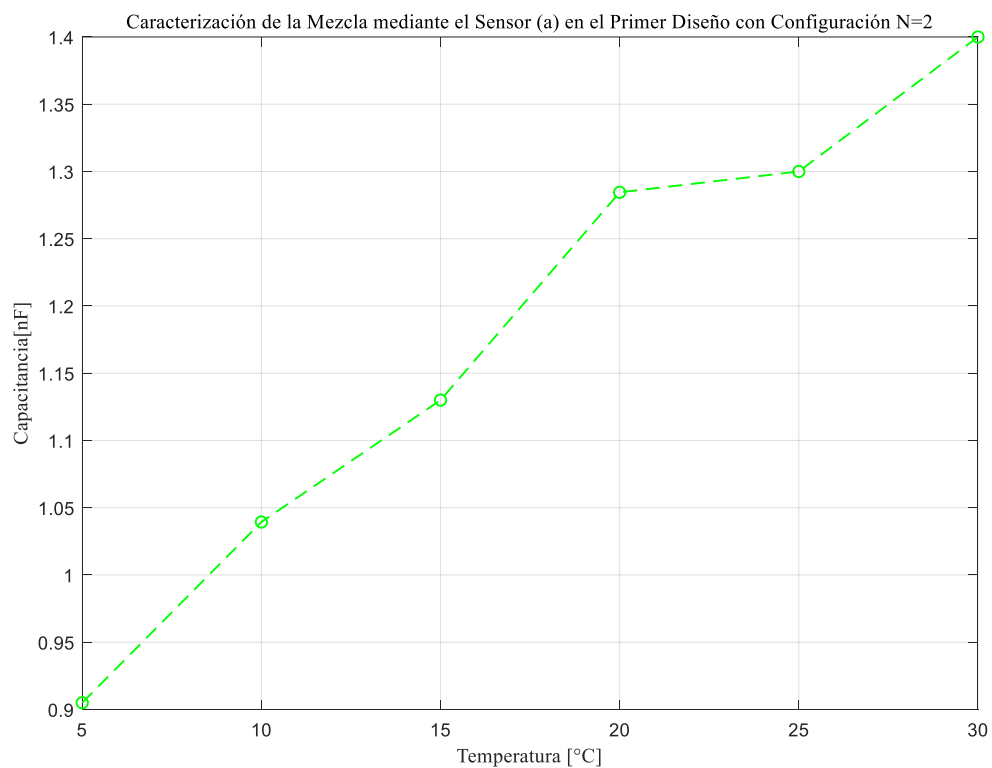
Capacitancia de la Mezcla Sensor SIC N=2 (a) Primer Diseño

Capacitancia de la Mezcla con el Sensor (a) del Primer Diseño con Configuración N=2							
ítem	Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
	Valor de la Capacitancia nF						
1		0.900	1.030	1.130	1.290	1.300	1.400
2		0.900	1.040	1.130	1.290	1.300	1.400
3		0.900	1.030	1.130	1.280	1.300	1.400
4		0.900	1.040	1.130	1.280	1.300	1.400
5		0.900	1.040	1.130	1.280	1.300	1.400
6		0.900	1.040	1.130	1.280	1.300	1.400
7		0.910	1.040	1.130	1.280	1.300	1.400
8		0.910	1.040	1.130	1.280	1.300	1.400
9		0.910	1.040	1.130	1.270	1.300	1.400
10		0.910	1.040	1.130	1.270	1.300	1.400
11		0.900	1.040	1.130	1.270	1.300	1.400
12		0.900	1.040	1.130	1.300	1.300	1.400
13		0.900	1.040	1.130	1.300	1.300	1.400
14		0.900	1.040	1.130	1.300	1.300	1.400
15		0.900	1.041	1.130	1.300	1.300	1.400
16		0.900	1.041	1.130	1.300	1.300	1.400
17		0.910	1.041	1.130	1.280	1.300	1.400
18		0.910	1.041	1.130	1.280	1.300	1.400
19		0.920	1.041	1.130	1.280	1.300	1.400
20		0.920	1.042	1.130	1.280	1.300	1.400
Promedio		0.905	1.039	1.130	1.285	1.300	1.400

En la siguiente gráfica se observa el comportamiento de Capacitancia de Mezcla frente al cambio de temperatura, se graficó con los promedios obtenidos de la tabla anterior con el Sensor (a) del Primer Diseño con Configuración N=2.

Figura 52

Comportamiento de la Capacitancia de la Mezcla con el Sensor SIC (a)



Anexo 2.1.3. Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura de la Sustancia Alcohol

En la siguiente tabla se encuentran datos recopilados de Capacitancia del Alcohol con el Sensor (a) del Primer Diseño con Configuración N=2.

Tabla 24

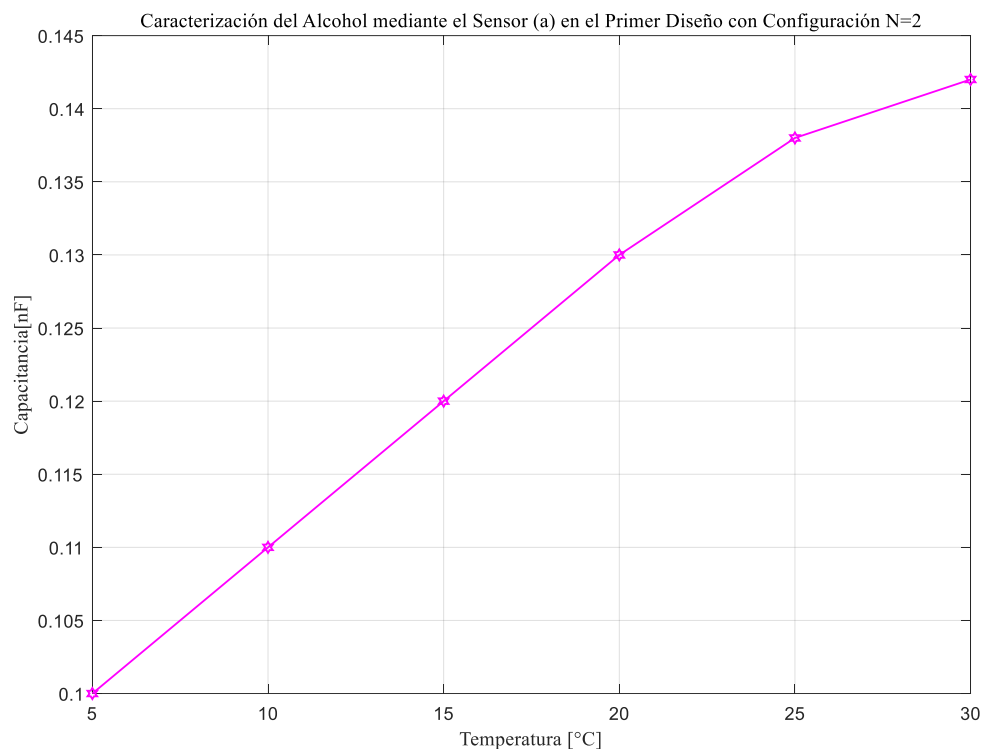
Capacitancia del Alcohol Sensor SIC N=2 (a) Primer Diseño

Capacitancia del Alcohol con el Sensor (a) del Primer Diseño con Configuración N=2							
ítem	Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
	Valor de la Capacitancia nF						
1		0.100	0.110	0.120	0.130	0.138	0.142
2		0.100	0.110	0.120	0.130	0.138	0.142
3		0.100	0.110	0.120	0.130	0.138	0.142
4		0.100	0.110	0.120	0.130	0.138	0.142
5		0.100	0.110	0.120	0.130	0.138	0.142
6		0.100	0.110	0.120	0.130	0.138	0.142
7		0.100	0.110	0.120	0.130	0.138	0.142
8		0.100	0.110	0.120	0.130	0.138	0.142
9		0.100	0.110	0.120	0.130	0.138	0.142
10		0.100	0.110	0.120	0.130	0.138	0.142
11		0.100	0.110	0.120	0.130	0.138	0.142
12		0.100	0.110	0.120	0.130	0.138	0.142
13		0.100	0.110	0.120	0.130	0.138	0.142
14		0.100	0.110	0.120	0.130	0.138	0.142
15		0.100	0.110	0.120	0.130	0.138	0.142
16		0.100	0.110	0.120	0.130	0.138	0.142
17		0.100	0.110	0.120	0.130	0.138	0.142
18		0.100	0.110	0.120	0.130	0.138	0.142
19		0.100	0.110	0.120	0.130	0.138	0.142
20		0.100	0.110	0.120	0.130	0.138	0.142
Promedio		0.100	0.110	0.120	0.130	0.138	0.142

En la siguiente grafica se observa el comportamiento de Capacitancia del Alcohol frente al cambio de temperatura, se graficó con los promedios obtenidos de la tabla anterior con el Sensor (a) del Primer Diseño con Configuración N=2.

Figura 53

Comportamiento de la Capacitancia de la Alcohol con el Sensor SIC (a)



Anexo 2.2 Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura, con el sensor SIC (b) en configuración N=2 del Primer Diseño.

En las siguientes tablas se muestran los registros obtenidos de las pruebas realizadas con el Sensor SIC (b) con configuración N=2 del primer diseño; para poder observar su sensibilidad y variación se optó por tomar 20 datos por cada muestra, los cuales se promedió para poder observar su comportamiento por medio de una gráfica.

El rango de temperatura es de 5°C a 30°C y las Disoluciones de Referencia son: Agua, Mezcla y Alcohol.

Anexo 2.2.1. Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura de la Sustancia Agua

En la siguiente tabla se encuentran los datos recopilados de Capacitancia del Agua con el Sensor (b) del Primer Diseño con Configuración N=2.

Tabla 25

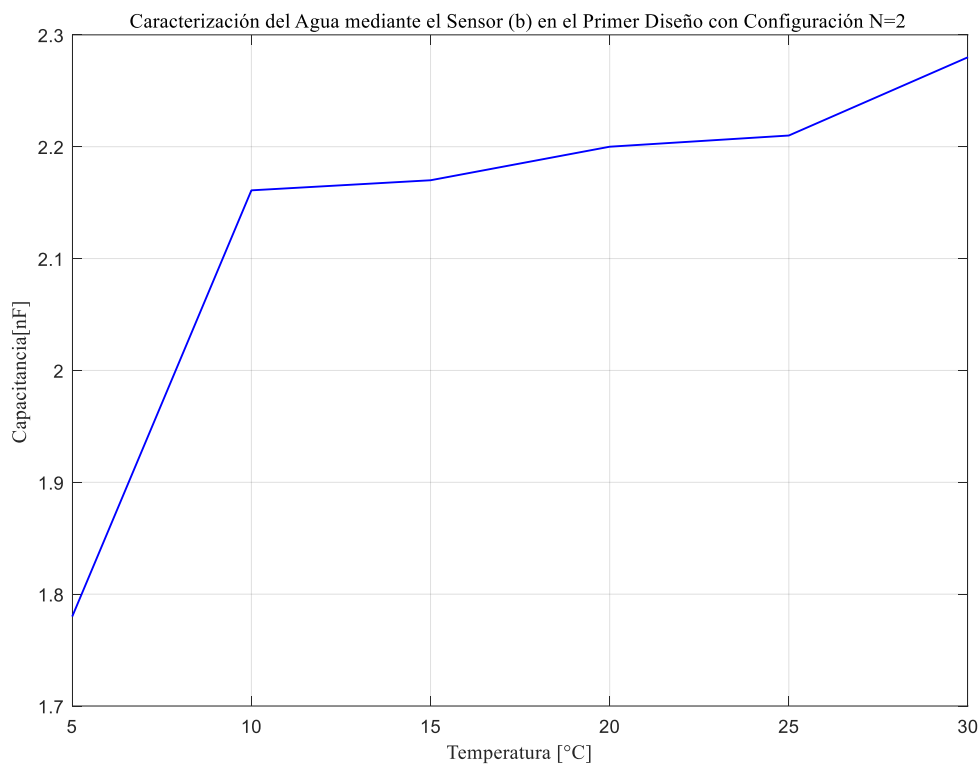
Capacitancia del Agua Sensor SIC N=2 (b) Primer Diseño

Capacitancia del Agua con el Sensor (b) del Primer Diseño con Configuración N=2							
ítem	Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
	Valor de la Capacitancia nF						
1		1.780	2.160	2.170	2.200	2.210	2.280
2		1.780	2.160	2.170	2.200	2.210	2.280
3		1.780	2.160	2.170	2.200	2.210	2.280
4		1.780	2.160	2.170	2.200	2.210	2.280
5		1.780	2.160	2.170	2.200	2.210	2.280
6		1.780	2.160	2.170	2.200	2.210	2.280
7		1.780	2.160	2.170	2.200	2.210	2.280
8		1.780	2.170	2.170	2.200	2.210	2.280
9		1.780	2.170	2.170	2.200	2.210	2.280
10		1.780	2.160	2.170	2.200	2.210	2.280
11		1.780	2.160	2.170	2.200	2.210	2.280
12		1.780	2.160	2.170	2.200	2.210	2.280
13		1.780	2.160	2.170	2.200	2.210	2.280
14		1.780	2.160	2.170	2.200	2.210	2.280
15		1.780	2.160	2.170	2.200	2.210	2.280
16		1.780	2.160	2.170	2.200	2.210	2.280
17		1.780	2.160	2.170	2.200	2.210	2.280
18		1.780	2.160	2.170	2.200	2.210	2.280
19		1.780	2.160	2.170	2.200	2.210	2.280
20		1.780	2.160	2.170	2.200	2.210	2.280
Promedio		1.780	2.161	2.170	2.200	2.210	2.280

En la siguiente gráfica se observa el comportamiento de Capacitancia del Agua frente al cambio de temperatura, se graficó con los promedios obtenidos de la tabla anterior, con el Sensor (b) del Primer Diseño con Configuración N=2.

Figura 54

Comportamiento de la Capacitancia del Agua con el Sensor SIC (b)



Anexo 2.2.2. Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura de la Sustancia Mezcla

En la siguiente tabla se encuentran los datos recopilados de Capacitancia de la Mezcla con el Sensor (b) del Primer Diseño con Configuración N=2.

Tabla 26

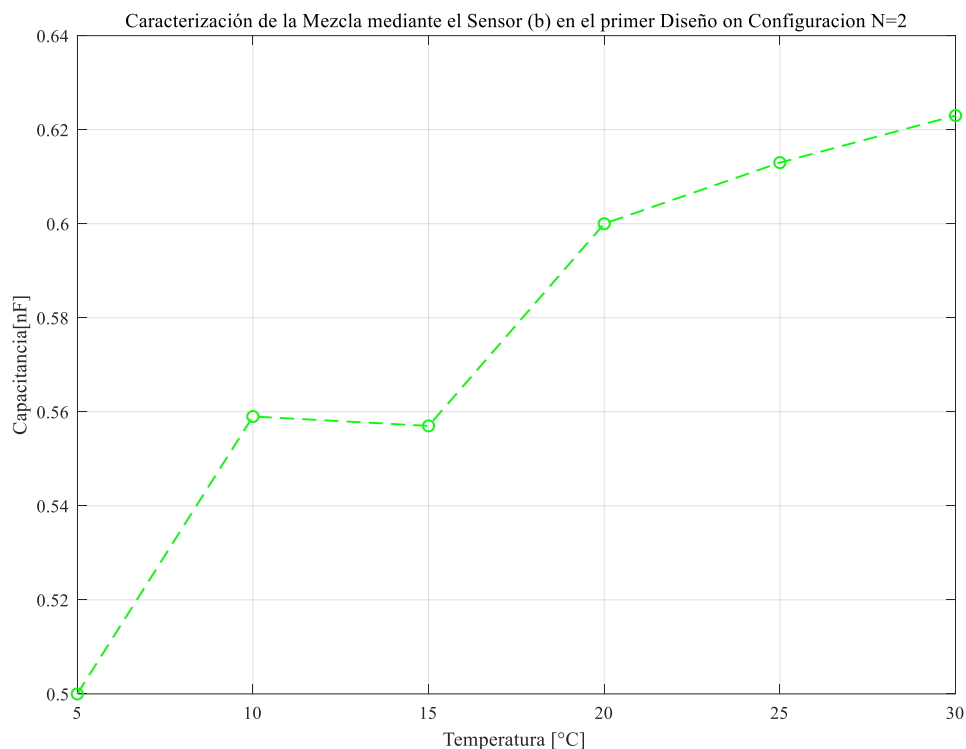
Capacitancia de la Mezcla Sensor SIC N=2 (b) Primer Diseño

Capacitancia de la Mezcla con el Sensor (b) del Primer Diseño con Configuración N=2						
Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
ítem	Valor de la Capacitancia nF					
1	0.500	0.550	0.557	0.600	0.613	0.623
2	0.500	0.550	0.557	0.600	0.613	0.623
3	0.500	0.550	0.557	0.600	0.613	0.623
4	0.500	0.560	0.557	0.600	0.613	0.623
5	0.500	0.560	0.557	0.600	0.613	0.623
6	0.500	0.560	0.557	0.600	0.613	0.623
7	0.500	0.560	0.557	0.600	0.613	0.623
8	0.500	0.550	0.557	0.600	0.613	0.623
9	0.500	0.560	0.557	0.600	0.613	0.623
10	0.500	0.560	0.557	0.600	0.613	0.623
11	0.500	0.560	0.557	0.600	0.613	0.623
12	0.500	0.560	0.557	0.600	0.613	0.623
13	0.500	0.560	0.557	0.600	0.613	0.623
14	0.500	0.560	0.557	0.600	0.613	0.623
15	0.500	0.560	0.557	0.600	0.613	0.623
16	0.500	0.560	0.557	0.600	0.613	0.623
17	0.500	0.560	0.557	0.600	0.613	0.623
18	0.500	0.560	0.557	0.600	0.613	0.623
19	0.500	0.570	0.557	0.600	0.613	0.623
20	0.500	0.570	0.557	0.600	0.613	0.623
Promedio	0.500	0.559	0.557	0.600	0.613	0.623

En la siguiente gráfica se observa el comportamiento de Capacitancia de Mezcla frente al cambio de temperatura, se graficó con los promedios obtenidos de la tabla anterior, con el Sensor (b) del Primer Diseño con Configuración N=2.

Figura 55

Comportamiento de la Capacitancia de la Mezcla con el Sensor SIC (b)



Anexo 2.2.3. Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura de la Sustancia Alcohol

En la siguiente tabla se encuentran los datos recopilados de Capacitancia del Alcohol con el Sensor (b) del Primer Diseño con Configuración N=2.

Tabla 27

Capacitancia del Alcohol Sensor SIC N=2 (b) Primer Diseño

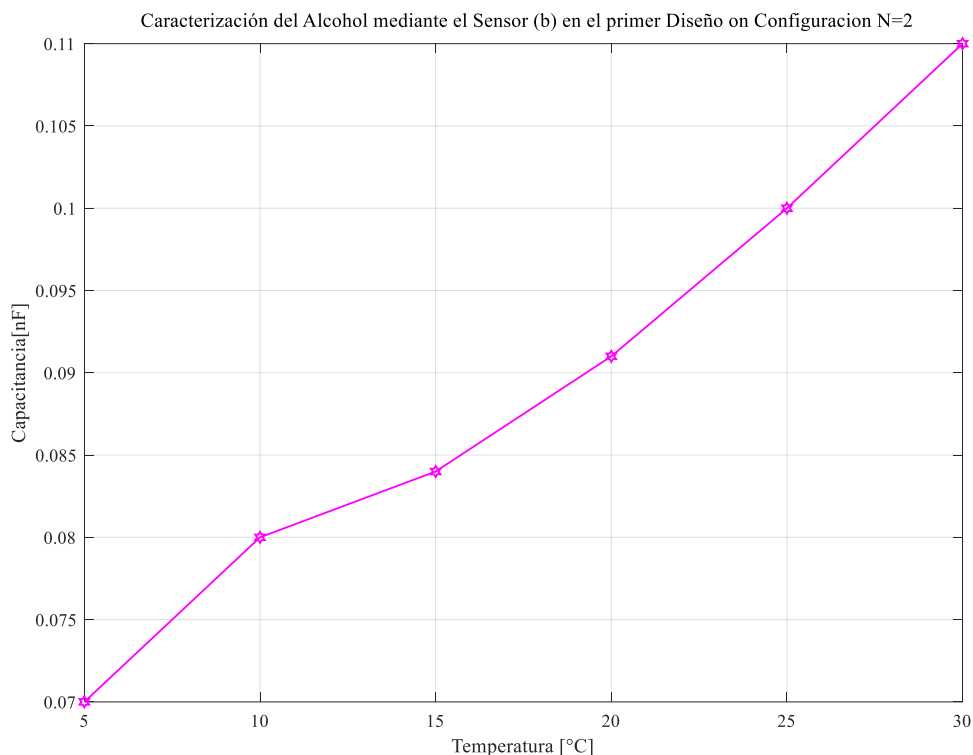
Capacitancia del Alcohol con el Sensor (b) del Primer Diseño con Configuración N=2						
Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
ítem	Valor de la Capacitancia nF					
1	0.070	0.080	0.084	0.910	0.100	0.110
2	0.070	0.080	0.084	0.910	0.100	0.110

3	0.070	0.080	0.084	0.910	0.100	0.110
4	0.070	0.080	0.084	0.910	0.100	0.110
5	0.070	0.080	0.084	0.910	0.100	0.110
6	0.070	0.080	0.084	0.910	0.100	0.110
7	0.070	0.080	0.084	0.910	0.100	0.110
8	0.070	0.080	0.084	0.910	0.100	0.110
9	0.070	0.080	0.084	0.910	0.100	0.110
10	0.070	0.080	0.084	0.910	0.100	0.110
11	0.070	0.080	0.084	0.910	0.100	0.110
12	0.070	0.080	0.084	0.910	0.100	0.110
13	0.070	0.080	0.084	0.910	0.100	0.110
14	0.070	0.080	0.084	0.910	0.100	0.110
15	0.070	0.080	0.084	0.910	0.100	0.110
16	0.070	0.080	0.084	0.910	0.100	0.110
17	0.070	0.080	0.084	0.910	0.100	0.110
18	0.070	0.080	0.084	0.910	0.100	0.110
19	0.070	0.080	0.084	0.910	0.100	0.110
20	0.070	0.080	0.084	0.910	0.100	0.110
Promedio	0.070	0.080	0.084	0.910	0.100	0.110

En la siguiente gráfica se observa el comportamiento de Capacitancia del Alcohol frente al cambio de temperatura, se graficó con los promedios obtenidos de la tabla anterior con el Sensor (b) del Primer Diseño con Configuración N=2

Figura 56

Comportamiento de la Capacitancia de la Alcohol con el Sensor SIC (b)



Anexo 2.3 Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura, con el sensor SIC (c) en configuración N=2 del Primer Diseño.

En las siguientes tablas se muestran los registros obtenidos de las pruebas realizadas con el Sensor SIC (c) con configuración N=2 del primer diseño; para poder observar su sensibilidad y variación se optó por tomar 20 datos por cada muestra, los cuales se promedió para poder observar su comportamiento por medio de una gráfica.

El rango de temperatura es de 5°C a 30°C y las Disoluciones de Referencia son: Agua, Mezcla y Alcohol.

Anexo 2.3.1. Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura de la Sustancia Agua

En la siguiente tabla se encuentran los datos recopilados de Capacitancia del Agua con el Sensor (c) del Primer Diseño con Configuración N=2.

Tabla 28

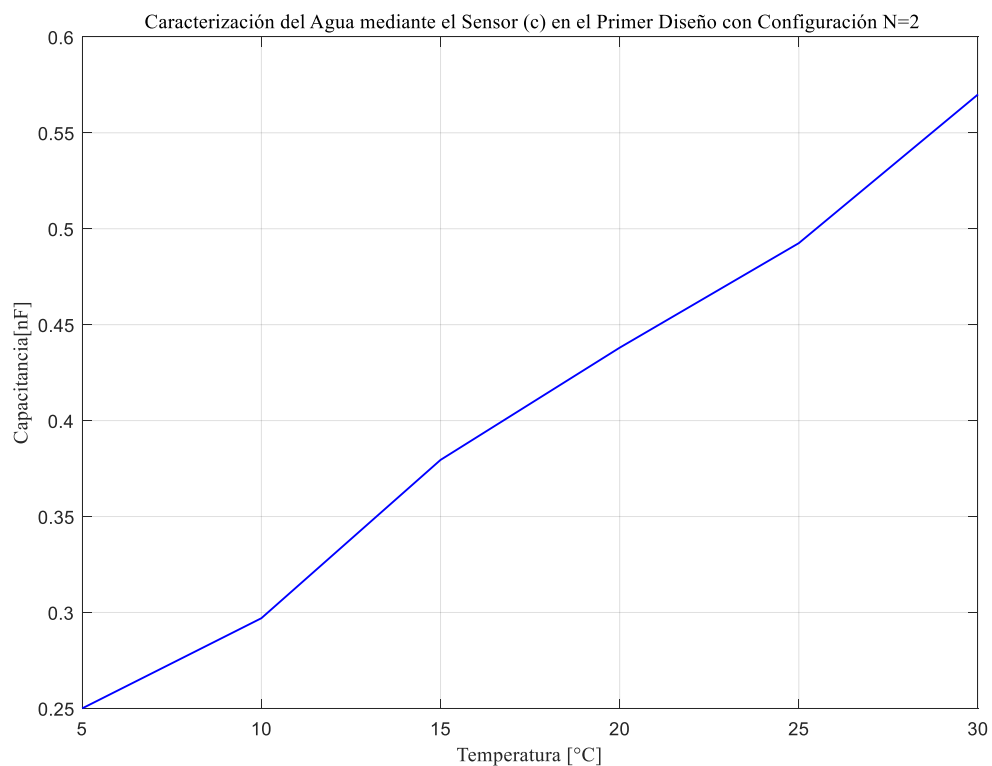
Capacitancia del Agua Sensor SIC N=2 (c) Primer Diseño

Capacitancia del Agua con el Sensor (c) del Primer Diseño con Configuración N=2							
ítem	Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
	Valor de la Capacitancia nF						
1		0.250	0.290	0.370	0.450	0.490	0.570
2		0.250	0.290	0.370	0.450	0.490	0.570
3		0.250	0.290	0.370	0.450	0.490	0.570
4		0.250	0.290	0.370	0.450	0.490	0.570
5		0.250	0.290	0.370	0.450	0.490	0.570
6		0.250	0.290	0.370	0.450	0.490	0.570
7		0.250	0.300	0.380	0.450	0.490	0.570
8		0.250	0.300	0.370	0.430	0.490	0.570
9		0.250	0.300	0.370	0.430	0.490	0.570
10		0.250	0.300	0.370	0.430	0.490	0.570
11		0.250	0.300	0.370	0.440	0.490	0.570
12		0.250	0.300	0.390	0.430	0.490	0.570
13		0.250	0.300	0.390	0.430	0.490	0.570
14		0.250	0.300	0.390	0.430	0.490	0.570
15		0.250	0.300	0.390	0.440	0.490	0.570
16		0.250	0.300	0.390	0.430	0.500	0.570
17		0.250	0.300	0.390	0.430	0.500	0.570
18		0.250	0.300	0.390	0.430	0.500	0.570
19		0.250	0.300	0.390	0.430	0.500	0.570
20		0.250	0.300	0.390	0.430	0.500	0.570
Promedio		0.250	0.297	0.380	0.438	0.493	0.570

En la siguiente gráfica se observa el comportamiento de Capacitancia del Agua frente al cambio de temperatura, se graficó con los promedios obtenidos de la tabla anterior, con el Sensor (c) del Primer Diseño con Configuración N=2.

Figura 57

Comportamiento de la Capacitancia del Agua con el Sensor SIC (c)



Anexo 2.3.2. Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura de la Sustancia Mezcla

En la siguiente tabla se encuentran los datos recopilados de Capacitancia de la Mezcla con el Sensor (c) del Primer Diseño con Configuración N=2.

Tabla 29

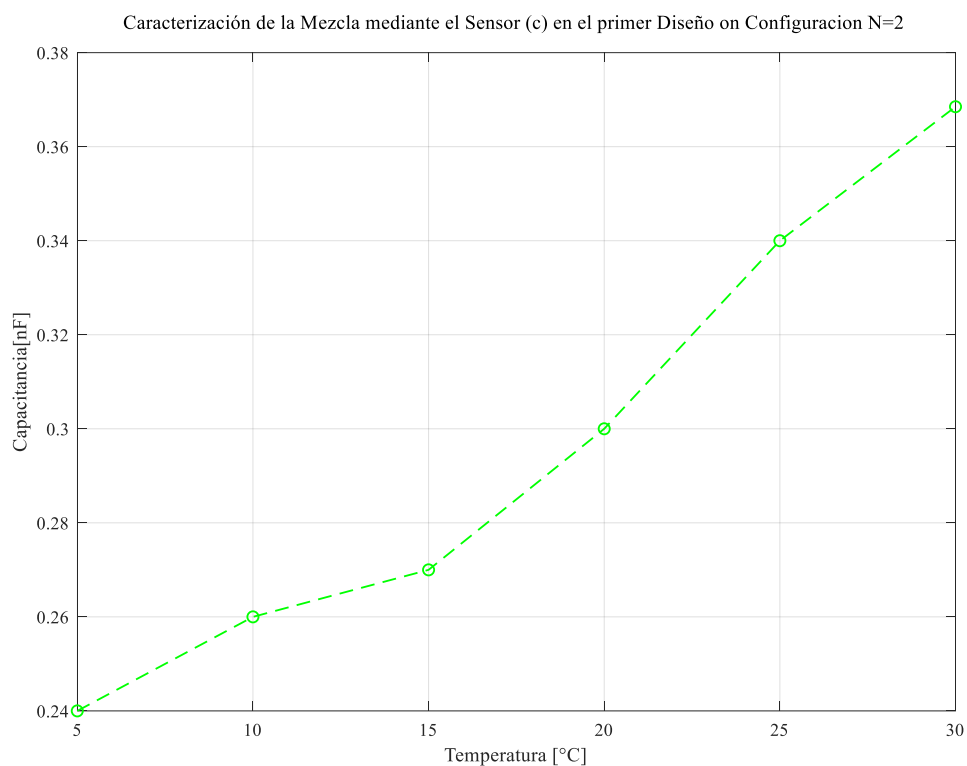
Capacitancia de la Mezcla Sensor SIC N=2 (c) Primer Diseño

Capacitancia de la Mezcla con el Sensor (c) del Primer Diseño con Configuración N=2						
Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
ítem	Valor de la Capacitancia nF					
1	0.240	0.260	0.270	0.300	0.340	0.360
2	0.240	0.260	0.270	0.300	0.340	0.360
3	0.240	0.260	0.270	0.300	0.340	0.360
4	0.240	0.260	0.270	0.300	0.340	0.370
5	0.240	0.260	0.270	0.300	0.340	0.370
6	0.240	0.260	0.270	0.300	0.340	0.370
7	0.240	0.260	0.270	0.300	0.340	0.370
8	0.240	0.260	0.270	0.300	0.340	0.370
9	0.240	0.260	0.270	0.300	0.340	0.370
10	0.240	0.260	0.270	0.300	0.340	0.370
11	0.240	0.260	0.270	0.300	0.340	0.370
12	0.240	0.260	0.270	0.300	0.340	0.370
13	0.240	0.260	0.270	0.300	0.340	0.370
14	0.240	0.260	0.270	0.300	0.340	0.370
15	0.240	0.260	0.270	0.300	0.340	0.370
16	0.240	0.260	0.270	0.300	0.340	0.370
17	0.240	0.260	0.270	0.300	0.340	0.370
18	0.240	0.260	0.270	0.300	0.340	0.370
19	0.240	0.260	0.270	0.300	0.340	0.370
20	0.240	0.260	0.270	0.300	0.340	0.370
Promedio	0.240	0.260	0.270	0.300	0.340	0.369

En la siguiente gráfica se observa el comportamiento de Capacitancia de Mezcla frente al cambio de temperatura, se graficó con los promedios obtenidos de la tabla anterior, con el Sensor (c) del Primer Diseño con Configuración N=2.

Figura 58

Comportamiento de la Capacitancia de la Mezcla con el Sensor SIC (c)



Anexo 2.3.3. Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura de la Sustancia Alcohol

En la siguiente tabla se encuentran los datos recopilados de Capacitancia del Alcohol con el Sensor (c) del Primer Diseño con Configuración N=2.

Tabla 30

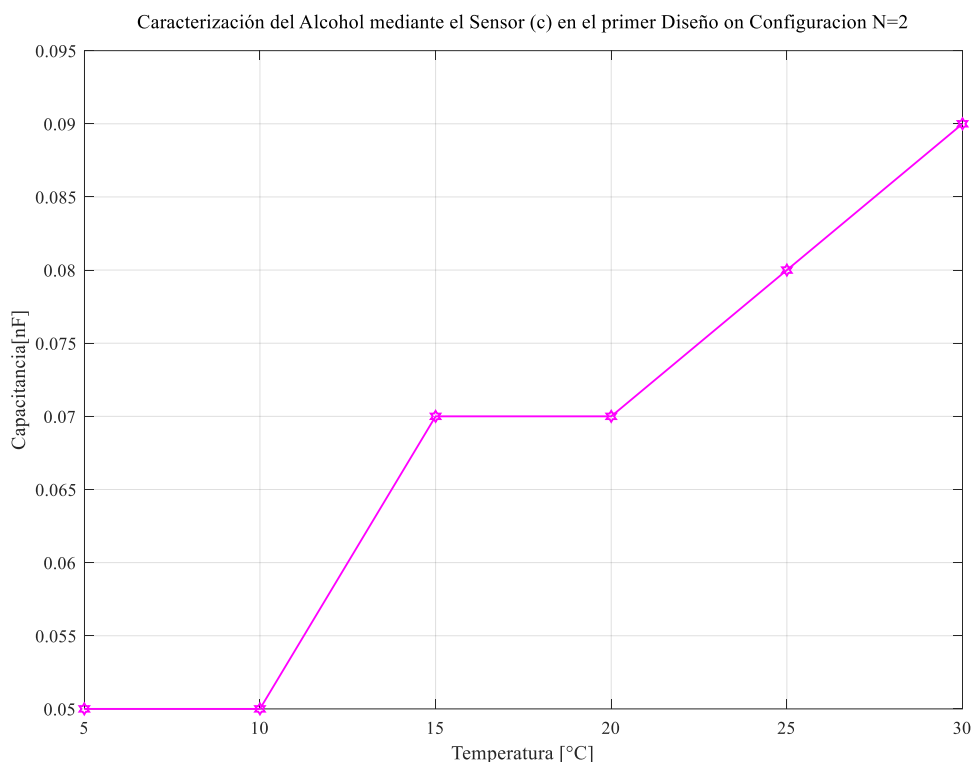
Capacitancia del Alcohol Sensor SIC N=2 (c) Primer Diseño

Capacitancia del Alcohol con el Sensor (c) del Primer Diseño con Configuración N=2						
Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
ítem	Valor de la Capacitancia nF					
1	0.050	0.050	0.070	0.070	0.080	0.090
2	0.050	0.050	0.070	0.070	0.080	0.090
3	0.050	0.050	0.070	0.070	0.080	0.090
4	0.050	0.050	0.070	0.070	0.080	0.090
5	0.050	0.050	0.070	0.070	0.080	0.090
6	0.050	0.050	0.070	0.070	0.080	0.090
7	0.050	0.050	0.070	0.070	0.080	0.090
8	0.050	0.050	0.070	0.070	0.080	0.090
9	0.050	0.050	0.070	0.070	0.080	0.090
10	0.050	0.050	0.070	0.070	0.080	0.090
11	0.050	0.050	0.070	0.070	0.080	0.090
12	0.050	0.050	0.070	0.070	0.080	0.090
13	0.050	0.050	0.070	0.070	0.080	0.090
14	0.050	0.050	0.070	0.070	0.080	0.090
15	0.050	0.050	0.070	0.070	0.080	0.090
16	0.050	0.050	0.070	0.070	0.080	0.090
17	0.050	0.050	0.070	0.070	0.080	0.090
18	0.050	0.050	0.070	0.070	0.080	0.090
19	0.050	0.050	0.070	0.070	0.080	0.090
20	0.050	0.050	0.070	0.070	0.080	0.090
Promedio	0.050	0.050	0.070	0.070	0.080	0.090

En la siguiente gráfica se observa el comportamiento de Capacitancia del Alcohol frente al cambio de temperatura, se graficó con los promedios obtenidos de la tabla anterior, con el Sensor (c) del Primer Diseño con Configuración N=2

Figura 59

Comportamiento de la Capacitancia de la Alcohol con el Sensor SIC (c)



Anexo 3. tablas y graficas de las pruebas tomadas con los sensores SIC c, d y f del segundo diseño

A continuación, se presentan los datos obtenidos en las pruebas realizadas con los sensores c, d y f del segundo diseño, que se muestra en la *Figura 20*

. Los datos recopilados de estas pruebas proporcionan una visión detallada del comportamiento de la capacitancia medida por los sensores SIC, en respuesta a las variaciones de temperatura de las Disoluciones de referencia.

Estas pruebas se llevaron a cabo variando la temperatura de las Disoluciones de Referencia desde 5°C a 30°C, con incrementos de 5°C. Estos datos contribuirán a una comprensión más profunda de la relación entre la temperatura y la capacitancia de las Disoluciones de referencia.

Anexo 3.1 Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura, con el sensor SIC (c) en configuración N=8 del Segundo Diseño.

En las siguientes tablas se muestran los registros obtenidos de las pruebas realizadas con el Sensor SIC (c) con configuración N=8 del segundo diseño; para poder observar su sensibilidad y variación se optó por tomar 20 datos por cada muestra, los cuales se promedió para poder observar su comportamiento por medio de una gráfica.

Anexo 3.1.1. Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura de la Sustancia Agua

En la siguiente tabla se encuentran los datos recopilados de Capacitancia del Agua con el Sensor (c) del Segundo Diseño con Configuración N=8.

Tabla 31

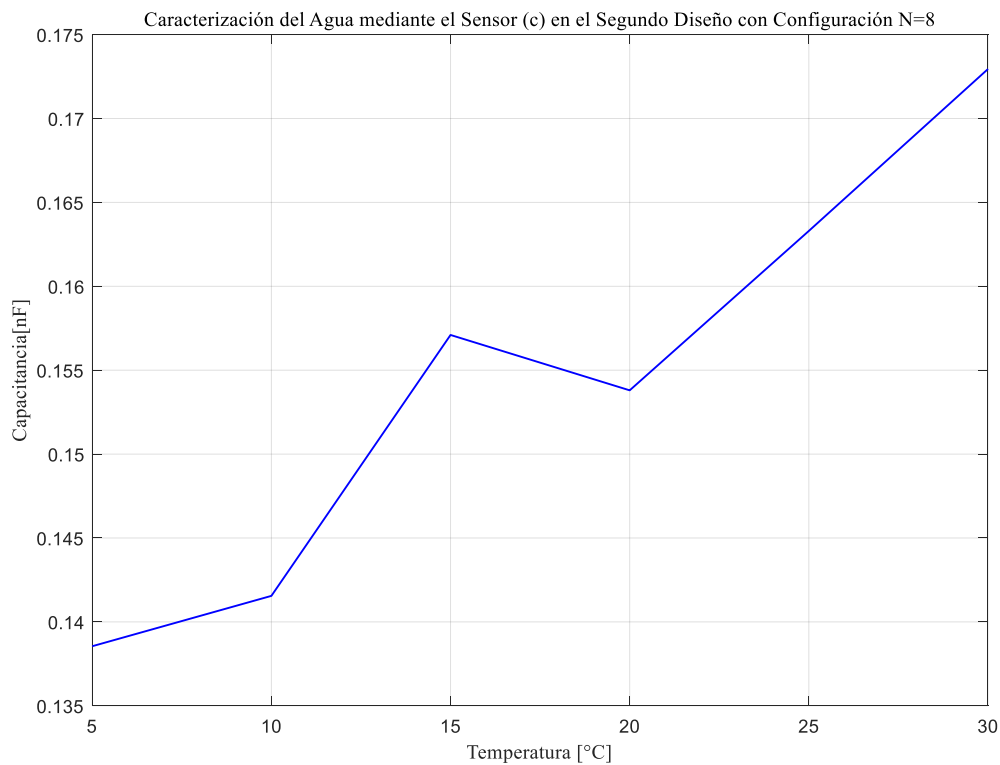
Capacitancia del Agua Sensor SIC N=8 (c) Segundo Diseño.

Capacitancia del Agua con el Sensor (c) del Segundo Diseño con Configuración N=8						
Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
ítem	Valor de la Capacitancia nF					
1	0.138	0.141	0.142	0.153	0.163	0.172
2	0.139	0.142	0.143	0.154	0.164	0.173
3	0.138	0.141	0.142	0.153	0.164	0.173
4	0.139	0.142	0.143	0.154	0.163	0.173
5	0.139	0.141	0.142	0.153	0.164	0.172
6	0.138	0.142	0.142	0.154	0.163	0.171
7	0.139	0.142	0.143	0.154	0.162	0.172
8	0.138	0.141	0.142	0.155	0.163	0.173
9	0.139	0.142	0.142	0.153	0.162	0.173
10	0.139	0.141	0.143	0.155	0.164	0.173
11	0.138	0.142	0.142	0.154	0.162	0.174
12	0.138	0.141	0.143	0.153	0.163	0.174
13	0.139	0.142	0.143	0.153	0.164	0.173
14	0.138	0.142	0.142	0.154	0.164	0.174
15	0.139	0.141	0.144	0.155	0.163	0.174
16	0.139	0.142	0.143	0.154	0.163	0.173
17	0.138	0.141	0.430	0.155	0.164	0.173
18	0.139	0.142	0.144	0.153	0.164	0.174
19	0.139	0.141	0.143	0.153	0.163	0.172
20	0.138	0.142	0.144	0.154	0.164	0.173
Promedio	0.139	0.142	0.157	0.154	0.163	0.173

En la siguiente gráfica se observa el comportamiento de Capacitancia del Agua frente al cambio de temperatura, se graficó con los promedios obtenidos de la tabla anterior, con el Sensor (c) del Segundo Diseño con Configuración N=8.

Figura 60

Comportamiento de la Capacitancia del Agua con el Sensor SIC (c)



Anexo 3.1.2. Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura de la Sustancia Mezcla.

En la siguiente tabla se encuentran los datos recopilados de Capacitancia de la Mezcla con el Sensor (c) del Segundo Diseño con Configuración N=8.

Tabla 32

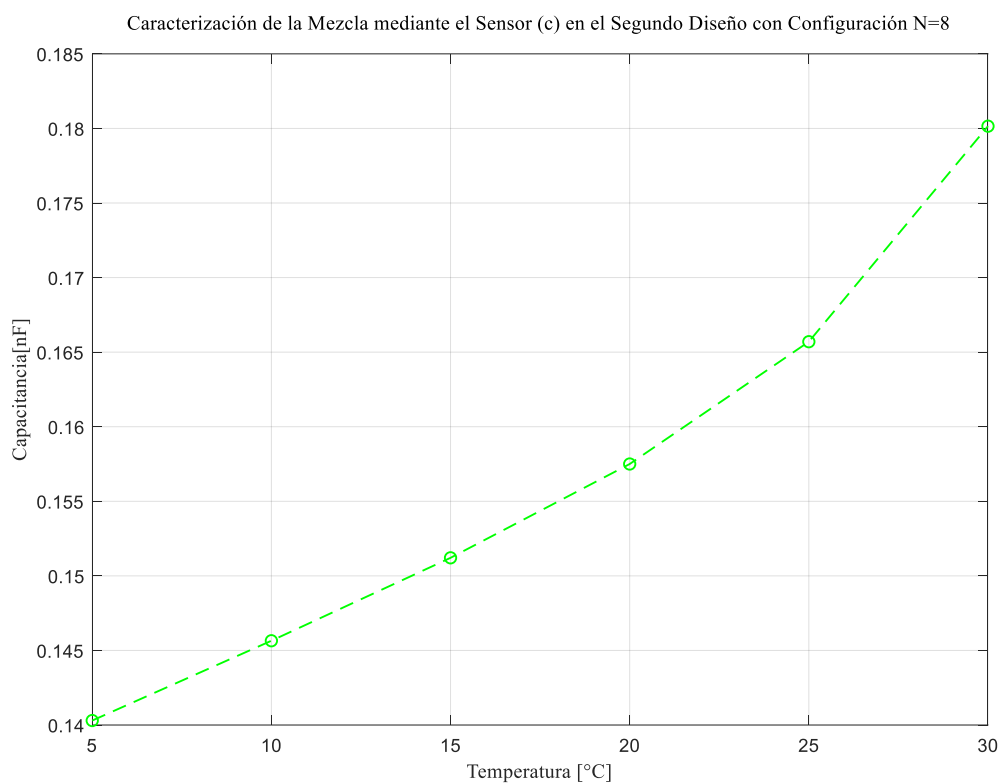
Capacitancia de la Mezcla Sensor SIC N=8 (c) Segundo Diseño.

Capacitancia de la Mezcla con el Sensor (c) del Segundo Diseño con Configuración N=8						
Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
ítem	Valor de la Capacitancia nF					
1	0.140	0.145	0.150	0.158	0.166	0.180
2	0.141	0.146	0.151	0.157	0.165	0.179
3	0.140	0.145	0.151	0.158	0.166	0.180
4	0.141	0.146	0.150	0.158	0.165	0.179
5	0.140	0.146	0.152	0.156	0.166	0.180
6	0.141	0.146	0.152	0.158	0.165	0.180
7	0.140	0.145	0.152	0.157	0.165	0.179
8	0.141	0.146	0.151	0.158	0.165	0.179
9	0.140	0.146	0.152	0.157	0.166	0.180
10	0.139	0.146	0.151	0.158	0.166	0.181
11	0.140	0.145	0.152	0.157	0.165	0.180
12	0.141	0.146	0.151	0.158	0.166	0.181
13	0.140	0.145	0.150	0.157	0.167	0.182
14	0.140	0.146	0.152	0.158	0.165	0.181
15	0.141	0.146	0.151	0.156	0.166	0.181
16	0.140	0.146	0.152	0.157	0.165	0.180
17	0.140	0.145	0.151	0.158	0.166	0.180
18	0.141	0.146	0.151	0.159	0.167	0.180
19	0.140	0.145	0.150	0.158	0.166	0.181
20	0.140	0.146	0.152	0.157	0.166	0.180
Promedio	0.140	0.146	0.151	0.158	0.166	0.180

En la siguiente gráfica se observa el comportamiento de Capacitancia de la Mezcla frente al cambio de temperatura, se graficó con los promedios obtenidos de la tabla anterior, con el Sensor (c) del Segundo Diseño con Configuración N=8.

Figura 61

Comportamiento de la Capacitancia de la Mezcla con el Sensor SIC (c)



Anexo 3.1.3. Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura de la Sustancia Alcohol.

En la siguiente tabla se encuentran los datos recopilados de Capacitancia de Alcohol con el Sensor (c) del Segundo Diseño con Configuración N=8.

Tabla 33

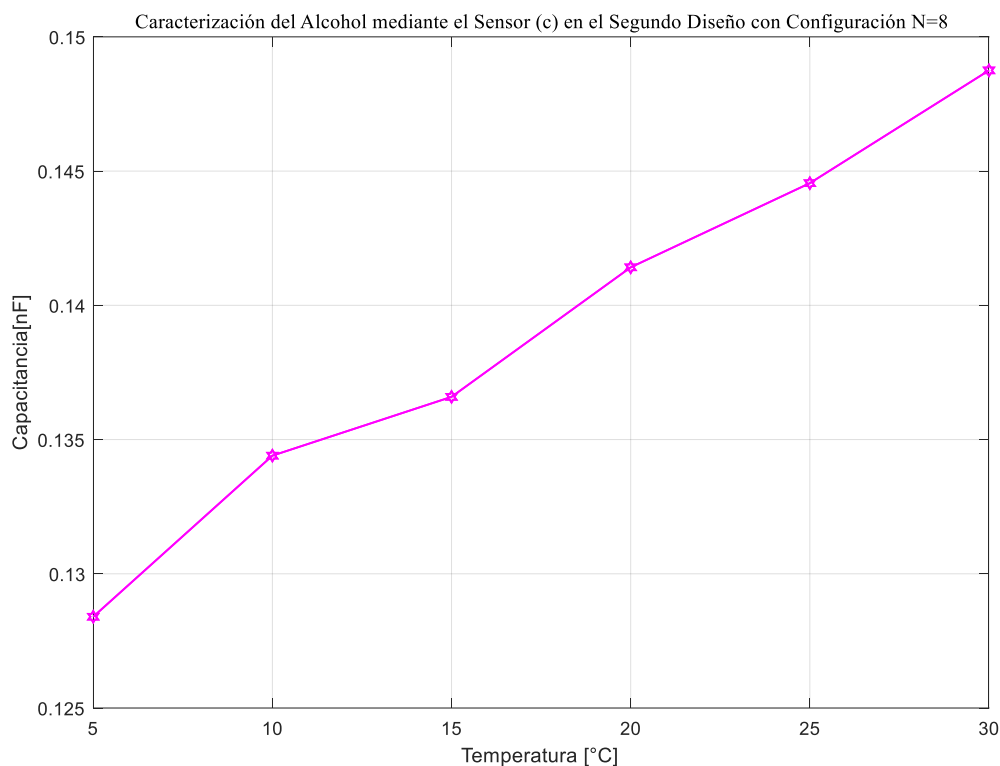
Capacitancia de la Alcohol Sensor SIC N=8 (c) Segundo Diseño.

Capacitancia del Alcohol con el Sensor (c) del Segundo Diseño con CB53:H76 configuración N=8						
Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
ítem	Valor de la Capacitancia nF					
1	0.128	0.134	0.137	0.139	0.145	0.149
2	0.129	0.135	0.136	0.140	0.144	0.148
3	0.128	0.134	0.136	0.142	0.145	0.148
4	0.129	0.135	0.136	0.141	0.145	0.149
5	0.128	0.134	0.136	0.142	0.144	0.148
6	0.129	0.133	0.135	0.141	0.145	0.149
7	0.128	0.135	0.136	0.142	0.144	0.148
8	0.129	0.134	0.136	0.141	0.145	0.149
9	0.128	0.135	0.137	0.142	0.144	0.148
10	0.130	0.134	0.136	0.141	0.145	0.149
11	0.129	0.134	0.137	0.142	0.144	0.148
12	0.130	0.135	0.137	0.142	0.145	0.149
13	0.129	0.134	0.138	0.141	0.144	0.148
14	0.128	0.135	0.137	0.142	0.145	0.149
15	0.129	0.134	0.136	0.142	0.144	0.150
16	0.120	0.135	0.137	0.142	0.145	0.150
17	0.130	0.134	0.138	0.141	0.144	0.149
18	0.129	0.135	0.138	0.142	0.145	0.150
19	0.128	0.134	0.136	0.141	0.144	0.149
20	0.130	0.135	0.137	0.142	0.145	0.148
Promedio	0.128	0.134	0.137	0.141	0.145	0.149

En la siguiente gráfica se observa el comportamiento de Capacitancia del Alcohol frente al cambio de temperatura, se graficó con los promedios obtenidos de la tabla anterior, con el Sensor (c) del Segundo Diseño con Configuración N=8.

Figura 62

Comportamiento de la Capacitancia del Alcohol con el Sensor SIC (c)



Anexo 3.2 Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura, con el sensor SIC (d) en configuración N=10 del Segundo Diseño.

En las siguientes tablas se muestran los registros obtenidos de las pruebas realizadas con el Sensor SIC (d) con configuración N=10 del segundo diseño; para poder observar su sensibilidad y variación se optó por tomar 20 datos por cada muestra, los cuales se promediaron para poder observar su comportamiento por medio de una gráfica.

El rango de temperatura es de 5°C a 30°C y las Disoluciones de Referencia son: Agua, Mezcla y Alcohol.

Anexo 3.2.1. Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura de la Sustancia Agua

En la siguiente tabla se encuentran los datos recopilados de Capacitancia del Agua con el Sensor (d) del Segundo Diseño con Configuración N=10.

Tabla 34

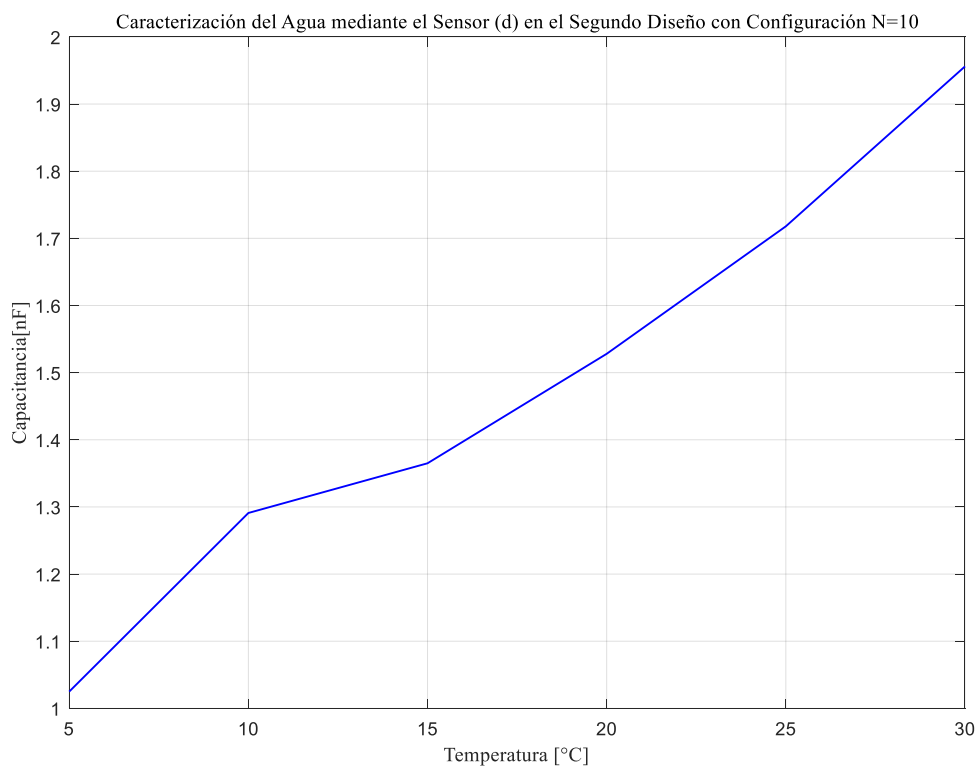
Toma de Capacitancia del Agua, utilizando Sensor SIC N=10 (d)

Capacitancia del Agua con el Sensor (d) del Segundo Diseño con Configuración N=10						
Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
ítem	Valor de la Capacitancia nF					
1	1.020	1.270	1.400	1.500	1.751	1.950
2	1.020	1.270	1.400	1.500	1.751	1.950
3	1.020	1.270	1.400	1.500	1.751	1.950
4	1.020	1.270	1.400	1.500	1.751	1.950
5	1.020	1.270	1.400	1.500	1.751	1.950
6	1.020	1.270	1.400	1.500	1.751	1.950
7	1.020	1.300	1.350	1.540	1.751	1.950
8	1.020	1.300	1.350	1.540	1.700	1.950
9	1.020	1.300	1.350	1.540	1.700	1.960
10	1.020	1.300	1.350	1.540	1.700	1.960
11	1.030	1.300	1.350	1.540	1.700	1.960
12	1.030	1.300	1.350	1.540	1.700	1.960
13	1.030	1.300	1.350	1.540	1.700	1.960
14	1.030	1.300	1.350	1.540	1.700	1.960
15	1.030	1.300	1.350	1.540	1.700	1.960
16	1.030	1.300	1.350	1.540	1.700	1.960
17	1.030	1.300	1.350	1.540	1.700	1.960
18	1.030	1.300	1.350	1.540	1.700	1.960
19	1.030	1.300	1.350	1.540	1.700	1.960
20	1.030	1.300	1.350	1.540	1.700	1.960
Promedio	1.025	1.291	1.365	1.528	1.718	1.956

En la siguiente gráfica se observa el comportamiento de Capacitancia del Agua frente al cambio de temperatura, se graficó con los promedios obtenidos de la tabla anterior, con el Sensor (d) del Segundo Diseño con Configuración N=10.

Figura 63

Comportamiento de la Capacitancia del Agua con el Sensor SIC (d)



Anexo 3.2.2. Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura de la Sustancia Mezcla.

En la siguiente tabla se encuentran los datos recopilados de Capacitancia de la Mezcla con el Sensor (d) del Segundo Diseño con Configuración N=10.

Tabla 35

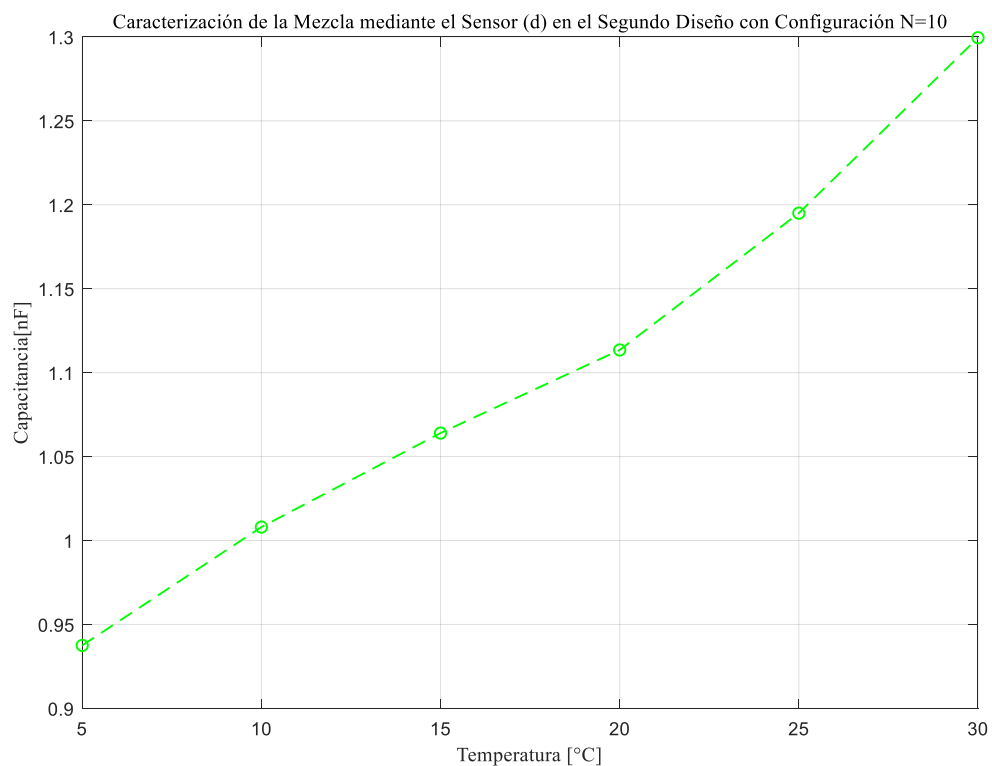
Toma de Capacitancia de la Mezcla, utilizando Sensor SIC N=8 (c)

Capacitancia de la Mezcla con el Sensor (d) del Segundo Diseño con Configuración N=10						
Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
ítem	Valor de la Capacitancia nF					
1	0.930	1.000	1.070	1.100	1.200	1.290
2	0.930	1.000	1.070	1.100	1.190	1.310
3	0.930	1.000	1.060	1.120	1.190	1.290
4	0.930	1.000	1.060	1.120	1.190	1.290
5	0.930	1.000	1.060	1.120	1.190	1.290
6	0.930	1.000	1.060	1.120	1.190	1.300
7	0.930	1.000	1.060	1.100	1.190	1.310
8	0.940	1.000	1.060	1.100	1.190	1.310
9	0.940	1.010	1.070	1.120	1.190	1.310
10	0.940	1.010	1.070	1.110	1.190	1.290
11	0.940	1.010	1.070	1.120	1.190	1.310
12	0.940	1.010	1.070	1.120	1.200	1.290
13	0.940	1.010	1.070	1.110	1.190	1.310
14	0.940	1.010	1.070	1.100	1.190	1.290
15	0.940	1.010	1.060	1.120	1.190	1.300
16	0.940	1.010	1.060	1.110	1.210	1.300
17	0.940	1.020	1.060	1.120	1.210	1.300
18	0.940	1.020	1.060	1.120	1.210	1.300
19	0.950	1.020	1.060	1.120	1.200	1.300
20	0.950	1.020	1.060	1.120	1.200	1.300
Promedio	0.938	1.008	1.064	1.114	1.195	1.300

En la siguiente gráfica se observa el comportamiento de Capacitancia de la Mezcla frente al cambio de temperatura, se graficó con los promedios obtenidos de la tabla anterior, con el Sensor (c) del Segundo Diseño con Configuración N=8.

Figura 64

Comportamiento de la Capacitancia de la Mezcla con el Sensor SIC (d)



Anexo 3.2.3. Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura de la Sustancia Alcohol.

En la siguiente tabla se encuentran los datos recopilados de Capacitancia de Alcohol con el Sensor (d) del Segundo Diseño con Configuración N=10.

Tabla 36

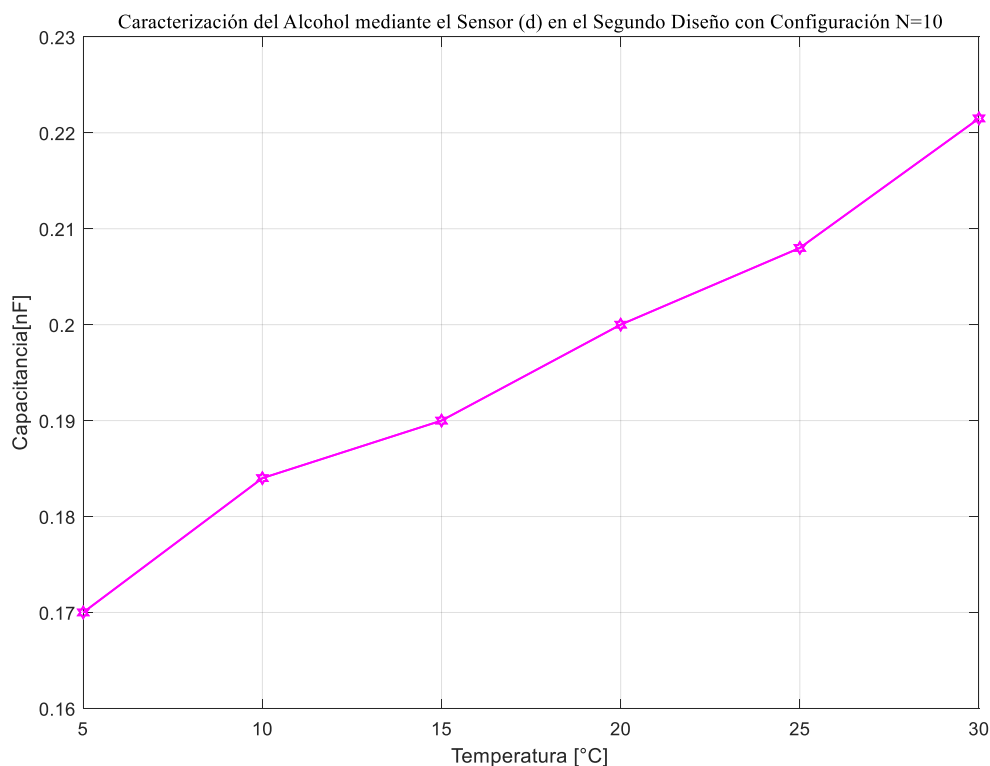
Toma de Capacitancia del Alcohol utilizando el Sensor SIC N=10 (d)

Capacitancia del Alcohol con el Sensor (d) del Segundo Diseño con Configuración N=10						
Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
ítem	Valor de la Capacitancia nF					
1	0.170	0.190	0.190	0.200	0.200	0.220
2	0.170	0.190	0.190	0.200	0.210	0.220
3	0.170	0.190	0.190	0.200	0.210	0.220
4	0.170	0.190	0.190	0.200	0.210	0.220
5	0.170	0.180	0.190	0.200	0.210	0.220
6	0.170	0.190	0.190	0.200	0.200	0.220
7	0.170	0.180	0.190	0.200	0.200	0.220
8	0.170	0.180	0.190	0.200	0.200	0.220
9	0.170	0.180	0.190	0.200	0.210	0.220
10	0.170	0.190	0.190	0.200	0.210	0.220
11	0.170	0.180	0.190	0.200	0.210	0.220
12	0.170	0.180	0.190	0.200	0.210	0.230
13	0.170	0.190	0.190	0.200	0.210	0.220
14	0.170	0.190	0.190	0.200	0.210	0.220
15	0.170	0.180	0.190	0.200	0.210	0.230
16	0.170	0.180	0.190	0.200	0.210	0.230
17	0.170	0.180	0.190	0.200	0.210	0.220
18	0.170	0.180	0.190	0.200	0.210	0.220
19	0.170	0.180	0.190	0.200	0.210	0.220
20	0.170	0.180	0.190	0.200	0.210	0.220
Promedio	0.170	0.184	0.190	0.200	0.208	0.222

En la siguiente gráfica se observa el comportamiento de Capacitancia del Alcohol frente al cambio de temperatura, se graficó con los promedios obtenidos de la tabla anterior, con el Sensor (d) del Segundo Diseño con Configuración N=10.

Figura 65

Comportamiento de la Capacitancia del Alcohol con el Sensor SIC (c)



Anexo 3.3. Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura, con el sensor SIC (f) en configuración N=20 del Segundo Diseño.

En las siguientes tablas se muestran los registros obtenidos de las pruebas realizadas con el Sensor SIC (f) con configuración N=20 del segundo diseño; para poder observar su sensibilidad y variación se optó por tomar 20 datos por cada muestra, los cuales se promediaron para poder observar su comportamiento por medio de una gráfica.

El rango de temperatura es de 5°C a 30°C y las Disoluciones de Referencia son: Agua, Mezcla y Alcohol.

Anexo 3.3.1. Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura de la Sustancia Agua

En la siguiente tabla se encuentran los datos recopilados de Capacitancia del Agua con el Sensor (f) del Segundo Diseño con Configuración N=20.

Tabla 37

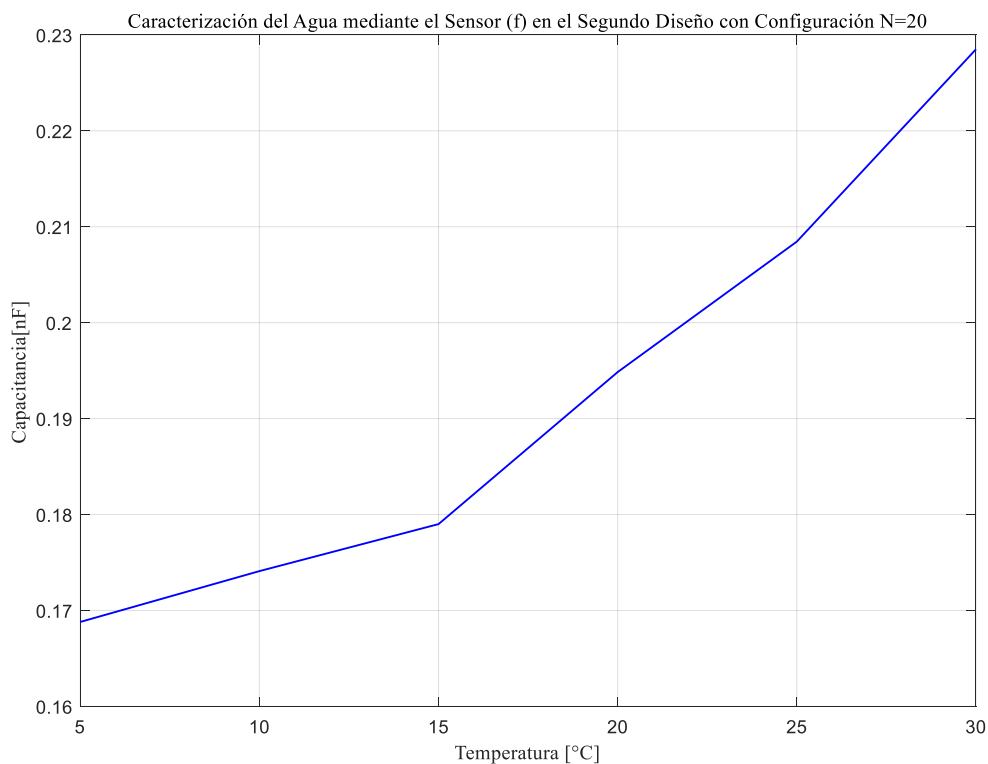
Toma de Capacitancia del Agua utilizando el Sensor SIC N=20 (f)

Capacitancia del Agua con el Sensor (f) del Segundo Diseño con Configuración N=20						
Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
ítem	Valor de la Capacitancia nF					
1	0.169	0.175	0.178	0.195	0.210	0.229
2	0.169	0.174	0.180	0.194	0.210	0.228
3	0.168	0.173	0.178	0.193	0.209	0.229
4	0.168	0.174	0.180	0.195	0.208	0.228
5	0.169	0.175	0.178	0.194	0.210	0.228
6	0.168	0.174	0.179	0.195	0.209	0.228
7	0.168	0.173	0.180	0.195	0.208	0.227
8	0.169	0.174	0.179	0.194	0.210	0.228
9	0.170	0.175	0.178	0.196	0.208	0.227
10	0.170	0.174	0.179	0.195	0.210	0.228
11	0.169	0.173	0.178	0.194	0.201	0.229
12	0.168	0.174	0.180	0.195	0.209	0.228
13	0.168	0.173	0.178	0.195	0.201	0.228
14	0.169	0.174	0.180	0.196	0.209	0.229
15	0.170	0.175	0.178	0.195	0.209	0.229
16	0.169	0.175	0.179	0.194	0.210	0.230
17	0.168	0.175	0.179	0.196	0.210	0.230
18	0.169	0.175	0.180	0.195	0.209	0.228
19	0.168	0.174	0.180	0.196	0.210	0.229
20	0.170	0.173	0.179	0.195	0.209	0.230
Promedio	0.169	0.174	0.179	0.195	0.208	0.229

En la siguiente gráfica se observa el comportamiento de Capacitancia del Agua frente al cambio de temperatura, se graficó con los promedios obtenidos de la tabla anterior, con el Sensor (f) del Segundo Diseño con Configuración N=20.

Figura 66

Comportamiento de la Capacitancia del Agua con el Sensor SIC (f)



Anexo 3.3.2. Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura de la Sustancia Mezcla.

En la siguiente tabla se encuentran los datos recopilados de Capacitancia de la Mezcla con el Sensor (f) del Segundo Diseño con Configuración N=20.

Tabla 38

Toma de Capacitancia del Alcohol Sensor SIC N=20 (f)

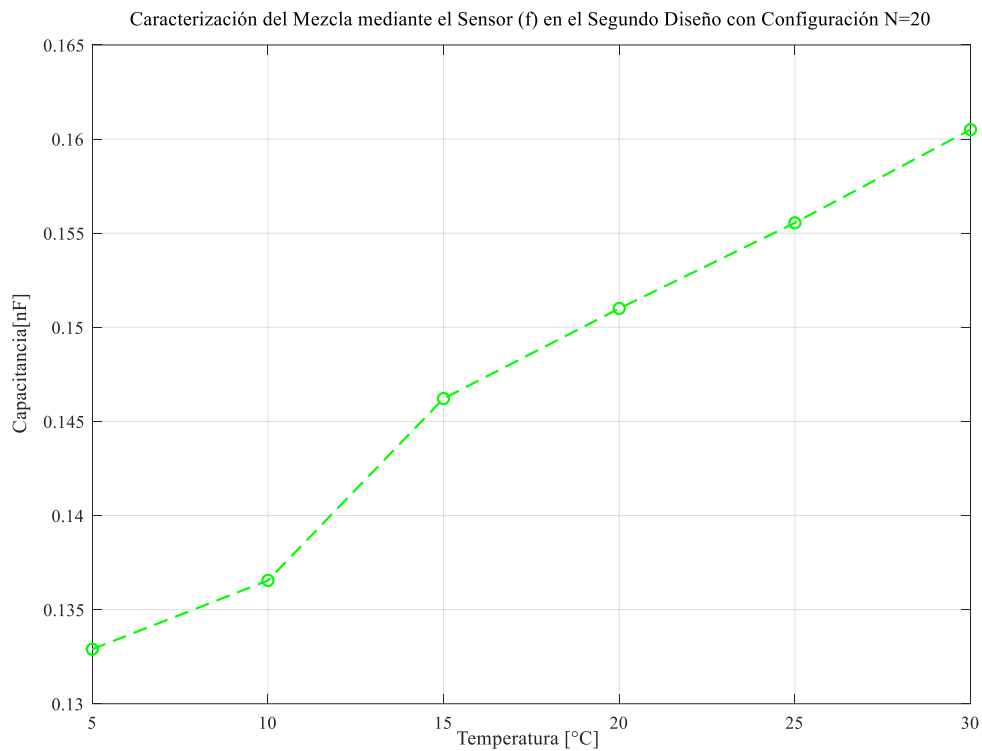
Capacitancia de la Mezcla con el Sensor (f) del Segundo Diseño con Configuración N=20						
Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
ítem	Valor de la Capacitancia nF					
1	0.134	0.136	0.145	0.151	0.156	0.160
2	0.133	0.137	0.146	0.150	0.155	0.160
3	0.133	0.136	0.145	0.151	0.156	0.161

4	0.133	0.137	0.146	0.150	0.155	0.161
5	0.134	0.136	0.146	0.151	0.156	0.161
6	0.132	0.137	0.147	0.151	0.155	0.160
7	0.132	0.137	0.147	0.150	0.156	0.161
8	0.134	0.136	0.147	0.150	0.155	0.160
9	0.133	0.136	0.146	0.151	0.156	0.160
10	0.133	0.137	0.147	0.150	0.155	0.161
11	0.133	0.138	0.146	0.152	0.156	0.161
12	0.133	0.136	0.146	0.152	0.156	0.161
13	0.132	0.136	0.147	0.152	0.155	0.160
14	0.132	0.137	0.146	0.151	0.156	0.160
15	0.132	0.136	0.147	0.152	0.155	0.161
16	0.134	0.137	0.146	0.152	0.156	0.160
17	0.132	0.138	0.145	0.151	0.155	0.160
18	0.133	0.136	0.146	0.150	0.156	0.161
19	0.134	0.136	0.146	0.152	0.156	0.160
20	0.132	0.136	0.147	0.151	0.155	0.161
Promedio	0.133	0.137	0.146	0.151	0.156	0.161

En la siguiente gráfica se observa el comportamiento de Capacitancia del Alcohol frente al cambio de temperatura, se graficó con los promedios obtenidos de la tabla anterior, con el Sensor (f) del Segundo Diseño con Configuración N=20.

Figura 67

Comportamiento de la Capacitancia de la Mezcla con el Sensor SIC (f)



Anexo 3.3.3. Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura de la Sustancia Alcohol.

En la siguiente tabla se encuentran los datos recopilados de Capacitancia de Alcohol con el Sensor (f) del Segundo Diseño con Configuración N=20.

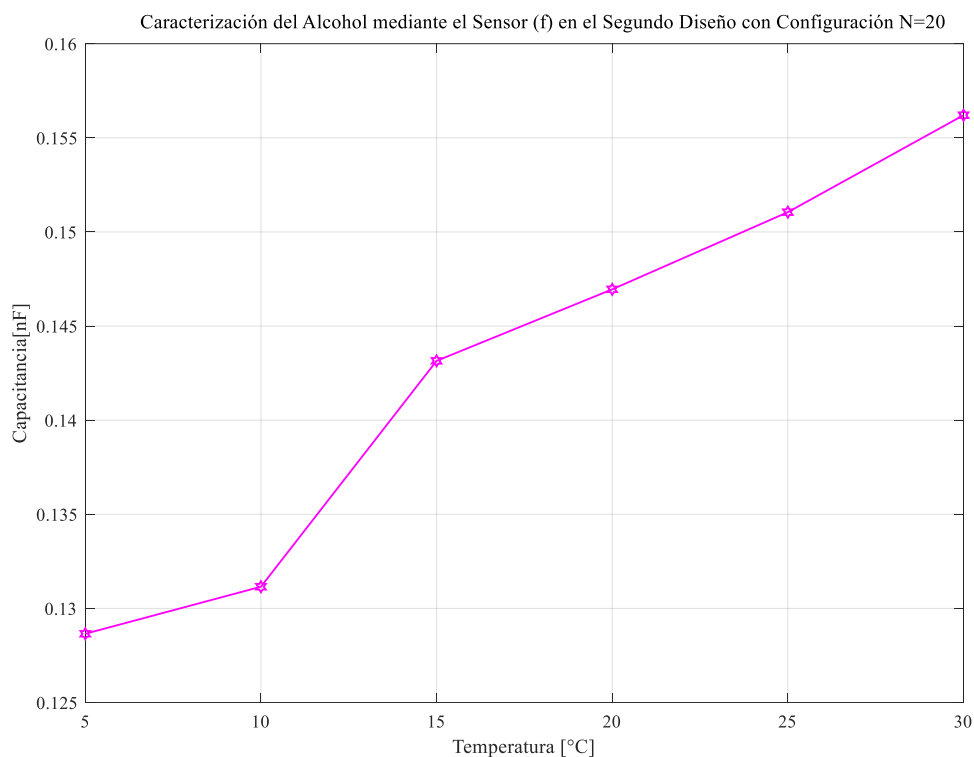
Tabla 39*Toma de Capacitancia del Alcohol, utilizando el Sensor SIC N=20 (f)*

Capacitancia del Alcohol con el Sensor (f) del Segundo Diseño con Configuración N=20						
Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
ítem	Valor de la Capacitancia nF					
1	0.129	0.131	0.144	0.146	0.150	0.156
2	0.128	0.132	0.145	0.147	0.151	0.157
3	0.129	0.131	0.143	0.146	0.150	0.157
4	0.130	0.132	0.142	0.148	0.151	0.156
5	0.129	0.131	0.144	0.147	0.150	0.156
6	0.129	0.130	0.145	0.146	0.151	0.157
7	0.129	0.131	0.142	0.148	0.150	0.156
8	0.128	0.132	0.143	0.147	0.151	0.155
9	0.129	0.131	0.144	0.147	0.152	0.156
10	0.128	0.132	0.143	0.148	0.152	0.157
11	0.129	0.132	0.141	0.146	0.151	0.155
12	0.128	0.131	0.144	0.148	0.150	0.155
13	0.129	0.130	0.143	0.148	0.152	0.156
14	0.129	0.131	0.142	0.147	0.150	0.157
15	0.128	0.132	0.144	0.146	0.152	0.155
16	0.128	0.131	0.143	0.147	0.151	0.157
17	0.128	0.132	0.144	0.146	0.152	0.156
18	0.129	0.130	0.143	0.147	0.152	0.157
19	0.129	0.130	0.142	0.146	0.151	0.156
20	0.128	0.131	0.142	0.148	0.152	0.157
Promedio	0.129	0.131	0.143	0.147	0.151	0.156

En la siguiente gráfica se observa el comportamiento de Capacitancia del Alcohol frente al cambio de temperatura, se graficó con los promedios obtenidos de la tabla anterior, con el Sensor (f) del Segundo Diseño con Configuración N=20.

Figura 68

Comportamiento de la Capacitancia del Alcohol con el Sensor SIC (f)



Anexo 4. Código de monitoreo de temperatura

con este código se realizó el monitoreo de temperatura de las disoluciones de la siguiente manera:

Sensores de Temperatura: El programa usa dos librerías llamadas "OneWire" y "DallasTemperature" para trabajar con sensores de temperatura. Estos sensores miden la temperatura del líquido.

Definición de Pines: Se asignan nombres a algunos pines en el Arduino para facilitar el código. Por ejemplo, se definen pines para los sensores de temperatura (pinDatosDQ y tempSensorPin) y para motobombas de agua (m1AguaCaliente, m2AguaFria, y m3Interno).

Configuración Inicial: En la función setup(), se inician las comunicaciones seriales.

Bucle Principal: En la función loop(), el código hace lo siguiente:

- a) Solicitud de Temperatura: Envía una solicitud a los sensores para que midan la temperatura.
- b) Lectura de Temperatura: Lee la temperatura medida por los sensores y la almacena en la variable tempC.
- c) Control de Motores: Dependiendo de la temperatura medida (tempC), se dice que, Si la temperatura es mayor a 5 grados Celsius, se encienden la motobomba de agua fría para enfriar las disoluciones. Si es menor a 5 grados Celsius, se enciende la motobomba de agua caliente para calentarlo. Si está cerca de 5 grados Celsius, se detienen todas las motobombas
- d) Espera: Después de realizar estas acciones, el programa espera medio segundo antes de volver a medir la temperatura.

Código de Arduino del moitoreo y control de temperatura

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// pin conectada la señal
const byte pinDatosDQ = 12;
//Instancia a las clases OneWire y DallasTemperature
int sensor;
int tempSensorPin = 12;
int m1AguaCaliente = 8;
int m2AguaFria = 9;
int m3Interno = 11;
int tempC;
int temp1;

OneWire oneWireobjeto(pinDatosDQ);
DallasTemperature sensorDS18B20(&oneWireobjeto);

void setup() {
```



```
// Iniciamos la comunicación de serie
Serial.begin (9600);
// Iniciamos el bus 1-wire
sensorDS18B20.begin();

Serial.begin(9600);
Serial.println("Iniciando sistema");
delay (500);
pinMode (sensor, INPUT);
pinMode (m1AguaCaliente, OUTPUT);
pinMode (m2AguaFria, OUTPUT);
pinMode (m3Interno, OUTPUT);
Serial.println("Sistema iniciado correctamente");
delay(500);}

void loop() {
//Mandamos comando para toma de temperatura a los sensores
Serial.println("Mandando comandos a los sensores");
sensorDS18B20.requestTemperatures();

// Leemos y mostramos los datos de los sensores DS18B20
Serial.print("Temperatura sensor 0: ");
tempC=sensorDS18B20.getTempCByIndex(0);
Serial.println(tempC);
delay (1000);

// Si la temperatura es mayor a 21 grados, enciende los motores
if (tempC > 5) {
    analogWrite(m1AguaCaliente, 0);
    analogWrite(m2AguaFria, 255);
    analogWrite(m3Interno, 255);
```

```

    }
    // // Si la temperatura es menor o igual a 21 grados, detiene los motores
    // else {
    //   digitalWrite(m1AguaCaliente, LOW);
    //   digitalWrite(m2AguaFria, LOW);
    //   digitalWrite(m3Interno, LOW);}
    if (tempC < 5) {
      analogWrite(m1AguaCaliente, 255);
      analogWrite(m2AguaFria, 0);
      //digitalWrite(m3Interno, HIGH);
      analogWrite(m3Interno, 255);}

      if (tempC > 5 and tempC<5) {
        analogWrite(m1AguaCaliente, 0);
        analogWrite(m2AguaFria, 0);
        //digitalWrite(m3Interno, HIGH);
        analogWrite(m3Interno, 0);}

    // Espera un segundo antes de volver a medir la temperatura
    delay(500);}

```

Anexo 5. tablas y graficas de las pruebas tomadas con los sensores SIC N=30, diseñado con base a esta investigación.

A continuación, se presentan los datos obtenidos en las pruebas realizadas con el sensor SIC N=30 el cual se diseñó a partir de las ecuaciones y datos obtenidos a lo largo de esta investigación, este se encuentra en la *Figura 28*. Los datos recopilados de estas pruebas proporcionan una visión detallada del comportamiento de la capacitancia medida el sensor SIC N=30, en respuesta a las variaciones de temperatura de las Disoluciones de referencia.

Estas pruebas se llevaron a cabo variando la temperatura de las Disoluciones de Referencia desde 5°C a 30°C, con incrementos e 5°C. Estos datos contribuirán a una

comprensión más profunda de la relación entre la temperatura y la capacitancia de las Disoluciones de referencia.

En las siguientes tablas se muestran los registros obtenidos de las pruebas realizadas con el Sensor *SIC N=30 diseño estudio previo.*; para poder observar su sensibilidad y variación se optó por tomar 20 datos por cada muestra, los cuales se promedió para poder observar su comportamiento por medio de una gráfica.

El rango de temperatura es de 5°C a 30°C y las Disoluciones de Referencia son: Agua, Mezcla y Alcohol.

Anexo 5.1. Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura de la Sustancia Agua

En la siguiente tabla se encuentran los datos recopilados de Capacitancia del Agua con el Sensor SIC N=30 el cual se diseñó a partir de las ecuaciones y datos obtenidos a lo largo de esta investigación.

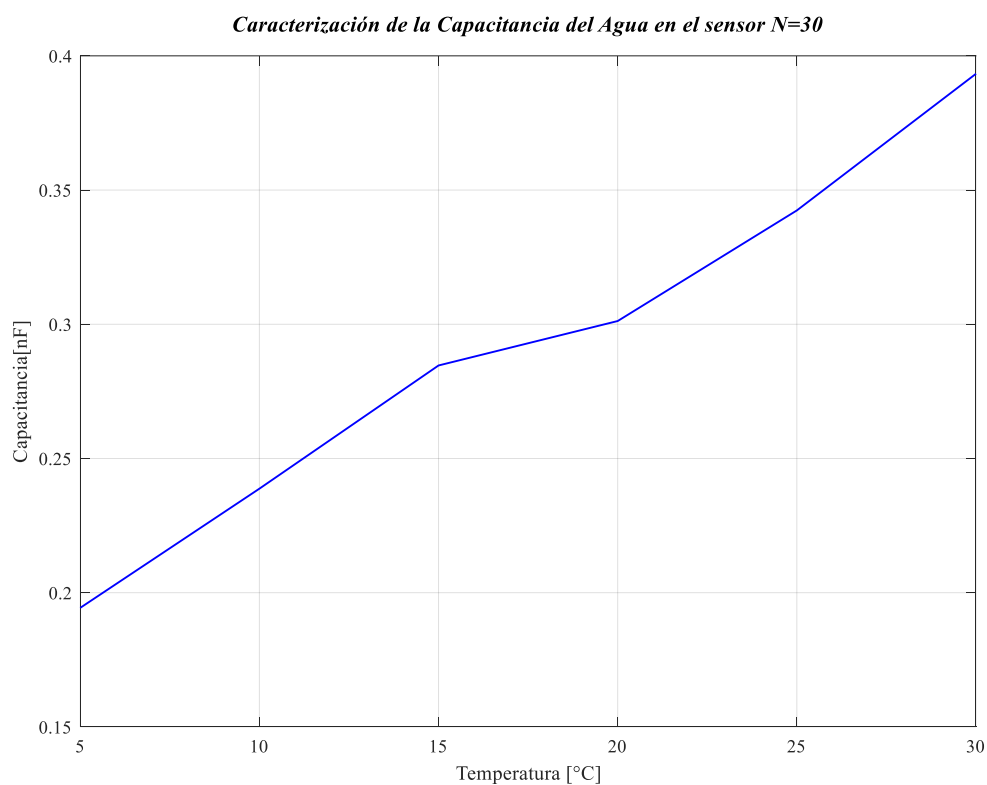
Tabla 40*Toma de Capacitancia del Agua Utilizando el Sensor SIC N=30*

Toma de Capacitancia de Agua Utilizando el Sensor SIC N=30						
Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
Item	Valor de la Capacitancia nF					
1	0.193	0.237	0.285	0.300	0.342	0.393
2	0.195	0.260	0.284	0.300	0.341	0.392
3	0.194	0.237	0.285	0.301	0.341	0.393
4	0.193	0.236	0.284	0.300	0.343	0.393
5	0.193	0.230	0.285	0.300	0.341	0.394
6	0.194	0.236	0.284	0.301	0.342	0.394
7	0.195	0.236	0.285	0.300	0.343	0.395
8	0.195	0.237	0.285	0.301	0.343	0.394
9	0.194	0.238	0.284	0.300	0.344	0.393
10	0.194	0.237	0.285	0.302	0.342	0.392
11	0.193	0.238	0.284	0.301	0.344	0.393
12	0.195	0.238	0.285	0.301	0.343	0.392
13	0.195	0.239	0.285	0.302	0.344	0.394
14	0.195	0.239	0.284	0.302	0.343	0.394
15	0.194	0.240	0.284	0.301	0.342	0.394
16	0.196	0.239	0.285	0.302	0.341	0.394
17	0.194	0.240	0.286	0.303	0.342	0.393
18	0.196	0.239	0.285	0.303	0.343	0.392
19	0.195	0.240	0.284	0.302	0.341	0.393
20	0.194	0.239	0.285	0.302	0.343	0.394
Promedio	0.194	0.239	0.285	0.301	0.342	0.393

En la siguiente gráfica se observa el comportamiento de Capacitancia del Agua frente al cambio de temperatura, se graficó con los promedios obtenidos de la tabla anterior, con el Sensor *SIC N=30* diseño estudio previo.

Figura 69

Comportamiento de la Capacitancia del Agua con el Sensor SIC N=30



Anexo 5.2. Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura de la Sustancia Mezcla.

En la siguiente tabla se encuentran los datos recopilados de Capacitancia de la mezcla con el Sensor SIC N=30 del diseño el estudio previo.

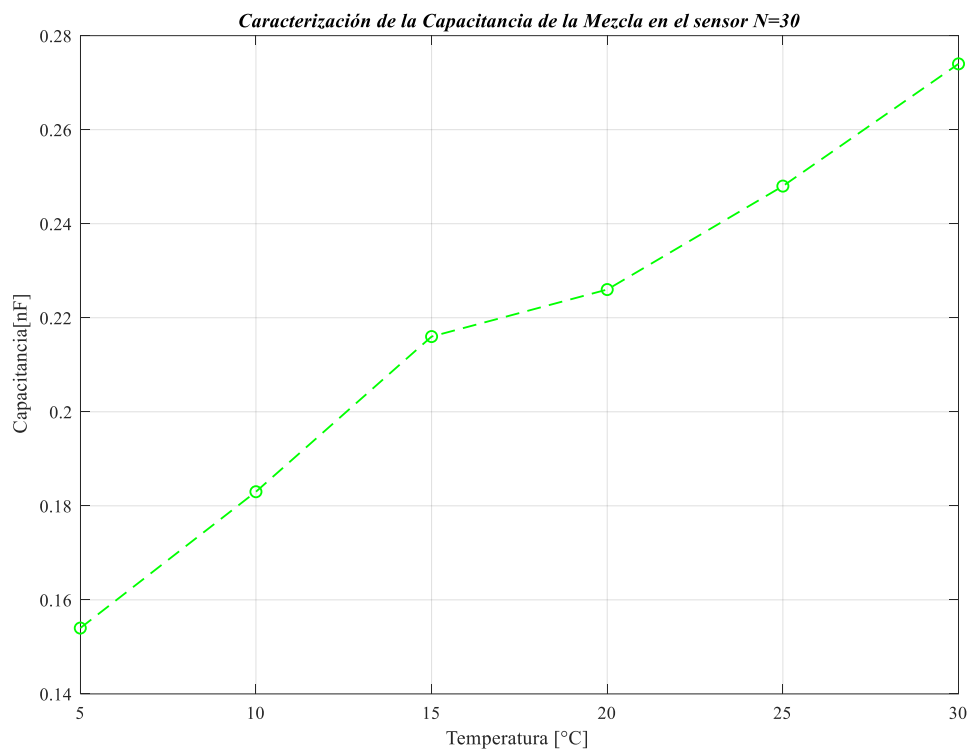
Tabla 41*Toma de Capacitancia en Disolución con un 50% de Alcohol*

Toma de Capacitancia en Disoluciones con un 50% de Alcohol Utilizando el Sensor SIC N=30						
Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
Item	Valor de la Capacitancia nF					
1	0.153	0.180	0.215	0.225	0.248	0.273
2	0.155	0.181	0.215	0.226	0.249	0.274
3	0.154	0.180	0.216	0.226	0.248	0.273
4	0.153	0.182	0.217	0.225	0.247	0.273
5	0.156	0.182	0.215	0.225	0.248	0.274
6	0.155	0.182	0.217	0.225	0.248	0.274
7	0.154	0.183	0.215	0.226	0.249	0.273
8	0.153	0.183	0.215	0.226	0.249	0.273
9	0.156	0.183	0.216	0.227	0.248	0.272
10	0.156	0.184	0.217	0.227	0.249	0.274
11	0.154	0.182	0.215	0.227	0.249	0.274
12	0.154	0.183	0.217	0.225	0.248	0.273
13	0.156	0.183	0.216	0.226	0.248	0.275
14	0.155	0.183	0.217	0.226	0.249	0.273
15	0.154	0.184	0.214	0.227	0.248	0.274
16	0.153	0.184	0.215	0.226	0.249	0.274
17	0.155	0.183	0.217	0.225	0.249	0.274
18	0.154	0.184	0.216	0.226	0.249	0.275
19	0.153	0.184	0.216	0.225	0.248	0.273
20	0.156	0.183	0.215	0.225	0.249	0.272
Promedio	0.154	0.183	0.216	0.226	0.248	0.274

En la siguiente gráfica se observa el comportamiento de Capacitancia de la Mezcla frente al cambio de temperatura, se graficó con los promedios obtenidos de la tabla anterior, con el Sensor SIC N=30 diseño estudio previo.

Figura 70

Comportamiento de la Capacitancia de la Mezcla con el Sensor SIC N=30



Anexo 5.3. Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura de la Sustancia Alcohol.

En la siguiente tabla se encuentran los datos recopilados de Capacitancia del Alcohol con el Sensor SIC N=30 del diseño el estudio previo.

Tabla 42

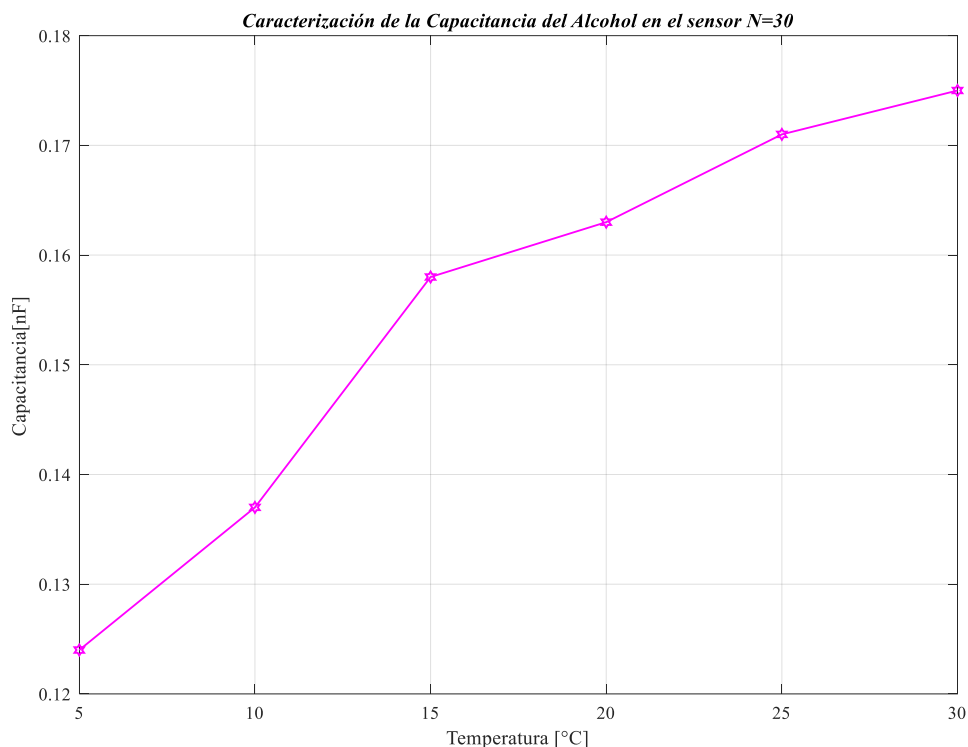
Toma de Capacitancia del Alcohol Utilizando el Sensor SIC N=30

Toma de capacitancia del Alcohol con el Sensor SIC N=30						
Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
Item	Valor de la Capacitancia nF					
1	0.123	0.136	0.158	0.163	0.170	0.175
2	0.122	0.138	0.158	0.163	0.170	0.175
3	0.124	0.136	0.159	0.163	0.171	0.174
4	0.123	0.137	0.158	0.164	0.172	0.174
5	0.123	0.136	0.160	0.164	0.172	0.176
6	0.124	0.136	0.157	0.164	0.172	0.176
7	0.122	0.136	0.159	0.163	0.170	0.176
8	0.125	0.138	0.158	0.163	0.171	0.174
9	0.123	0.136	0.161	0.163	0.172	0.174
10	0.125	0.137	0.159	0.162	0.171	0.175
11	0.124	0.136	0.158	0.162	0.170	0.176
12	0.123	0.138	0.157	0.163	0.171	0.176
13	0.125	0.137	0.158	0.164	0.172	0.175
14	0.124	0.136	0.157	0.164	0.172	0.175
15	0.123	0.136	0.159	0.164	0.170	0.175
16	0.124	0.138	0.158	0.163	0.171	0.174
17	0.123	0.136	0.159	0.162	0.170	0.174
18	0.125	0.137	0.157	0.162	0.170	0.176
19	0.122	0.136	0.157	0.163	0.171	0.176
20	0.125	0.137	0.158	0.163	0.170	0.175
Promedio	0.124	0.137	0.158	0.163	0.171	0.175

En la siguiente gráfica se observa el comportamiento de Capacitancia de la Alcohol frente al cambio de temperatura, se graficó con los promedios obtenidos de la tabla anterior, con el Sensor SIC N=30 diseño estudio previo.

Figura 71

Comportamiento de la Capacitancia de la Alcohol con el SIC N=30



Anexo 6. tablas y graficas de las permitividades de las Disoluciones con base las pruebas tomadas con los sensores SIC N=30, diseñado con base a esta investigación.

A continuación, se presentan las permitividades de las Disoluciones de Referencia, estas se obtuvieron aplicando la Ec. (28) a los promedios de capacitancia de las Disoluciones de Referencia, tomados con el Sensor SIC N=30, el cual se diseñó con base a esta investigación, la tabla a la cual se aplicó la Ec. (28), es la *Tabla 12*.

Anexo 6.1. Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura de la Sustancia Agua

En la siguiente tabla, se presenta la Permitividad del Agua, la cual se calculó aplicando la Ec. (28), al promedio de la capacitancia del Agua de la *Tabla 12*.

Tabla 43

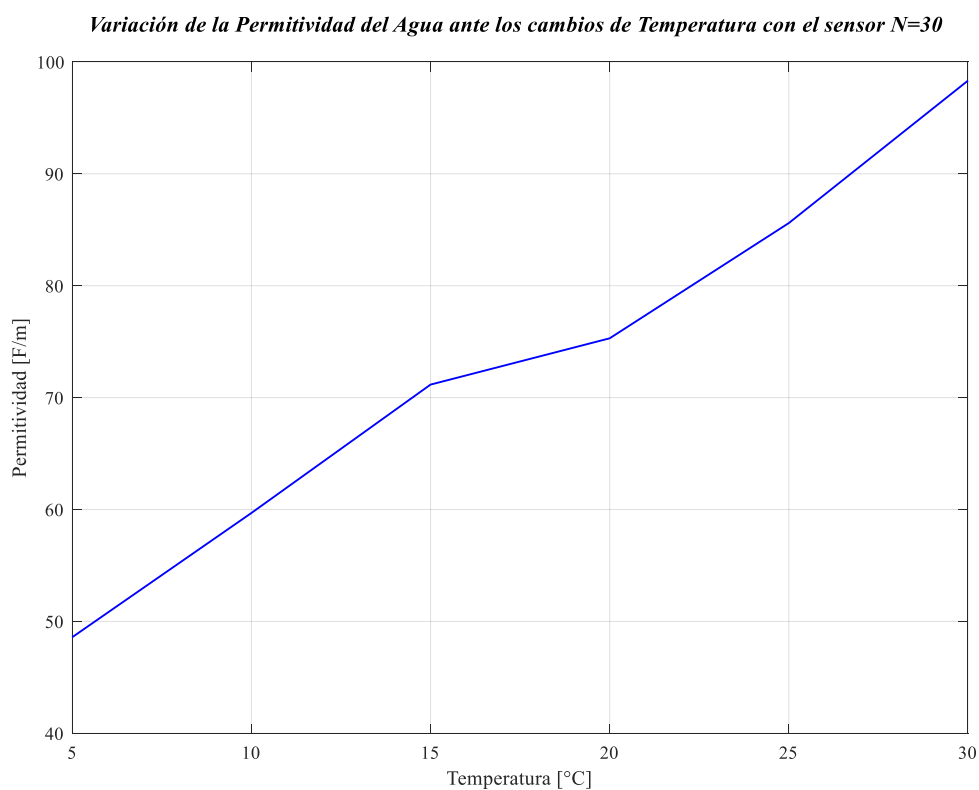
Permitividad del agua con el sensor SIC N=30.

Permitividad del Agua con el Sensor SIC N=30						
Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
Disolución	Valor de la Permitividad A.U.					
Agua	48.588	59.688	71.163	75.300	85.600	98.325

En la siguiente gráfica se observa el comportamiento de Permitividad del Agua frente al cambio de temperatura, se graficó con los valores de permitividad obtenidos de la anterior *Tabla*.

Figura 72

Comportamiento de la Permitividad del Agua con el Sensor SIC N=30



En la siguiente tabla, se presenta la Permitividad del Mezcla, la cual se calculó aplicando la Ec. (28), al promedio de la capacitancia del Mezcla de la *Tabla 12*.

Tabla 44

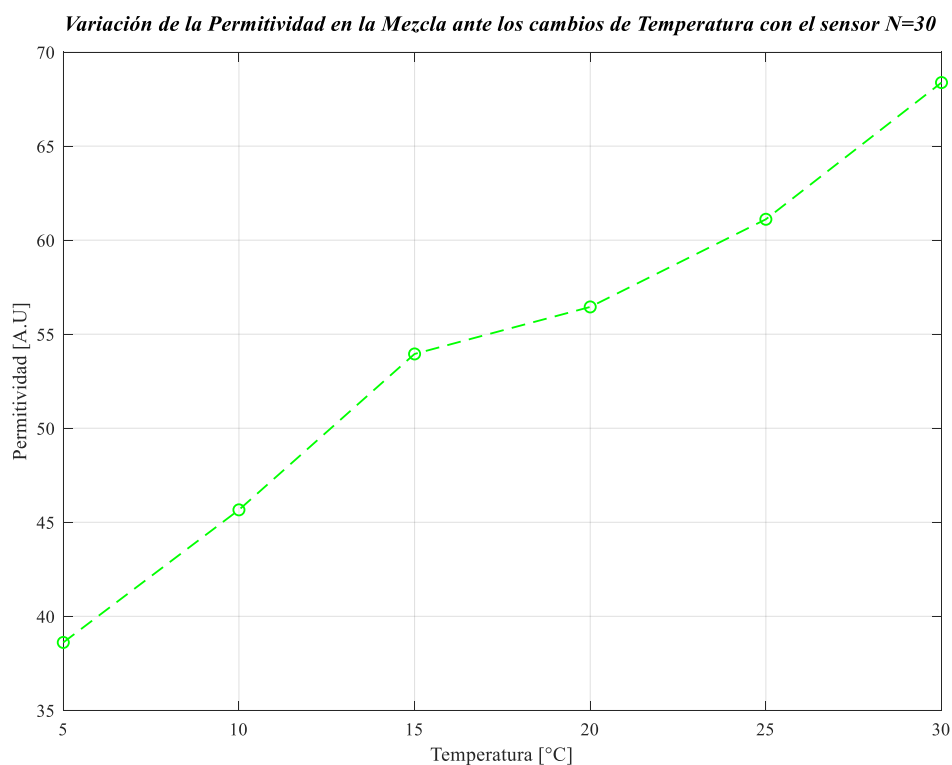
Permitividad de la Mezcla con el sensor SIC N=30.

Permitividad de la Mezcla con el Sensor SIC N=30						
Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
Sustancia	Valor de la Permitividad A.U.					
Mezcla	38.613	45.663	53.950	56.450	62.113	68.375

En la siguiente gráfica se observa el comportamiento de Permitividad de la Mezcla frente al cambio de temperatura, se graficó con los valores de permitividad obtenidos de la anterior tabla.

Figura 73

Comportamiento de la Permitividad de la Mezcla con el Sensor SIC N=30



En la siguiente tabla, se presenta la Permitividad del Alcohol, la cual se calculó aplicando la Ec. (28), al promedio de la capacitancia del Alcohol de la *Tabla 12*.

Tabla 45

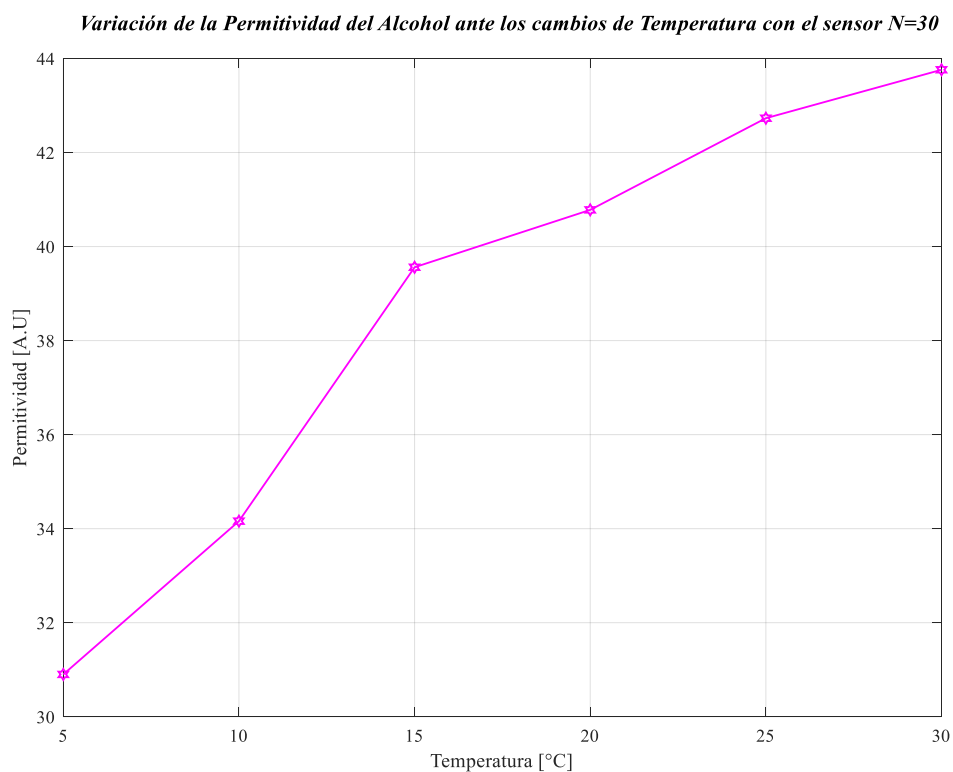
Permitividad del Alcohol con el sensor SIC N=30.

Permitividad del Alcohol con el Sensor SIC N=30						
Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
Disolución	Valor de la Permitividad A.U.					
Alcohol	30.900	34.163	39.563	40.775	42.725	43.763

En la siguiente gráfica se observa el comportamiento de Permitividad de la Mezcla frente al cambio de temperatura, se graficó con los valores de permitividad obtenidos de la anterior tabla.

Figura 74

Comportamiento de la Permitividad del Alcohol con el Sensor SIC N=30



Anexo 7. tablas y graficas de las pruebas tomadas con los sensores SIC N=30, diseñado con base a esta investigación, para observar el comportamiento de este, a mayor profundidad.

A continuación, se presentan los datos obtenidos en las pruebas realizadas con el sensor SIC N=30 el cual se diseñó a partir de las ecuaciones y datos obtenidos a lo largo de esta investigación, este se encuentra en la *Figura 31*. Los datos recopilados de estas pruebas proporcionan una visión detallada del comportamiento de la capacitancia medida el sensor SIC N=30, en respuesta a las variaciones de temperatura de las Disoluciones de referencia.

Estas pruebas se llevaron a cabo variando la temperatura de las Disoluciones de Referencia desde 5°C a 30°C, con incrementos e 5°C. Estos datos contribuirán a una comprensión más profunda de la relación entre la temperatura y la capacitancia de las Disoluciones de referencia.

En las siguientes tablas se muestran los registros obtenidos de las pruebas realizadas con el Sensor *SIC N=30 diseño estudio previo.*; para poder observar su sensibilidad y variación se optó por tomar 20 datos por cada muestra, los cuales se promedió para poder observar su comportamiento por medio de una gráfica.

El rango de temperatura es de 5°C a 30°C y las Disoluciones de Referencia son:

Sustancia 1: Disolución con un 15% de Alcohol

Sustancia 2: Disolución con un 30% de Alcohol

Sustancia 3: Disolución con un 75% de Alcohol

Anexo 7.1. Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura de la Disolución con un 15% de alcohol.

En la siguiente tabla se encuentran los datos recopilados de Capacitancia de la Disolución con un 15% de alcohol, estas capacitancias se tomaron con el Sensor SIC N=30 el cual se diseñó a partir de las ecuaciones y datos obtenidos a lo largo de esta investigación.

Tabla 46

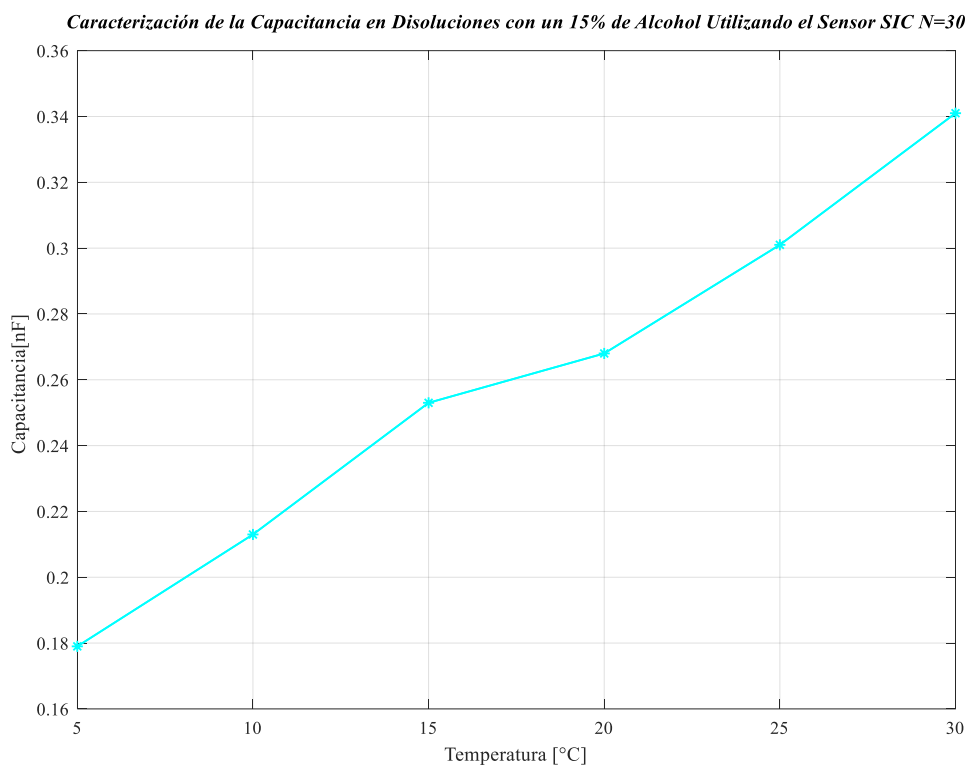
Toma de Capacitancia en Disolución con un 15% de Alcohol

Toma de Capacitancia en Disolución con un 15% de Alcohol Utilizando el Sensor SIC N=30							
Ítem	Temperatura	5°C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
	Valor de la Capacitancia nF						
1		0.178	0.214	0.252	0.269	0.300	0.340
2		0.178	0.214	0.252	0.269	0.300	0.342
3		0.179	0.212	0.252	0.267	0.301	0.340
4		0.178	0.213	0.253	0.267	0.300	0.341
5		0.179	0.212	0.253	0.269	0.300	0.341
6		0.178	0.212	0.254	0.268	0.302	0.340
7		0.180	0.214	0.253	0.269	0.302	0.343
8		0.179	0.214	0.252	0.267	0.300	0.342
9		0.178	0.214	0.254	0.267	0.300	0.340
10		0.180	0.214	0.254	0.268	0.300	0.343
11		0.179	0.212	0.252	0.269	0.301	0.342
12		0.178	0.213	0.253	0.269	0.301	0.343
13		0.178	0.212	0.253	0.267	0.300	0.342
14		0.180	0.212	0.253	0.267	0.300	0.340
15		0.179	0.213	0.252	0.269	0.302	0.343
16		0.178	0.214	0.253	0.268	0.302	0.340
17		0.180	0.212	0.252	0.269	0.300	0.342
18		0.179	0.213	0.253	0.267	0.300	0.340
19		0.178	0.212	0.252	0.269	0.301	0.343
20		0.178	0.212	0.252	0.267	0.301	0.342
Promedio		0.179	0.213	0.253	0.268	0.301	0.341

En la siguiente gráfica se observa el comportamiento de la Disolución con un 15% de alcohol frente al cambio de temperatura, se graficó con los promedios obtenidos de la tabla anterior, con el Sensor *SIC N=30* diseño estudio previo.

Figura 75

Capacitancia del Alcohol con una concentración del 15%



Anexo 7.2. Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura de la Disolución con un 30% de alcohol.

En la siguiente tabla se encuentran los datos recopilados de Capacitancia de la Disolución con un 30% de alcohol, estas capacitancias se tomaron con el Sensor SIC N=30 el cual se diseñó a partir de las ecuaciones y datos obtenidos a lo largo de esta investigación.

Tabla 47

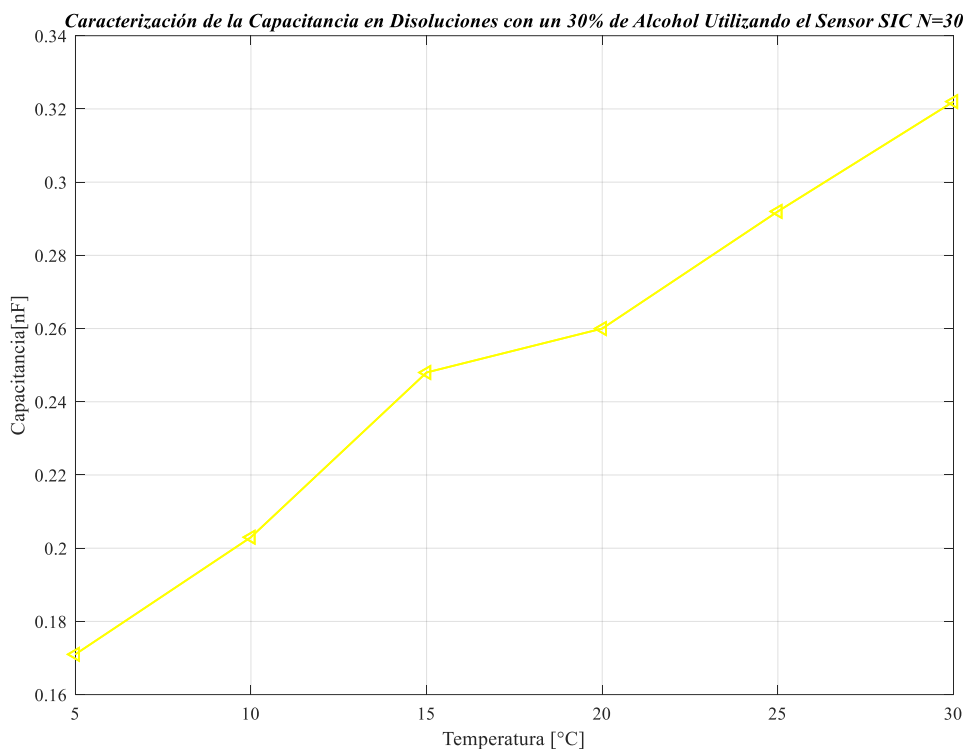
Toma de Capacitancia en Disolución con un 30% de Alcohol

Toma de Capacitancia en Disoluciones con un 30% de Alcohol Utilizando el Sensor SIC N=30						
Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
Item	Valor de la Capacitancia nF					
1	0.172	0.205	0.247	0.260	0.293	0.323
2	0.172	0.203	0.247	0.261	0.290	0.320
3	0.171	0.204	0.249	0.262	0.290	0.321
4	0.170	0.205	0.247	0.259	0.293	0.323
5	0.170	0.203	0.248	0.260	0.292	0.323
6	0.172	0.202	0.249	0.258	0.293	0.323
7	0.172	0.205	0.247	0.262	0.291	0.322
8	0.170	0.204	0.248	0.262	0.292	0.323
9	0.170	0.203	0.248	0.258	0.290	0.323
10	0.172	0.202	0.248	0.259	0.293	0.322
11	0.171	0.203	0.249	0.258	0.291	0.323
12	0.170	0.202	0.247	0.262	0.293	0.323
13	0.173	0.202	0.248	0.262	0.290	0.321
14	0.172	0.203	0.248	0.260	0.293	0.321
15	0.172	0.204	0.249	0.258	0.291	0.323
16	0.170	0.205	0.248	0.260	0.293	0.322
17	0.172	0.202	0.249	0.260	0.290	0.323
18	0.170	0.203	0.247	0.262	0.293	0.322
19	0.172	0.203	0.248	0.261	0.291	0.323
20	0.170	0.204	0.248	0.260	0.293	0.321
Promedio	0.171	0.203	0.248	0.260	0.292	0.322

En la siguiente gráfica se observa el comportamiento de la Disolución con un 30% de alcohol frente al cambio de temperatura, se graficó con los promedios obtenidos de la tabla anterior, con el Sensor *SIC N=30* diseño estudio previo.

Figura 76

Capacitancia del Alcohol con una concentración del 30%



Anexo 7.3. Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura de la Disolución con un 75% de alcohol.

En la siguiente tabla se encuentran los datos recopilados de Capacitancia de la Disolución con un 75% de alcohol, estas capacitancias se tomaron con el Sensor SIC N=30 el cual se diseñó a partir de las ecuaciones y datos obtenidos a lo largo de esta investigación.

Tabla 48

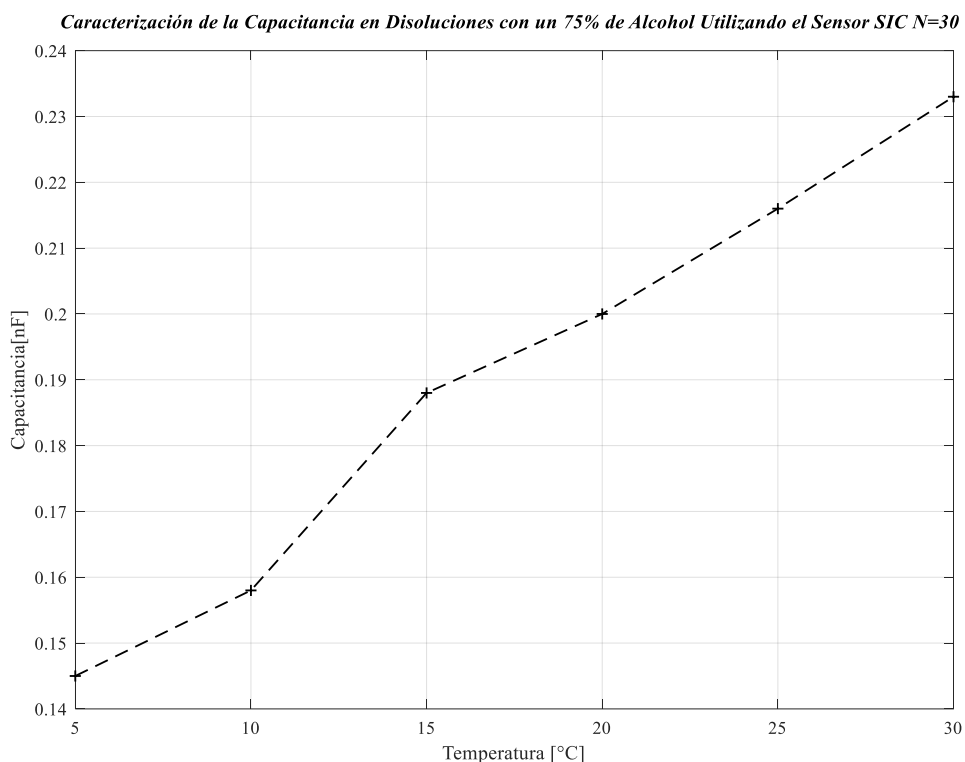
Toma de Capacitancia en Disolución con un 75% de Alcohol

Toma de Capacitancia en Disoluciones con un 75% de Alcohol Utilizando el Sensor SIC N=30						
Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
Item	Valor de la Capacitancia nF					
1	0.145	0.158	0.187	0.201	0.217	0.234
2	0.143	0.157	0.188	0.200	0.215	0.234
3	0.145	0.157	0.188	0.200	0.218	0.233
4	0.146	0.158	0.187	0.200	0.216	0.230
5	0.144	0.157	0.189	0.202	0.216	0.231
6	0.145	0.157	0.187	0.202	0.215	0.230
7	0.145	0.159	0.190	0.199	0.217	0.235
8	0.146	0.158	0.187	0.198	0.218	0.232
9	0.145	0.157	0.187	0.199	0.217	0.232
10	0.143	0.157	0.189	0.199	0.215	0.230
11	0.145	0.158	0.188	0.202	0.216	0.233
12	0.146	0.157	0.187	0.200	0.215	0.230
13	0.144	0.157	0.189	0.201	0.218	0.234
14	0.146	0.158	0.189	0.201	0.217	0.235
15	0.145	0.157	0.187	0.202	0.217	0.231
16	0.146	0.157	0.190	0.199	0.215	0.232
17	0.145	0.159	0.187	0.198	0.215	0.232
18	0.143	0.158	0.188	0.198	0.217	0.235
19	0.145	0.157	0.189	0.200	0.218	0.233
20	0.146	0.157	0.187	0.201	0.215	0.235
Promedio	0.145	0.158	0.188	0.200	0.216	0.233

En la siguiente gráfica se observa el comportamiento de la Disolución con un 30% de Alcohol frente al cambio de temperatura, se graficó con los promedios obtenidos de la tabla anterior, con el Sensor *SIC N=30* *diseño estudio previo*.

Figura 77

Capacitancia del Alcohol con una concentración del 75%



Anexo 8. tablas y graficas de las permitividades de las Disoluciones con base las pruebas tomadas con los sensores SIC N=30, diseñado con base a esta investigación.

A continuación, se presentan las permitividades de las Disoluciones de Referencia, estas se obtuvieron aplicando la Ec. (28) a los promedios de capacitancia de las Disoluciones de Referencia, tomados con el Sensor SIC N=30, el cual se diseñó con base a esta investigación, la tabla a la cual se aplicó la Ec. (28), es la *Tabla 12*.

Anexo 8.1. Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura de la Disolución con 15% de Alcohol.

En la siguiente tabla, se presenta la Permitividad Disolución con un 15% de Alcohol, la cual se calculó aplicando la Ec. (28), al promedio de la capacitancia de la Disolución con un 30% de alcohol de la *Tabla 12*.

Tabla 49

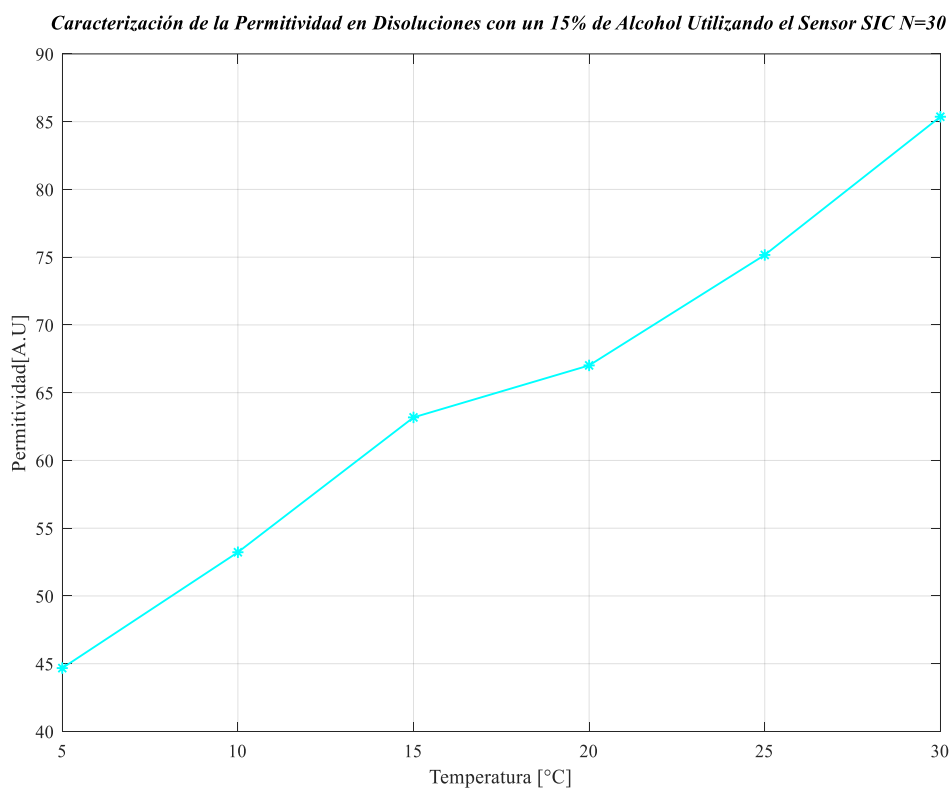
Permitividad de la Disolución con un 15% de Alcohol.

Permitividad de la Disoluciones con un 15% de Alcohol Utilizando el Sensor SIC N=30						
Temperatura Disolución	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
Valor de la Permitividad A.U.						
15% Alcohol	44.675	53.225	63.175	67.013	75.163	85.363

En la siguiente tabla, se presenta la Permitividad la Disolución con un 15% de Alcohol, la cual se calculó aplicando la Ec. (28), al promedio de la capacitancia del Alcohol de la *Tabla 12*.

Figura 78

Permitividad del Alcohol con una concentración del 15%



Anexo 8.2. Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura de la Disolución con 30% de Alcohol.

En la siguiente tabla, se presenta la Permittividad Disolución con un 30% de Alcohol, la cual se calculó aplicando la Ec. (28), al promedio de la capacitancia de la Disolución con un 30% de alcohol de la *Tabla 12*.

Tabla 50

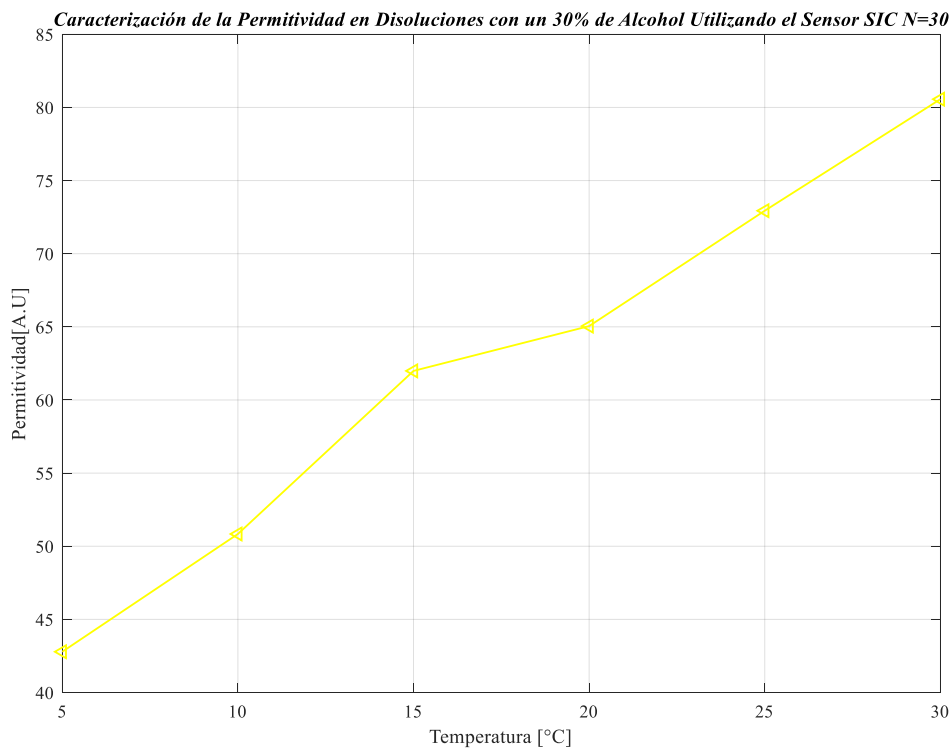
Permittividad de la Disolución con un 30% de Alcohol.

Permittividad de la Disoluciones con un 30% de Alcohol Utilizando el Sensor SIC N=30						
Temperatura	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
Disolución	Valor de la Permittividad A.U.					
30% Alcohol	42.788	50.838	61.988	65.050	72.938	80.563

En la siguiente tabla, se presenta la Permittividad la Disolución con un 15% de Alcohol, la cual se calculó aplicando la Ec. (28), al promedio de la capacitancia del Alcohol de la *Tabla 12*.

Figura 79

Permittividad del Alcohol con una concentración del 30%



Anexo 8.2. Registro de Muestras y Gráficas del comportamiento de la capacitancia frente a la temperatura de la Disolución con 30% de Alcohol.

En la siguiente tabla, se presenta la Permittividad Disolución con un 30% de Alcohol, la cual se calculó aplicando la Ec. (28), al promedio de la capacitancia de la Disolución con un 30% de alcohol de la *Tabla 12*.

Tabla 51

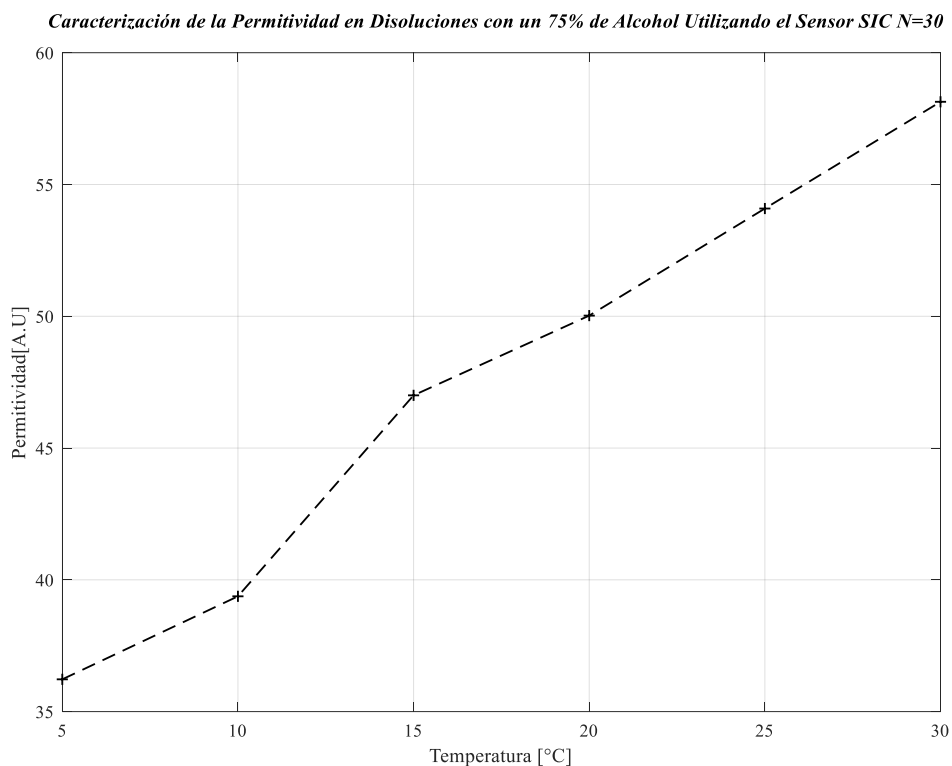
Permittividad de la Disolución con un 75% de Alcohol.

Permittividad de la Disoluciones con un 75% de Alcohol Utilizando el Sensor SIC N=30						
Temperatura Disolución	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
Valor de la Permittividad A.U.						
75% Alcohol	36.225	39.375	47.000	50.025	54.088	58.138

En la siguiente tabla, se presenta la Permittividad la Disolución con un 15% de Alcohol, la cual se calculó aplicando la Ec. (28), al promedio de la capacitancia del Alcohol de la *Tabla 12*.

Figura 80

Permitividad del Alcohol con una concentración del 75%



Anexo 9 Cálculo de la Ecuación del Porcentaje de Alcohol

A partir de la ecuación que modela la mezcla líquida, se genera como la suma ponderada de volumen contenida en cada soluto y multiplicada por su respectiva permitividad con se ve en las siguientes ecuaciones, se necesitó despejar P_{Con} (porcentaje de alcohol) para poder analizar cuál es el error en comparación con los resultados teóricos con el objetivo de validar el buen funcionamiento de sensor SIC.

$$\begin{aligned}
 (1 - P_{Con})\epsilon_W + P_{Con} \cdot \epsilon_A &= \epsilon_{Liq} \\
 \epsilon_W - \epsilon_W P_{Con} + P_{Con} \cdot \epsilon_A &= \epsilon_{Liq} \\
 -\epsilon_W P_{Con} + P_{Con} \cdot \epsilon_A &= \epsilon_{Liq} - \epsilon_W \\
 P_{Con}(-\epsilon_W + \epsilon_A) &= \epsilon_{Liq} - \epsilon_W \\
 P_{Con} &= \frac{\epsilon_{Liq} - \epsilon_W}{\epsilon_A - \epsilon_W}
 \end{aligned}$$

Anexo 10. Video correspondiente al funcionamiento del sistema de monitoreo de temperatura



 <p>UNIVERSIDAD CESMAG NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN</p>	CARTA DE ENTREGA TRABAJO DE GRADO O TRABAJO DE APLICACIÓN – ASESOR(A)	CÓDIGO: AAC-BL-FR-032
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 09/JUN/2022

San Juan de Pasto, 17 de noviembre de 2023

Biblioteca
REMIGIO FIORE FORTEZZA OFM. CAP.
Universidad CESMAG
Pasto


Saludo de paz y bien.

Por medio de la presente se hace entrega del Trabajo de Grado / Trabajo de Aplicación denominado **“Sensor interdigitado capacitivo (SIC) para medición de la concentración de alcohol en agua a partir de la correlación entre temperatura y permitividad entre los 5° y 30° grados Celsius”**, presentado por el (los) autor(es) **Tatiana Paola Cabrera Gómez y Liseth Jeraldin Quintero Gómez** del Programa Académico **Ingeniería Electrónica** al correo electrónico biblioteca.trabajosdegrado@unicesmag.edu.co. Manifiesto como asesor(a), que su contenido, resumen, anexos y formato PDF cumple con las especificaciones de calidad, guía de presentación de Trabajos de Grado o de Aplicación, establecidos por la Universidad CESMAG, por lo tanto, se solicita el paz y salvo respectivo.

Atentamente,




Edgar Alberto Unigarro Calpa
C.C. 1085266351
Ingeniería Electrónica
Cel. 3182969880
C. E. eaunigarro@unicesmag.edu.co

 UNIVERSIDAD CESMAG <small>NIIT: 800.109.387-7 VIGILADA MIREDCACIÓN</small>	AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL	CÓDIGO: AAC-BL-FR-031
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 09/JUN/2022

INFORMACIÓN DEL (LOS) AUTOR(ES)	
Nombres y apellidos del autor: Tatiana Paola Cabrera Gómez	Documento de identidad: 1085326080
Correo electrónico: Tatianapaola17@gmail.com	Número de contacto: 3105405954
Nombres y apellidos del autor: Liseth Jeraldin Quintero Gómez	Documento de identidad: 1006788810
Correo electrónico: jerasq@gmail.com	Número de contacto: 3222103854
Título del trabajo de grado: Sensor interdigitado capacitivo (SIC) para medición de la concentración de alcohol en agua a partir de la correlación entre temperatura y permitividad entre los 5° y 30° grados Celsius.	
Facultad y Programa Académico: Facultad de Ingeniería- Programa de Ingeniería Electrónica	

En mi (nuestra) calidad de autor(es) y/o titular (es) del derecho de autor del Trabajo de Grado o de Aplicación señalado en el encabezado, confiero (conferimos) a la Universidad CESMAG una licencia no exclusiva, limitada y gratuita, para la inclusión del trabajo de grado en el repositorio institucional. Por consiguiente, el alcance de la licencia que se otorga a través del presente documento, abarca las siguientes características:

- a) La autorización se otorga desde la fecha de suscripción del presente documento y durante todo el termino en el que el (los) firmante(s) del presente documento conserve(mos) la titularidad de los derechos patrimoniales de autor. En el evento en el que deje(mos) de tener la titularidad de los derechos patrimoniales sobre el Trabajo de Grado o de Aplicación, me (nos) comprometo (comprometemos) a informar de manera inmediata sobre dicha situación a la Universidad CESMAG. Por consiguiente, hasta que no exista comunicación escrita de mi(nuestra) parte informando sobre dicha situación, la Universidad CESMAG se encontrará debidamente habilitada para continuar con la publicación del Trabajo de Grado o de Aplicación dentro del repositorio institucional. Conozco(conocemos) que esta autorización podrá revocarse en cualquier momento, siempre y cuando se eleve la solicitud por escrito para dicho fin ante la Universidad CESMAG. En estos eventos, la Universidad CESMAG cuenta con el plazo de un mes después de recibida la petición, para desmarcar la visualización del Trabajo de Grado o de Aplicación del repositorio institucional.
- b) Se autoriza a la Universidad CESMAG para publicar el Trabajo de Grado o de Aplicación en formato digital y teniendo en cuenta que uno de los medios de publicación del repositorio institucional es el internet, acepto(amos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación circulará con un alcance mundial.
- c) Acepto (aceptamos) que la autorización que se otorga a través del presente documento se realiza a título gratuito, por lo tanto, renuncio(amos) a recibir emolumento alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y/o cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente autorización y de la licencia o programa a través del cual sea publicado el Trabajo de grado o de Aplicación.
- d) Manifiesto (manifestamos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación es original realizado sin violar o usurpar derechos de autor de terceros y que ostento(amos) los derechos patrimoniales de autor sobre la misma. Por consiguiente, asumo(asumimos) toda la responsabilidad sobre su contenido ante la Universidad CESMAG y frente a terceros, manteniéndola indemne de cualquier reclamación que surja en virtud de la misma. En todo caso, la Universidad CESMAG se compromete a indicar siempre la autoría del escrito incluyendo nombre de(los) autor(es) y la fecha de publicación.

 <p>UNIVERSIDAD CESMAG NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MREDCACIÓN</p>	<p>AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL</p>	<p>CÓDIGO: AAC-BL-FR-031</p>
		<p>VERSIÓN: 1</p>
		<p>FECHA: 09/JUN/2022</p>

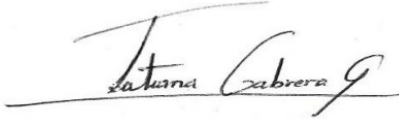
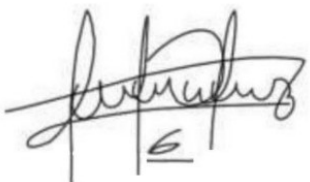

e) Autorizo(autorizamos) a la Universidad CESMAG para incluir el Trabajo de Grado o de Aplicación en los índices y buscadores que se estimen necesarios para promover su difusión. Así mismo autorizo (autorizamos) a la Universidad CESMAG para que pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

NOTA: En los eventos en los que el trabajo de grado o de aplicación haya sido trabajado con el apoyo o patrocinio de una agencia, organización o cualquier otra entidad diferente a la Universidad CESMAG. Como autor(es) garantizo(amos) que he(hemos) cumplido con los derechos y obligaciones asumidos con dicha entidad y como consecuencia de ello dejo(dejamos) constancia que la autorización que se concede a través del presente escrito no interfiere ni transgrede derechos de terceros.

Como consecuencia de lo anterior, autorizo(autorizamos) la publicación, difusión, consulta y uso del Trabajo de Grado o de Aplicación por parte de la Universidad CESMAG y sus usuarios así:

- Permiso(permitimos) que mi(nuestro) Trabajo de Grado o de Aplicación haga parte del catálogo de colección del repositorio digital de la Universidad CESMAG, por lo tanto, su contenido será de acceso abierto donde podrá ser consultado, descargado y compartido con otras personas, siempre que se reconozca su autoría o reconocimiento con fines no comerciales.

En señal de conformidad, se suscribe este documento en San Juan de Pasto a los 17 días del mes de noviembre del año 2023

	
Nombre del autor: Tatiana Paola Cabrera Gómez	Nombre del autor: Liseth Jeraldin Quintero Gómez
 Nombre del asesor: Edgar Alberto Unigarro Calpa	