



**Universidad
de Guanajuato**

Campus Irapuato-Salamanca

División de Ingenierías

**“Caracterización del contenido de grados *brix*
en el yogurt mediante luz infrarroja”**

Tesis:

**Que para obtener el título de
Ingeniero en comunicaciones y electrónica**

Presenta:

José Trinidad Salmerón Gatica

Asesores:

Dr. Juan Gabriel Aviña Cervantes

M.I. Hugo Aguirre Ramos

Salamanca, Gto.

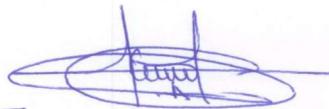
Marzo, 2018

Salamanca, Gto., a 02 de Marzo del 2018

M. en I. HERIBERTO GUTIÉRREZ MARTÍN
JEFE DE LA UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
PRESENTE.-

Por medio de la presente, se otorga autorización para proceder a los trámites de impresión, empastado de tesis y titulación al alumno(a) José Trinidad Salmerón Gatica del Programa de Licenciatura en Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica y cuyo número de NUA es: 142202 del cual soy director. El título de la tesis es: Caracterización del Contenido de grados brix en el Yogurt mediante luz infrarroja

Hago constar que he revisado dicho trabajo y he tenido comunicación con los sinodales asignados para la revisión de la tesis, por lo que no hay impedimento alguno para fijar la fecha de examen de titulación.



Juan Gabriel Avina Cervantes

NOMBRE Y FIRMA
DIRECTOR DE TESIS
SECRETARIO

ATENTAMENTE



Hugo Aguirre Ramos

NOMBRE Y FIRMA
DIRECTOR DE TESIS



NOMBRE Y FIRMA
PRESIDENTE



Juan Manuel Sierra Hernández

NOMBRE Y FIRMA
VOCAL

Índice general

Índice general	2
Índice de figuras	4
Índice de tablas	6
Resumen	7
Dedicatoria	8
Agradecimientos	9
Capítulo I: Introducción	10
1.1. Introducción	10
1.2. Grados Brix	11
1.3 Motivación	15
1.4 Organización de la Tesis	16
Capítulo II: La Ingeniería en la Producción del Yogurt	17
2.1. Historia	17
2.2 Definición de Yogurt	18
2.3 Fabricación de Yogurt	19
2.4. Tipos de Yogurt	22
2.5. Normas Mexicanas	24
Alimentos-determinación de solidos solubles-método refractometrico	25
Capítulo III: Medición de Sólidos en líquidos (°Brix).	27
3.1 Antecedente Histórico	27
3.2 La Ley de Reflexión	27
3.3 Ley de Refracción	28
3.4 Principio de <i>Fermat</i>	30
3.5. Principios de Operación de los Refractómetros	31
3.5.1 Sistema Transparente.	32
3.5.2 Sistema de Reflexión	33
3.6 Tecnología	33
3.6.1 Sacarímetro de Laurent	34
3.6.2 Refractómetro de Abbe:	35

3.6.3 Refractómetro de Pulfrich:	37
3.6.4. Refractómetro de Inmersión:	38
3.6.5. Refractómetros Diferenciales	39
3.7 Resumen	39
Capítulo IV. Aplicación de los refractómetros	40
4.1. Piscicultura	40
.2. Agricultura	41
4.3. Apicultura	42
4.4. Empacadores de Alimentos	42
4.5. Industria de los Alimentos	42
4.6 Resumen	43
Capítulo V: Prototipo Experimental	44
5.1 Descripción General	44
5.2 Circuito	46
5.3 Prototipo	50
Capítulo VI. Resultados Experimentales y Conclusiones.	53
6.1 Desarrollo:	62
6.2 Ventaja del Prototipo.	63
6.3 Desventajas del Prototipo	63
6.4 Conclusiones	64
Referencias	65
ANEXOS	67
ANEXO I: Graficas de °P vs Gravedad específica	67
ANEXO II: Relación entre Densidad - °Baumé - °Brix- Alcohol Probable	69
ANEXO III: Tabla de conversión de Densidades Iniciales a Grados Plato.	71
ANEXO IV: Notas biográficas de inventores	72
I.- Abbè, Ernst	72
II.- Iliá Ilich Méchnikov	72
IV.- Carl Joseph Napoleon Balling	73
V.- Fritz Plato.	73

Índice de figuras

Figura 1: Refractómetros para medir el grado de Brix. (a) ABBE (b) analógico	11
Figura 2: Anuncio Yogurt (Fuente: Hemeroteca “La Vanguardia” 7 de diciembre de 1910).....	18
Figura 3: Fabricacion de Yogurt a Nivel Industrial (Slideshare, 2010).....	21
Figura 4: Leche con Búlgaros (Jan & García, 2012).....	21
Figura 5: Yogurt artesanal (Jan & García, 2012)	22
Figura 6: Marcas y tipos de Yogurt	23
Figura 7: Ley de Reflexión.....	28
Figura 8: Ley de refracción.....	29
Figura 9: Principio de Fermat.....	30
Figura 10: Sistema Transparente (Asociados)	32
Figura 11: Sistema de Reflexión (Asociados)	33
Figura 12: Sacarímetro Laurent (Fuente: Bertomeu Sánchez & García Belmar, 2006)	34
Figura 13: Funcionamiento del Refractómetro.....	35
Figura 14: Refractómetro ABBE 1874 (Fuente: Bertomeu Sánchez & García-Belmar, 2002).....	37
Figura 15: Refractómetro Pulfrich 1887 (Fuente: Wissner, 2004)	38
Figura 16: Refractómetro de inmersión. Fuente: (Montoya, s.f.).....	38
Figura 17:Diagrama refractómetro diferencial.	39
Figura 18: Salinidad (Libre, 1999-2018)	41
Figura 19: Vinicultura (vinos, 2009).....	41
Figura 20: Apicultura (Amazon, 2017).....	42
Figura 21: Diseño.....	44
Figura 22: Refractómetro enfocado (Pulido Fernandes, 2012).....	45
Figura 23: Sensor Infrarrojo	46

Figura 24: Diagrama eléctrico	46
Figura 25. Generador de Pulsos con el LM55 en estado Astable.	47
Figura 26: Amplificador de Instrumentación	49
Figura 27: Prototipo.....	51
Figura 28: Diagrama Esquemático	52
Figura 29: Un Grado Brix.....	54
Figura 30: Cinco Grados Brix	55
Figura 31: Ocho Grados Brix	56
Figura 32: Diez Grados Brix.....	56
Figura 33: Quince Grados Brix.....	57
Figura 34: Veinte Grados Brix	58
Figura 35: Error	59
Figura 36: Valores promedio.....	60
Figura 37: Regresión Lineal osciloscopio	61
Figura 38: Regresión lineal Multímetro	61
Figura 39: Ernst Abbe (Moreno & Ramírez , 1999).....	72
Figura 40: Iliá Ilich Méchnikov	72
Figura 41: Carl Balling	73
Figura 42: Antoine Baume (Netto, 2000).....	74
Figura 43: Carl Zeiss.....	74

Índice de tablas

Tabla A: Valores para corrección de °Brix	14
Tabla B: Lista de Precios.....	15
Tabla C: Normas mexicanas.....	24
Tabla D: Índice de refracción(n) a grados Brix. (BOE Núm. 31, 5 de febrero de 1988, pág. 3894)	36
Tabla E: Pruebas con yogurt.....	62
Tabla F: Relacion Densidad, °Baume, °Brix.....	69
Tabla G: Conversión Densidades a °Plató.....	71

Resumen

En este proyecto de tesis, se desarrolló un prototipo con el cual se pueden realizar las mediciones de los Grados Brix de muestras alimenticias; por medio de la refracción de un haz de luz en el rango infrarrojo. El haz de luz se hará pasar a través de una muestra, la cual dependiendo del porcentaje de azúcar y/o sólidos solubles que tenga refractará el haz de luz, este será captado por un receptor en el otro extremo de la muestra, dependiendo de la cantidad de luz que logre ser recibida se podrá hacer el cálculo de los Grados Brix que contiene la muestra.

El análisis de los resultados muestra que el haz de luz tiene el mismo comportamiento para las muestras que tienen la misma cantidad de azúcar. Gracias a esto se formó una tabla para poder hacer la comparación entre el haz de luz y los Grados Brix, es decir, un Grado Brix deja pasar un voltaje variable del haz de Luz incidido en la muestra.

Dedicatoria

A mi muy amada **esposa**:

Esta tesis es para ti, gracias a tu paciencia, apoyo y que siempre me animaste, es que hoy se pudo concluir. Gracias a que jamás dejaste de creer en mí aun después de darme por vencido. Recuerdas que nos conocimos en el momento justo, en aquel momento en que me iba mal en la escuela y fue gracias a ti que todo eso cambio recuerdo aun las palabras que me dijiste “viniste a estudiar y no voy a ser yo la culpable que te corran de la escuela”, fue en ese momento preciso que algo en mi cambio y ya había algo más porque luchar, ¡un futuro juntos!

Aun después de un par de años, muchos años de haber terminado las materias, nunca quitaste el dedo del renglón para que yo consumara este ciclo, gracias a todo lo que has hecho, hoy es posible el cierre de un ciclo en mi vida.

Gracias por estar a mi lado, siendo siempre mi otra ala. Te amo **Cecy**, jamás lo olvides.

A mis señores **padres**:

Ese par de personas que me dieron la vida y que siempre estuvieron apoyándome en cada una de las decisiones que he tomado, ellos que hicieron posible esta travesía, que a base de sus esfuerzos (económico y sentimental) lograron mandarme a estudiar hasta este lugar y es gracias a ellos que: “Logre cambiar mis estrellas”.

Gracias papá y mamá por todo su apoyo.

A mis Hermanos **Xóchitl y Ali**

Que esta tesis les sirva de inspiración para que de una u otra forma también pueden cambiar sus estrellas, ¡aún hay tiempo!

Agradecimientos

Doy gracias **Dios** por haberme permitido culminar esta etapa de la vida y estar hoy aquí.

A mi asesor Dr. Aviña, le doy las gracias por el apoyo que me ha brindado para poder finalizar esta tesis. Que después de varios intentos fallidos usted continúe asesorándome, gracias por todo lo que me ha enseñado.

Quiero agregar un agradecimiento de manera muy especial a todos los miembros del consejo que gracias a ellos tengo la oportunidad de cerrar este ciclo.

A todos los maestros y doctores que a lo largo de mi formación impactaron en mi crecimiento profesional, de una manera muy especial a los doctores Raúl Sánchez y Víctor Ayala, quienes me enseñaron a programar y me dieron la oportunidad de trabajar con ellos.

Me siento orgulloso de pertenecer a esta gran Universidad, y prometo poner su nombre siempre en alto.

Doy gracias a todas las personas que me apoyaron e hicieron posible que esta etapa de mi vida culminara.

Gracias Tía Vita, Leo, Elo, María por convencer a mi mamá de hacer este viaje.

Gracias familia Gonzales Escobar (Sr., Sra., Tantan) por acogerme y hacerme sentir como parte de su familia en esta ciudad.

Capítulo I: Introducción

1.1. Introducción

El ritmo de la vida moderna se impone cada vez más y por ello estamos siendo constantemente obligados a cambiar muchas de nuestras formas de vivir que desde hace tiempo estábamos acostumbrados a hacer. Nuestra vida tecnológica ha cambiado, nuestros gustos igualmente y no es raro ya en estos tiempos en pensar también que nuestra forma de alimentarnos es también parte de ese cambio que experimentamos en la vida moderna. Es por eso que, en este devenir de cambios, me pareció muy importante escribir mi tesis basándome en uno de tantos alimentos tan importantes en la vida cotidiana del ser humano como es el yogurt.

Durante mis prácticas profesionales en la empresa *LALA*¹ derivados lácteos, observé que la forma que se tiene para medir la cantidad de sólidos solubles en el yogurt es de una manera muy ambigua, ya que aunque la empresa consta de aparatos muy sofisticados la medición varía según la persona que lo esté haciendo; ya que para estas mediciones se utilizan los refractómetros electrónicos; estos aparatos funcionan haciendo pasar un haz de luz que genera una sombra y se ajusta en una escala que se encuentra previamente graduada en el mismo aparato antes mencionado.

Las mediciones de los refractómetros (ver, **Figura 1**) son muy exactas, pero el ojo humano por lo regular genera un error de perspectiva o también llamado paralaje², haciendo que varíe de persona a persona. Por ejemplo: una persona puede medir 15.17 y la otra 15.23. Aparentemente es una pequeña variación, la cual podríamos despreciar, el problema radica en el consumo excesivo de diversos alimentos azucarados, en donde estas pequeñas variaciones se van sumando generando un total mucho más grande. Lo cual puede ser perjudicial para la salud.

¹ Empresa mexicana, fundada en el año de 1950 en Torreón, Coahuila como *Pasteurizadora Laguna*. Experta en la producción, innovación y comercialización de productos lácteos y sus derivados, enfocada en la industria de alimentos

²Desviación angular de la posición aparente de un objeto, dependiendo del punto de vista elegido



Figura 1: Refractómetros para medir el grado de Brix. (a) ABBE (b) analógico

1.2. Grados Brix

Los **grados Brix** ($^{\circ}\text{Brix}$) sirven para determinar la cantidad total de azúcar disuelta en un Solución. Un $^{\circ}\text{Brix}$ corresponde a 1 gramo de azúcar en 100 gramos de solución. Dicho de otra manera, en 100 g de solución encontramos 1 g de Azúcar y 99 g de Agua. Esta relación permite establecer la Ecuación (1) que define a los grados Brix

$$^{\circ}\text{Brix} = \frac{\text{Peso Azucar}}{\text{Peso Agua} + \text{Peso Azucar}} * 100. \quad (1)$$

Si en la solución encontramos sólidos disueltos de diferente naturaleza que no sea solo azúcar (minerales, sales, proteínas, etc.), entonces el $^{\circ}\text{Brix}$ no equivale a una concentración de 1 g/ 10 cl, por lo tanto, se toma como un aproximado, la cual es aceptada como si todos los sólidos solubles encontrados en la solución fueran azúcar, esto es basado en la Norma Mexicana “**NMX-F-112-NORMEX-2010**”, la cual nos indica cómo calcular los sólidos solubles de una sustancia con pruebas refractométricas. Y a su vez, en la parte internacional es basada en la Norma “**ISO 2173:200**”; ambas normas concuerdan en como calcular de los sólidos solubles de una sustancia.

La **escala Balling** es una escala hidrométrica que permite medir el grado de azúcar en un mosto³. Esta escala fue desarrollada en 1843 por el químico alemán Karl Balling (ver Anexo V-IV) cuando invento el sacarímetro o analizador de penumbra, un instrumento diseñado para medir la desviación introducida en el eje de vibración de la luz linealmente polarizada al atravesar una sustancia ópticamente activa. Ya que como bien sabemos, el sacarímetro mide la concentración de azúcar y debido a la estructura molecular de esta sustancia, las soluciones rotan el plano de polarización de la luz plana polarizada, mientras pasa la luz a través de ellas. La rotación del plano de polarización, cuando la luz incidente es vista, puede ser a la derecha (sentido horario) o a la izquierda (sentido anti horario).

Balling logro establecer la medida del alcohol que lleva la cerveza, la cual nos dice que un grado de alcohol es equivalente a 1% de azúcar del total del peso de él agua. Gracias a este desarrollo se empezó la producción de cerveza de manera industrial garantizando un mínimo de calidad. Actualmente una cerveza de 5.4% tiene 5.4 *grados Balling*.

La **escala Plató** se desarrolla en 1900 por la comisión imperial alemana dirigida por Fritz Plató (Anexo V-V), con la cual logran hacer más precisa la medición del mosto. Un *grado Plató* representa un 1% de extracto, es decir 10 gramos por litro de extracto total (fermentables y no fermentables).

A pesar de que las **escala Plató y Balling** fueron desarrolladas de manera empírica, podemos encontrar fórmulas aproximadas para la conversión de Grados Plató (°P) a Gravedad Específica (GE) y viceversa. Un ejemplo es la fórmula de la Gravedad específica a 60 °F (15.5 °C) es:

$$^{\circ}P = GE - \frac{1}{0.004} \quad (2)$$

ó

$$^{\circ}P = \frac{GE}{4} \quad (3)$$

$$GE = 4 * ^{\circ}P \quad (4)$$

(Ver anexo 1)

³ Líquido obtenido de cualquier producto usado para la preparación de bebidas alcohólicas mediante fermentación)

Otra de las escalas con las que se relacionan los grados *Brix* son los grados *Baumé* ($^{\circ}\text{Be}$), esta escala es muy común en Francia y determina el valor por la densidad (a más azúcar, más densidad), la relación es determinada por la siguiente fórmula:

$$^{\circ}\text{Brix} = ^{\circ}\text{Be} * 1.8 \quad (5)$$

La **escala Baumé** fue creada por el químico y farmacéutico francés Antoine Baumé (ver Anexo V-VI) en 1768 cuando construyó su hidrómetro, el cual se basaba en el mismo principio que los densímetros. El hidrómetro es un instrumento utilizado para determinar la gravedad específica de los líquidos. Las Ecuaciones (6) y (7) se utilizan para obtener los grados *Baumé* en líquidos con una densidad superior a densidad del agua destilada ($\rho_{\text{agua}} = 1 \text{ g/cm}^3$), mientras las Ecuaciones (7), (8) y (9) son usados para líquidos menos densos que el agua destilada.

Grados *Baumé* para líquidos más densos que el agua ($\rho_{\text{liquido}} > \rho_{\text{agua}}$)

$$^{\circ}\text{Be} = 145 - \frac{145}{\rho} \quad (6)$$

$$\rho_{\text{liquido}} = \frac{145}{145 - ^{\circ}\text{Be}} \quad (7)$$

Grados *Baumé* para líquidos menos densos que el agua ($\rho_{\text{liquido}} < \rho_{\text{agua}}$)

$$^{\circ}\text{Be} = \frac{140}{\rho - 130} \quad (8)$$

$$\rho_{\text{liquido}} = \frac{140}{130 + ^{\circ}\text{Be}} \quad (9)$$

Esta escala se utiliza para medir la cantidad de azúcar, sal o los grados de alcohol en un líquido. Un grado *Baumé* equivale a 17 gramos por litro de azúcar o peso potencial del mosto, que son conceptos equivalentes. No es ni más ni menos que la cantidad de azúcar contenida en las uvas, que tiene una correspondencia con la cantidad de alcohol que podría llegar a producir, ya que 17 gramos de azúcar por litro producen un grado de alcohol.

La **escala Brix** nace de la adaptación de la *escala Balling* y la escala *Plató* para la medición aproximada de azúcar en jugos de frutas, en el vino o bebidas suaves, y en todas aquellas sustancias que contienen azúcar. Esta Escala fue desarrollada por el científico Adolf F. Brix ([Anexo V -III](#)), en

el siglo XIX. En la actualidad las tres escalas son utilizadas en diversas industrias en muchos países. Por ejemplo: En Sudáfrica se utiliza la *escala Balling*, los productores cerveceros utilizan la escala de *Plató* (Meza Navarrete, 2016), en Inglaterra utilizan la Gravedad específica y en EU utilizan todas las escalas, esto por mencionar algunos.

Los grados Brix los podemos medir con un sacarímetro (dispositivo utilizado para medir la concentración de azúcar en una solución), el cual mide la Gravedad Específica de un líquido, o más fácilmente, con un refractómetro, estas mediciones se realizan a 20 °C ya que la temperatura hace que las lecturas tenga variación. Sin embargo, estas variaciones pueden corregirse compensando los efectos producidos por la temperatura.

En la Tabla A, se pueden apreciar dos zonas que agrupan valores que pueden sumarse o restarse dependiendo de si la temperatura de la solución es mayor o menor que 20°C.

Tabla A: Valores para corrección de °Brix

$\begin{matrix} \text{°Brix} \\ \text{°C} \end{matrix}$	0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	
10	0.50	0.54	0.58	0.61	0.64	0.66	0.68	0.72	0.74	0.76	0.79	
11	0.46	0.49	0.53	0.55	0.58	0.60	0.62	0.65	0.67	0.69	0.71	
12	0.42	0.45	0.48	0.50	0.52	0.54	0.56	0.58	0.60	0.61	0.63	R
13	0.37	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48	0.49	0.51	0.53	0.54	0.55	E
14	0.33	0.35	0.37	0.39	0.40	0.41	0.42	0.44	0.45	0.46	0.48	S
15	0.27	0.29	0.31	0.33	0.34	0.34	0.35	0.37	0.38	0.39	0.40	T
16	0.22	0.24	0.25	0.26	0.27	0.28	0.28	0.30	0.30	0.31	0.32	A
17	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21	0.21	0.21	0.22	0.23	0.23	0.24	R
18	0.12	0.13	0.13	0.14	0.14	0.14	0.14	0.15	0.15	0.16	0.16	
19	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	
21	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	
22	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15	0.15	0.15	0.16	0.16	0.16	
23	0.19	0.20	0.21	0.22	0.22	0.23	0.23	0.23	0.24	0.24	0.24	S
24	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.30	0.31	0.31	0.31	0.32	0.32	U
25	0.33	0.35	0.36	0.37	0.38	0.38	0.39	0.40	0.40	0.40	0.40	M
26	0.40	0.42	0.43	0.44	0.45	0.46	0.47	0.48	0.48	0.48	0.48	A
27	0.48	0.50	0.52	0.53	0.54	0.55	0.55	0.56	0.56	0.56	0.56	R
28	0.56	0.57	0.60	0.61	0.62	0.63	0.63	0.64	0.64	0.64	0.64	

29	0.64	0.66	0.68	0.69	0.71	0.72	0.72	0.73	0.73	0.73	0.73
30	0.72	0.74	0.77	0.78	0.79	0.80	0.80	0.81	0.81	0.81	0.81

Por ejemplo, dado un valor de 18,5 °Brix a 25 °C, el procedimiento de corrección sería el siguiente: nos ubicamos en la columna de 20 °Brix, que es el valor más próximo a 18,5 °Brix; luego bajamos por esa columna hasta ubicar la fila correspondiente a 25 °C. Obtenemos el valor 0,38. Este valor lo sumamos a 18,5, resultando la corrección final de Brix igual a 18,88 °Brix.

1.3 Motivación

Observando las necesidades que se tiene sobre los diferentes instrumentos de medición especializados en la materia del yogurt, nos damos cuenta que son aparatos muy costosos como se muestra en la **Tabla B**, esto precios son distribuidos por el Laboratorio Biobase Meihua Trading Co.,Ltd® y por esta razón nos surge la idea de aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera para poder fabricar un prototipo experimental capaz de cubrir necesidad que se tiene en la parte de la medición de los Grados Brix en el yogurt; pero todo esto a un costo mucho más accesible e igual de confiable.

Tabla B: Lista de Precios

Refractometer	
Model	EXW price
BK-R670	\$3,400
ABBE Digital Refractometer	
Model	EXW price
BK-R2S	\$990
BK-RZT	\$3,200

1.4 Organización de la Tesis

La presente tesis se organiza de la siguiente manera:

- **Capítulo I:** Consta de una introducción general, la cual nos explica que son los grados Brix y como se pueden medir.
- **Capítulo II:** En este capítulo observamos la ingeniería en la producción del Yogurt y las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que intervienen en su fabricación.
- **Capítulo III:** Aquí se habla de la Medición de Sólidos en líquidos (°Brix), los principios físicos y la tecnología aplicada.
- **Capítulo IV:** Incluye la aplicación de los refractómetros en diversas industrias.
- **Capítulo V:** Englobamos el desarrollo del Prototipo.
- **Capítulo VI:** Se muestran los Resultados experimentales y las conclusiones.

Capítulo II: La Ingeniería en la Producción del Yogurt

2.1. Historia

El origen del yogurt es incierto, algunos historiadores lo sitúan en el territorio de Asia central, los Balcanes y que éste llegó a Europa a través de Turquía y Bulgaria. Sin embargo, otros concuerdan en que su descubrimiento fue en el 4000 a.C. por los nómadas que habitaban esa región, los cuales transportaban la leche en sacos de piel de cabra, que, en combinación con el calor, hacían que los microorganismos que habitaban la piel se multiplicaban haciendo que la leche fresca se fermentara, convirtiéndose en una masa semisólida y coagulada; este nuevo producto tenía un tiempo de vida prolongado. De esta manera el yogurt se convirtió en un alimento básico de los pueblos nómadas por la facilidad que tenía para transportarse y su gran conservación.

Gracias al científico ucraniano Iliá Ilich Méchnikov (ver **Anexo V- II**), ganador del premio Nobel de 1908, y a sus investigaciones sobre los efectos del yogurt en la flora intestinal, se demostró que las bacterias que contenía el yogurt eran capaces de convertir la lactosa (azúcar de la leche) en ácido láctico el cual impedía el desarrollo de bacterias dañinas en el intestino derivadas de la descomposición de los alimentos. También descubrió la enorme cantidad de vitaminas del grupo B. Gracias a esto empezó la comercialización del yogurt; aunque originalmente solo se vendía en farmacias como se muestra en la **Figura 2**. Después Isaac Carasso fundador de la empresa familiar DANONE lo popularizó en 1927 abriendo su primera planta productora de yogurt a gran escala en Madrid, con ello llegó a toda Europa y después al resto del Mundo.



Figura 2: Anuncio Yogurt (Fuente: Hemeroteca “La Vanguardia” 7 de diciembre de 1910)

En 1933 una lechería de Praga patentó el yogur con mermelada de frutas (que se conservaba por más tiempo), y éste fue llevado a Estados Unidos por Danone en 1947. Entre los años de 1950 y 1960, el yogurt –promocionado como alimento naturista– pasó a ser alimento común en Estados Unidos.

2.2 Definición de Yogurt

Es un producto lácteo obtenido por la fermentación bacteriana de la leche. Se consigue gracias a la acción de dos bacterias específicas, habitualmente en proporción 1:1 (*Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*)⁴ sobre la leche pasteurizada, homogeneizada y estandarizada en materia grasa y proteína, a la que se le incrementa el contenido en proteínas con sólidos lácteos, con leche en polvo o leche concentrada.

Según el Real Decreto 179/2003⁵, del 14 de febrero, se entiende por yogurt o yoghurt el producto de leche coagulada obtenida por fermentación láctica mediante la acción de *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus* a partir de leche pasteurizada, leche concentrada pasteurizada, leche total o parcialmente desnatada pasteurizada, leche concentrada pasteurizada total

⁴ Bacterias capaces de metabolizar la lactosa de la leche y con ello producir yogurt.

⁵ Ley reguladora de España.

o parcialmente desnatada, con o sin adición de nata pasteurizada, leche en polvo entera, semidesnatada o desnatada, suero en polvo, proteínas de leche y/u otros productos procedentes del fraccionamiento de la leche. Los microorganismos productores de la fermentación láctica deben ser viables y estar presentes en el producto terminado en una cantidad mínima de 1 por 10⁷ colonias por gramo o mililitro. (Varnam & Sutherland, 1995)

2.3 Fabricación de Yogurt

A lo largo de la historia hemos observado cómo se desarrollan nuevas formas para la producción de algún producto; y el yogurt no ha sido la excepción desde sus orígenes ha sufrido cambios importantes en su técnica de fabricación, las cuales se han ido refinando con el paso del tiempo; después de ser fabricado y vendido en boticas, fue producido y vendido de manera industrial, es decir, la producción paso de unos cuantos kilos de yogurt a la semana a varios cientos de toneladas por día; convirtiéndola en una industria muy redituable para los inversionistas, todo ello ha logrado impulsar un desarrollo tecnológico al alrededor de su producción, para poder eficientar a un más su fabricación y obtener más ganancias en su venta. Esto ha originado una serie de investigaciones especializadas en su producción, envasado y embalaje, creando equipos más eficientes y confiables. Dando como resultado una gran variedad de marcas, diversos tipos de yogurt, una variedad de sabores, una pluralidad en sus presentaciones y combinaciones; posicionándolo como un alimento trascendente en la dieta de las familias mexicanas sin importar edad y género, ya que es un alimento muy versátil y no hay un horario específico para su consumo, ya que puede ir desde un rico desayuno, pasando por un refrigerio, consumiéndolo como postre o simplemente una cena ligera.

Actualmente hay muchas maneras de fabricar yogurt a nivel industrial, pero todas tiene un principio básico que va desde la recepción de la leche hasta la puesta en el mercado. A continuación, se describe la fabricación del yogurt a una escala industrial baja.

1. **Recepción de la leche:** La leche es recibida en las instalaciones donde se va a realizar el proceso para su transformación, para esto es necesario realizar pruebas de control de calidad para saber las condiciones de la leche, inmediatamente después se manda a refrigeración con una temperatura controlada de 4°C.
2. **Estandarización de la grasa de la leche:** En esta se define qué tipo de yogurt se va a fabricar y con esto se decide que cantidad de grasa va a contener la leche, Ejemplos:

- Para un yogurt semidescremado se remueve parte de la grasa contenida en la leche
 - Para un yogurt descremado se remueve el total de la grasa de la leche.
 - Para un yogurt entero se deja la grasa de la leche como llega.
 - Para un yogurt cremoso solo se adiciona crema.
3. **Agregar de azúcar:** En este paso se agrega el azúcar el cual está entre el 6.5% y el 8.5% del total del producto
 4. **Pasteurización. Tratamiento térmico:** En este paso se realiza un choque térmico con el cual se asegura que van a morir los microorganismos que contenga la leche, esto para evitar que influyan en nuestro proceso. Se le conoce como choque térmico porque elevamos la temperatura de la leche de 4°C a 60°C en un lapso de treinta minutos. Aunque también podemos elevar la leche a unos 75°C en un periodo de unos 20 segundos
 5. **Enfriamiento.** Después que la leche fue pasteurizada la dejamos enfriar a 43°C.
 6. **Adición de los cultivos o Inocular:** Se agregan los cultivos lácticos siguiendo las recomendaciones del fabricante del cultivo.
 7. **Incubación⁶:** Después de agregar los cultivos, esperamos que estos incuben en un lapso de 4 h. aproximadamente o hasta que el pH sea de 4.6 o 4.7; o contenga una acidez entre 80 – 90° Dornic⁷; todo esto se realiza con una temperatura controlada de 43°C
 8. **Enfriamiento:** Una vez que se logró la transformación de la leche en yogurt la enfriamos nuevamente a 4°C para conservarlo.
 9. **Batido:** Un día después de su fabricación y de haber dejado reposar el yogurt se mezcla hasta lograr la homogeneidad.
 10. **Saborización:** Se agrega mermelada, saborizante, colorante y/o fruta picada según su preferencia.
 11. **Envasado:** El yogurt se envasa en recipientes estériles para poder comercializarlos.
 12. **Conservación:** Siempre y cuando el yogurt se mantenga en refrigeración este puede tener un tiempo de vida de aproximado de 15 días antes de consumirlo. Recordemos que no fueron agregados conservadores para poder alargar su vida. (Zielinski, Toledo , Storani, & Mathon, 2013)

⁶ Tiempo necesario para que los cultivos lácticos se desarrollen

⁷ Es el contenido de ácido láctico. Un grado dornic equivale a 1mg de ácido láctico en 10mL de leche.

La **Figura 3** se observa un diagrama del proceso y/o los pasos necesarios para la fabricación de yogurt a nivel industrial

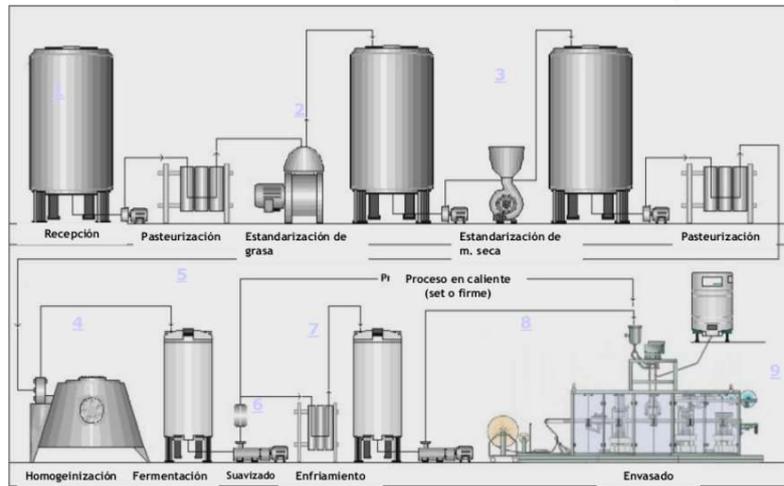


Figura 3: Fabricacion de Yogurt a Nivel Industrial (Slideshare, 2010)

En la **Figura 4**, observamos un recipiente que en el interior contiene Bulgaros, los cuales fermentan la leche mientras se alimenta de ella. Esta forma de utilizar los bulgaros es para la obtencion de yogurt de manera artesanal.



Figura 4: Leche con Búlgaros (Jan & García, 2012)

En la **Figura 5**, se observa el yogurt como resultado de la fermentación generada por los Bulgaros, esto claro después retirarlos.



Figura 5: Yogurt artesanal (Jan & García, 2012)

2.4. Tipos de Yogurt

En la actualidad se cuenta con una gran variedad de yogurt, esto se debe a los diferentes procesos y tipos de leches utilizados, podemos enlistar algunos de los yogurts que encontramos en el mercado:

- **Yogurt afluado:** Este yogurt es el resultado de envasarse inmediatamente después de que los cultivos lácticos han terminado el proceso de inoculación.
- **Yogurt batido:** Para fabricar este tipo de yogurt es necesario dejar que el cultivo láctico inocule la leche en tanques de incubación, en el cual se deja reposar y se envasa evitando mezclarlo.

- **Yogurt líquido:** Es el mismo proceso que se realiza con el yogurt batido, la diferencia es que lleva más leche y se realiza un movimiento constante en la incubación para mezclarlo.
- **Yogurt frutado:** se le agregan conservas de frutas con trozos de la misma.
- **Yogurt natural:** Es el yogurt que solo tiene los cultivos lácticos.
- **Yogurt saborizado:** Es el resultado de adicionarle al yogurt natural saborizantes los cuales pueden ser naturales y/o artificiales.

Sumado a lo anterior agreguemos todas las marcas nacionales e internacionales que se dedican a la elaboración del yogurt, ya que gracias a ellas se realizaron las contribuciones necesarias para que pudieran nacer normas que hoy en día regulan la elaboración y/o fabricación de dicho producto. Aunado a las marcas y tipos de yogurt, agregamos las diversas presentaciones que podemos encontrar en el mercado lo que nos proporciona como resultado una gran variedad de productos a la hora de elegir un yogurt para su consumo; en la **Figura 6**, se muestran algunas de las marcas y tipos de yogures que se pueden encontrar en el mercado mexicano.



Figura 6: Marcas y tipos de Yogurt

2.5. Normas Mexicanas

Para la fabricación del yogurt cada país y/o región implementa sus leyes, las cuales aseguran una estandarización en la elaboración y calidad del producto en cuestión. Y en México no es la excepción ya que es en este país contamos con la norma Oficial Mexicana **NOM-181-SCFI-2010**, la cual tiene como título “**Yogurt y yogurt saborizado y/o con otros ingredientes no lácteos, denominación, especificaciones fisicoquímicas y microbiológicas, información comercial y métodos de prueba**” (Roldán., 2010)

Esta norma es complementada con las siguientes Normas Mexicanas (ver Tabla C) que intervienen en la fabricación y/o producción del yogurt

Tabla C: Normas mexicanas

Norma Oficial Mexicana	Título de la Norma
NOM-F-444-1983	Yogurt o Leche Búlgara.
NOM-091-SSA1-1994	Leche Pasteurizada de vaca. Disposiciones y especificaciones sanitarias.
NOM-147-SSA1-1996	Bienes y Servicios. Cereales y sus productos. Harinas de cereales, alimentos a base de cereales, de semillas comestibles, harinas o sus mezclas y productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales.
NOM-F-516-1990	Azúcar Blanca Popular. Especificaciones.
NOM-F-026-1986	Leche en Polvo.
NOM-FF-006-1982	Fruta Fresca. Terminología.
NOM-160-SSA1-1995	Buenas prácticas para la producción y venta de agua purificada.
NOM-002-SCFI-2011	Productos preenvasados, contenido neto, tolerancias y métodos de prueba.

NOM-051-SCFI/SSA1-2010	Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados-Información comercial y sanitaria.
NOM-008-SCFI-2002	Sistema General de Unidades de Medida.
NOM-155-SCFI-2012	Leche-Denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba.
NOM-030-SCFI-2006	Información comercial. Declaración de cantidad en la etiqueta. Especificaciones.
NOM-086-SSA1-1994	Bienes y Servicios, Alimentos y bebidas no alcohólicas con modificación en su composición. Especificaciones nutrimentales.
NOM-092-SSA1-1994	Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa.
NOM-110-SSA1-1994	Bienes y servicios. Preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis microbiológico.
NOM-116-SSA1-1994.	Bienes y servicios. Determinación de humedad en alimentos por tratamiento térmico. Método por arena o gasa.
NMX-F-703-COFOCALEC-2004	Sistema Producto Leche-Alimentos-Lácteos-Leche y Producto Lácteo (o Alimento Lácteo)-Fermentado o Acidificado-Denominaciones, Especificaciones y Métodos de Prueba.
NMX-F-490-1999-NORMEX	Alimentos. Aceites y grasas. Determinación de la composición de ácidos grasos a partir de C6 por cromatografía de gases.
NOM-243-SSA1-2010	Productos y servicios. Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado y derivados lácteos. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba.
NMX-F-112-NORMEX-2010	Alimentos-determinación de solidos solubles-método refractometrico

En las normas mexicanas podemos encontrar diversas especificaciones las cuales fueron avaladas por diferentes organismos tanto públicos como privados. Pero nadie propuso un límite en la adición del contenido de azúcar que cada producto debe de llevar, por esta razón cada marca agrega el azúcar que considera necesaria para la fabricación de su Yogurt, en otras palabras, no hay una norma que regule la cantidad mínima o máxima de azúcar que se le debe agregar al producto en su fabricación.

Muchas de las normas mexicanas están basadas en las especificaciones y/o recomendaciones que prescriben o aprueban las normas de otros países los cuales ya realizaron estudios en el efecto que están pudieran generar. A continuación, observamos un ejemplo de la influencia de las normas extranjeras en las normas mexicanas:

La norma **NOM-181-SCFI-2010** concuerda parcialmente con **la Norma del Codex Stan 243-2003** Norma del Codex para Leches Fermentadas, adoptada en 2003 por la FAO⁸.

En este Capítulo se habló de los antecedentes históricos, fabricación, marcas, tipos de yogurt y la gran variedad del mismo que podemos encontrar en el mercado, así como las normas reguladoras que intervienen en su fabricación y/o elaboración; en el siguiente capítulo se revisará las propiedades físicas de la luz, así como la aplicación de sus propiedades en refractómetros.

⁸ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

Capítulo III: Medición de Sólidos en líquidos (°Brix).

3.1 Antecedente Histórico

Desde tiempos antiguos se ha especulado con gran interés sobre la naturaleza y propiedades de la luz. La civilización griega pensaba que los rayos de luz estaban formados por pequeñas partículas que eran emitidas por el sol la mayor fuente de luz existente, y estas partículas al chocar con el ojo humano eran las que provocaban un estímulo, haciendo posible la percepción de los objetos a su alrededor viendo la forma y el color. Newton en su trabajo de descomposición de la luz empleo esta teoría, con la cual explica algunos de los fenómenos que son provocado al chocar la luz con diferentes objetos; entre estos fenómenos encontramos la reflexión y refracción de la luz

Un ejemplo de lo fenómenos de refracción y reflexión es cuando un rayo luz incide sobre la superficie de separación entre dos medios los cuales son homogéneos e isotropos, una parte del rayo incidente se refleja y se queda en el medio de dónde provino; y la otra parte del rayo incidente se transmite al otro medio con un ángulo de desviación (Nave, 2008).

Este fenómeno nos crea la necesidad de poder entender el comportamiento de la luz en los diferentes medios en el que esta se mueve, para ello es necesario analizar las diferentes leyes que se han desarrollado a lo largo de la historia, las cuales describen de manera matemática las propiedades y los efectos de la luz en diversos medios. Todo esto es necesario para comprender el principio del funcionamiento de los refractómetros y su aplicación en la medición de los grados Brix.

3.2 La Ley de Reflexión

En la ley de la reflexión solo se toma en cuenta la parte del rayo de luz que es reflejado en el mismo medio de donde proviene, en la **Figura 7** observamos un ejemplo de esta ley. Un rayo de luz que choca con una superficie con un ángulo θ con respecto a la normal (línea imaginaria a 90° de la superficie donde choca el rayo) y este es reflejado con un θ' . El ángulo θ es llamado **ángulo incidente** y al ángulo θ' es llamado **ángulo de reflexión**; y esto nos da la expresión de la ley de Reflexión ángulo de reflexión θ_1' es igual al ángulo de incidencia θ_1 :

$$\theta' = \theta \tag{13}$$

Un rayo luminoso se refleja en la superficie plana formando un ángulo de reflexión igual al de incidencia. La ley de reflexión determina la dirección del rayo reflejado. (Malacara, 2015)

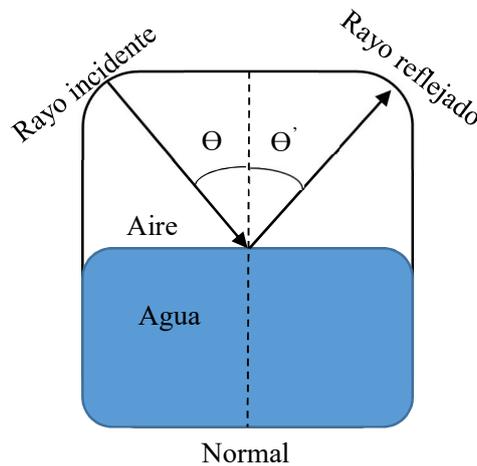


Figura 7: Ley de Reflexión

3.3 Ley de Refracción

En la **Figura 8** se describe visualmente el efecto de la refracción en el cual se observa el cambio de dirección que experimenta una onda al atravesar un medio. El fenómeno de la refracción es producido cuando un rayo de luz choca con una superficie con densidad óptica⁹ mayor a la del medio de donde proviene y este logra pasar a través de esa superficie sufriendo un cambio de dirección y velocidad. la desviación provocada a la dirección del rayo al cambiar de medio es explicada por la **ley de Snell**. “Esta ley, así como la refracción en medios no homogéneos, son consecuencia del principio de *Fermat*, que indica que la luz se propaga entre dos puntos siguiendo la trayectoria de recorrido óptico de menor tiempo”. (Cheng, 1998)

La Ecuación 14 (**Ley de Snell**) se utilizada para calcular el ángulo de refracción de la luz.

$$n_1 \text{sen } \theta = n_2 \text{sen } \theta' \quad (14)$$

⁹ Es una magnitud física que mide la absorción de un elemento óptico por unidad de distancia.

En la refracción podemos observar cómo se cumplen las leyes que dedujo Huygens, las cuales describen el comportamiento ondulatorio de la luz, las cuales nos dicen que:

- El rayo incidente, el reflejado y el refractado se encuentran en el mismo plano.
- Los ángulos de incidencia y reflexión son iguales.

Dependiendo del medio que atraviesa la luz es la velocidad con la que esta lo recorre, es decir, cuando un medio es denso como el agua la velocidad de la luz es más lenta; a que si esta misma recorriera un medio menos denso como el aire su velocidad sería más rápida. Por esta razón, cuando la luz pasa de un medio menos denso a otro más denso, se genera un rayo de luz refractado con un ángulo pequeño con respecto al ángulo generado por el rayo de luz incidente, ambos ángulos se miden con respecto a la normal. (Cheng, 1998)

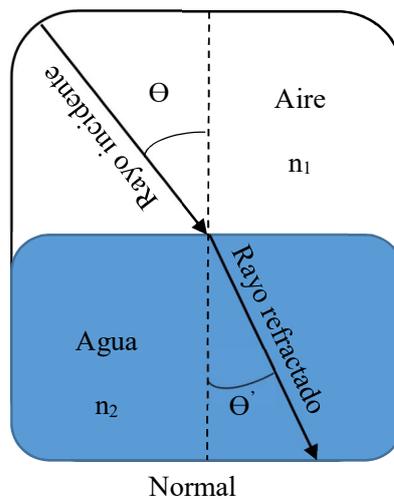


Figura 8: Ley de refracción.

3.4 Principio de *Fermat*

El principio de *Fermat* nos sirve para comprender el comportamiento del recorrido que hace un haz de luz del punto A al punto B, se dice también que es "el camino entre dos puntos dados que recorre un rayo de luz es tal que para ese camino el tiempo que tarda la luz en recorrerlo es mínimo". (Felipe Marcet, y otros, 1998)

Matemáticamente se expresa este principio como sigue: el tiempo que tarda la luz en recorrer una distancia S en un medio dado es $t=s/v$, donde v es la velocidad de la luz en ese medio (suponemos que la velocidad es constante en todo el medio, sin importar la dirección de desplazamiento). Definiendo el índice de refracción como $n=c/v$ entonces $t=sn / c$.

Si ahora tomamos un medio en el que el índice de refracción depende de la posición $n=n(s)$ entonces podemos estimar que una distancia diferencial ds se recorre en un tiempo $dt = nds/c$, siendo el tiempo total en recorrer el camino entre un punto A y otro B la cantidad

$$t = \frac{1}{c} \int_A^B n(s) ds. \quad (11)$$

Con lo cual el principio de *Fermat*(δ) radica en encontrar los valores extremos de la función, para la longitud del camino Óptico (L)

$$\delta(L) = \delta \int_A^B n(s) ds = 0. \quad (12)$$

La **Figura 9** muestra el recorrido que hace la luz para poder llegar del punto A al punto B en donde la distancia S es real y la distancia $S+ds$ no lo es, aunque ambas pasen por los puntos A y B; esto es porque solo se toma la distancia o recorrido más corto.

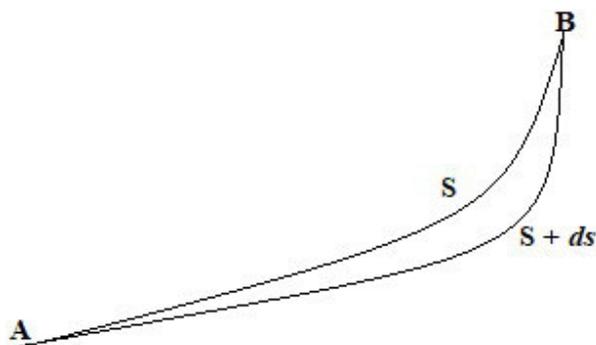


Figura 9: Principio de Fermat.

3.5. Principios de Operación de los Refractómetros

Los refractómetros fueron instrumentos desarrollados para poder utilizar las propiedades ondulatorias de la luz y con ello estudiar las características específicas de diferentes muestras. Desde este punto de vista el refractómetro tiene características similares a diferentes instrumentos como son: colorímetros, espectrómetros o polarímetros; los cuales también emplean las propiedades ondulatorias de la luz para conocer las diversas características de las sustancias que sirven como muestra.

Como su nombre lo indica los refractómetros basan su funcionamiento en el fenómeno conocido como refracción, algo muy notorio cuando la luz pasa de un medio menos denso a otro más denso. Un ejemplo claro es cuando se introduce una varilla a un recipiente con agua, donde se puede observar que se genera un ángulo entre el cambio del aire y el agua (superficie) esto da a los ojos del observador el efecto de que la varilla se doblara, todo ello producido a consecuencia de los efectos de refracción y reflexión de la luz que anteriormente se explicó.

El instrumento conocido como “refractómetro”, empezó a tener una mayor popularidad a finales del siglo XIX, esto gracias a diferentes inventores, de los cuales destaca Ernst Abbe (ver Anexo V-I) que trabajó en la empresa fundada por Carl Zeiss (ver Anexo V-VII). Los refractómetros desarrollados por Ernst Abbe estaban diseñados para los análisis químicos que normalmente se utilizan en el estudio de muestras líquidas; a diferencias de otras áreas en las cuales las muestras estudiadas son sólidas, ejemplo de ello son en la minería en donde las muestras son piedras, para poder realizar estos estudios la *casa Zeiss*¹⁰ desarrollo refractómetros capaces de estudiar las características de estos cristales.

Los refractómetros constan básicamente de un espejo que guía el rayo de luz a una montura metálica central la cual contiene dos prismas. El rayo de luz es observado mediante un objetivo que se encuentra junto a una escala graduada que permite establecer su posición relativa respecto a los prismas de la montura central. Y también cuenta con un tubo de goma el cual le permite circular agua lo que ayuda a mantener constante la temperatura de la montura central, dado que la variación de la temperatura influye de manera notablemente sobre los valores de los índices de refracción de los líquidos.

¹⁰ Empresa dedicada a la fabricación de Instrumentos ópticos y optoelectrónicas, actualmente se le conoce como Carl Zeiss

Existen dos tipos de refractómetros en función de la detección del índice de refracción que son: sistemas transparentes y sistemas de reflexión. El sistema transparente se basa en el ángulo de refracción de un haz de luz aplicado a una muestra a través de un prisma, en el cual se genera luz y sombra y se puede traducir en un índice refractivo. El sistema de reflexión por el contrario se basa en el ángulo de reflexión que se genera al pasar un haz de luz por un prisma hacia una muestra.

3.5.1 Sistema Transparente.

Como su nombre lo indica, es un sistema que mide la transparencia de una sustancia líquida. en la **Figura 10**, se observa que la detección es hecha utilizando el fenómeno refractivo producido por el prisma; también se observa que el índice de refracción del prisma es variante ante la densidad de la muestra, la densidad de la muestra depende de la cantidad de partículas sólidas disueltas en la misma.

Si la muestra contiene una densidad o una concentración de partículas sólidas baja, el ángulo de refracción es grande, esto es porque tiene menos partículas sólidas que logren desviar la luz, provocando que atravesase mayor cantidad de luz a través del prisma.

Si la muestra contiene una densidad o una concentración de partículas sólidas alta, el ángulo de refracción es pequeño; esto es porque tiene más partículas sólidas que logran desviar la luz evitando que atravesase el prisma. (Asociados)

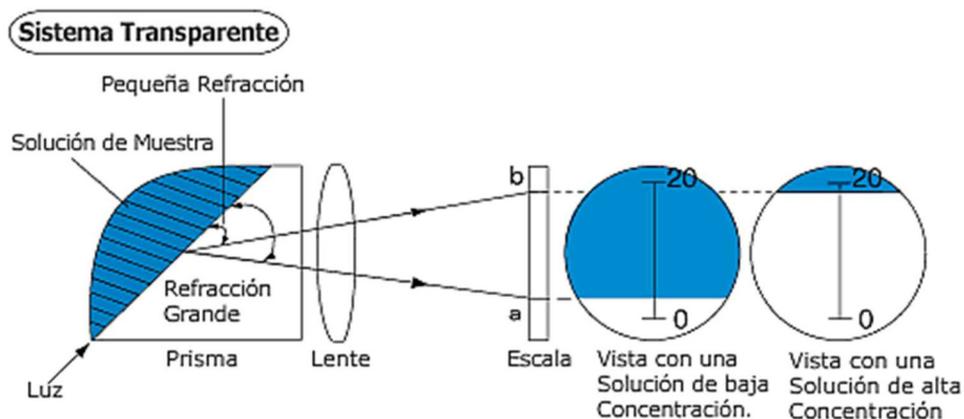


Figura 10: Sistema Transparente (Asociados)

3.5.2 Sistema de Reflexión

En la **Figura 11** se observa cómo funciona el sistema de reflexión, en este sistema se hacen incidir varios haces de luz al prisma que contiene la muestra; los haces de luz a diferencia del sistema transparente inciden por la parte inferior del prisma con un ángulos diferentes, esto sirve para observar cuales lograron a travesar la muestra y cuales fueron reflejados; el haz de luz reflejado nos provoca un fenómeno que divide la luz y la sombra justo en el ángulo de reflexión; y es este mismo ángulo que sirve para calcular el índice de reflexión

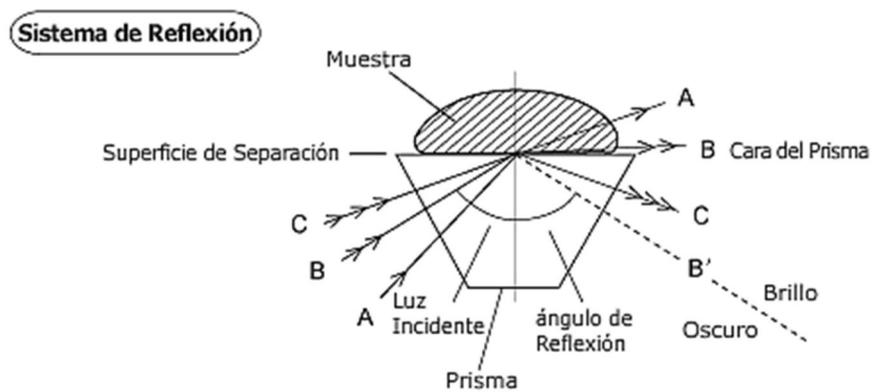


Figura 11: Sistema de Reflexión (Asociados)

Los refractómetros portátiles y los refractómetros Abbe usan los sistemas transparentes, mientras que los refractómetros digitales usan los sistemas de reflexión. (Olsen, 1990)

3.6 Tecnología

Los aparatos más importantes se basan en dos principios: Refractómetros de ángulo límite o crítico y los Refractómetros de desplazamiento de imagen. Actualmente existe una gran variedad de refractómetros, a continuación, se listan diferentes instrumentos utilizados para medir los grados Brix en las sustancias:

- Sacarímetro de Laurent
- Refractómetros tipo ABBE;
- Refractómetro tipo Pulfrich;

- Refractómetros por inmersión;
- Refractómetros diferenciales:

3.6.1 Sacarímetro de Laurent

La **Figura 12** se muestra un sacarímetro de Laurent, este instrumento empleaba la luz que era producida por un mechero, esta luz se polariza con un prisma nicol, una vez polarizada se hace pasar a través de un diafragma dividido en dos mitades, en las cuales una de ellas está cubierta con una lámina de cuarzo que sirve para poder dividir el haz de luz en dos y después de esta división los haz de luz se hacen pasar por un segundo prisma nicol; en este punto ambos haz de luz tienen un ángulo definido entre ellos.

Los haces de luz llegan a un disco con una escala graduada, estos se observan como si fueran dos semicírculos, al girar el disco ambos haz de luz cambiaran su intensidad luminosa y solo en un punto tendrán la misma intensidad y es ese punto el que indica la medición de la muestra, en otras palabras, la cantidad de azúcar que tiene la solución muestreada.

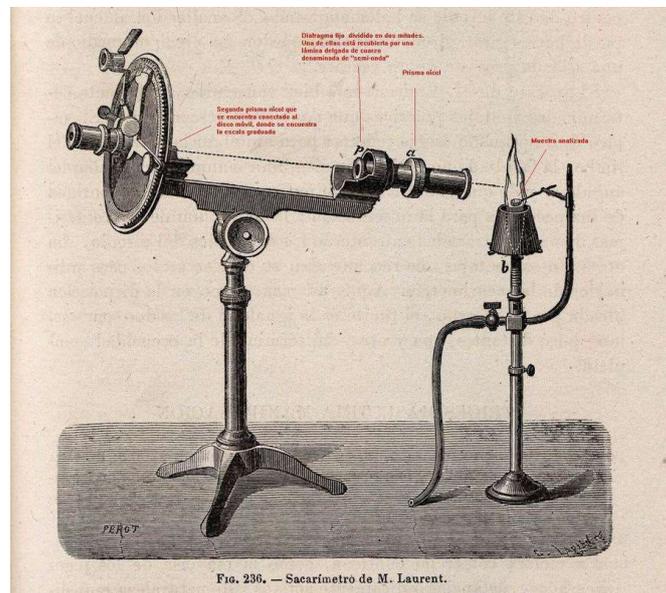


Figura 12: Sacarímetro Laurent (Fuente: Bertomeu Sánchez & García Belmar, 2006)

3.6.2 Refractómetro de Abbe:

Este refractómetro está diseñado para realizar las mediciones con comodidad y rapidez. Requiere sólo cantidades muy pequeñas de la muestra y tiene una precisión del orden de $\pm 2 \times 10^{-4}$ °Brix

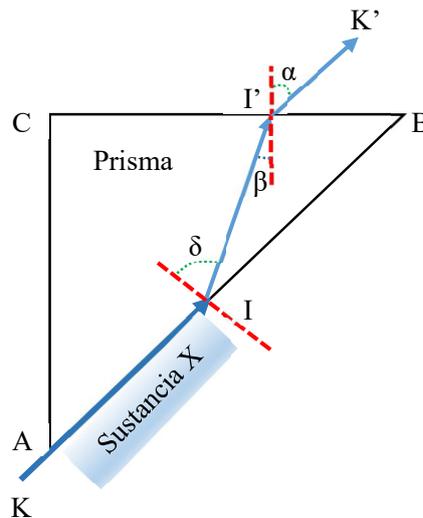


Figura 13: Funcionamiento del Refractómetro

La **Figura 13** describe de forma teórica el funcionamiento del refractómetro, el cual contiene como pieza principal, un prisma recto de *flint*¹¹. Este cristal posee un elevado poder dispersivo, propiedad que mide la separación angular relativa producida en los colores extremos del espectro.

De acuerdo a la figura, el rayo K incide en el punto I, paralelo a la cara AB del prisma y rasante a la superficie de separación entre ambos medios (sustancia X – prisma), se refractará en el medio más refringente (prisma) con un ángulo de refracción igual al ángulo límite (δ). Luego continuará su trayectoria dentro del prisma y al llegar a la cara BC se refractará nuevamente, y el rayo, llamado K', abandonará el prisma formando un ángulo α con la normal a dicha cara.

El Angulo formado por el rayo K' y la normal de la cara BC es el ángulo utilizado para determinar los grados Brix, en una sustancia; esto es basado en una tabla donde cada ángulo

¹¹ Cristal altamente refractivo.

corresponde a un determinado grado Brix. La **Tabla D** muestra la equivalencia entre el índice de refracción y los grados Brix.

Tabla D: Índice de refracción(n) a grados Brix. (BOE Núm. 31, 5 de febrero de 1988, pág. 3894)

n	grado Brix								
1.3330	0.009	1.3338	0.567	1.3418	6.031	1.3541	14.016	1.4201	50.027
1.3331	0.078	1.3339	0.637	1.3433	7.031	1.3557	15.019	1.4308	55.022
1.3332	0.149	1.3340	0.707	1.3448	8.023	1.3639	20.045	1.4419	60.011
1.3333	0.218	1.3345	1.054	1.3463	9.008	1.3724	25.056	1.4535	65.035
1.3334	0.288	1.3359	2.023	1.3479	10.051	1.3812	30.045	1.4654	70.003
1.3335	0.358	1.3374	3.054	1.3494	11.021	1.3903	35.007	1.4779	75.035
1.3336	0.428	1.3388	4.008	1.3510	12.048	1.3939	40.040	1.4907	80.002
1.3337	0.498	1.3403	5.023	1.3525	13.004	1.4098	45.031	1.5041	85.049

La **Figura 14** muestra un refractómetro ABBE fabricado por la casa ZEISS en 1874, en ella se observan los componentes principales que integran un refractómetro, a continuación, se enlistan:

- 1.- Objetivo u ocular, es por donde se observa la muestra
- 2.- Porta muestras, en él como su nombre lo indica es donde se coloca la muestra.
- 3.- Lámpara, esta es la que genera el haz de luz que incide en la muestra
- 4.- Sistema de refrigeración, es él que logra mantener la muestra a una temperatura constante de 20 °C
- 5.- Escala en grados Brix, es la parte en donde se refleja la sombra del ángulo generado por el haz de luz refractado en la muestra.



Figura 14: Refractómetro ABBE 1874 (Fuente: Bertomeu Sánchez & García-Belmar, 2002)

3.6.3 Refractómetro de Pulfrich:

En la **Figura 15** se muestra uno de los primeros refractómetros *Pulfrich* de 1887; este refractómetro se utiliza para medir muestras que pueden ser sólidas o líquidas. Si se realizan los ajustes correctos se puede alcanzar una precisión de 1×10^{-4} en el índice de refracción.

Este instrumento está formado con un bloque de vidrio en la zona central, el cual contiene dos superficies; una en el plano horizontal y la otra en el plano vertical, entre ambas superficies forman un ángulo recto. Para poder hacer las mediciones de una sustancia, se coloca la muestra en la superficie horizontal del bloque en donde se le hace incidir un haz de luz de líneas espectrales en un ángulo menor a 90° con respecto a la normal, esta luz es refractada en el ángulo límite de la superficie y la muestra; esta refracción depende del índice de refracción del bloque y del líquido que se está midiendo. Si la sustancia medida tiene el índice de refracción más pequeño que el del bloque del refractómetro esta no podrá darnos lectura, ya que los ángulos generados son mayores al ángulo crítico o a 90° .

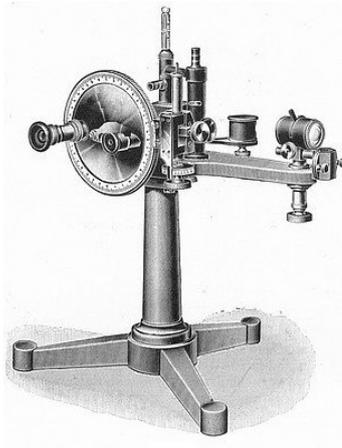


Figura 15: Refractómetro Pulfrich 1887
(Fuente: Wissner, 2004)

3.6.4. Refractómetro de Inmersión:

En la **Figura 16** se observa un refractómetro de inmersión. Este refractómetro es un tipo telescopio que contiene un prisma en uno de sus extremos. Para poder hacer las mediciones de los índices de refracción con este tipo de instrumento es necesario sumergir el extremo que contiene prisma en la muestra y sobre la cara que se sumergió se le hacen incidir rayos de luz a través de un espejo; para poder observar el valor del índice de refracción de la muestra en el ocular del otro extremo del telescopio.



Figura 16: Refractómetro de inmersión. Fuente: (Montoya, s.f.)

3.6.5. Refractómetros Diferenciales

Es un refractómetro que puede leer cualquier soluto¹², aunque son muy sensible a los cambios de temperatura por esta razón es necesario tener bien controlado este factor en la muestra a medir. El funcionamiento de este refractómetro es muy sencillo, en la **Figura 17** se muestra diagrama representativo; en el podemos ver como se hace pasar un rayo de luz por el contenedor que tiene la muestra a medir y la muestra estándar que sirve de referencia, ambas muestras están separadas por un delgado cristal entre ellas; la diferencia del rayo refractado que se genera entre ambas nos da el valor de los grados Brix que contiene la muestra medida.

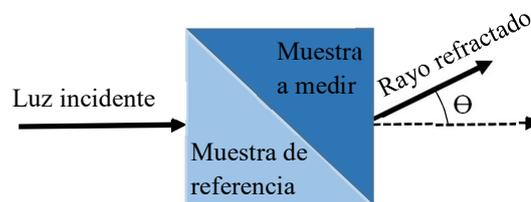


Figura 17:Diagrama refractómetro diferencial.

3.7 Resumen

En este capítulo hemos revisado las propiedades físicas de la luz, como son la reflexión y refracción; así como la aplicación de estas propiedades en refractómetros para obtener información de las propiedades que contienen las sustancias muestras. En el siguiente capítulo veremos algunas de las industrias donde se aplican y/o utilizan los refractómetros para darnos una idea de la importancia de esta herramienta de medición.

¹² Sustancia que se disuelve en una mezcla.

Capítulo IV. Aplicación de los refractómetros

Actualmente podemos observar que en el mercado existen muchas empresas tratando de colocar productos a la venta al público, recordemos que la competencia es grande y que las empresas que tienen o que cuentan con productos de buena calidad son las que se mantienen vigentes. Cualquier error en la fabricación de sus productos puede quitarla del mercado y con ello llevarla completamente a la quiebra.

Así pues, son diferentes los aspectos que se tienen que cuidar para asegurar su pertenencia en el mercado, es por eso que la mayoría tiene estrictos controles de calidad, los cuales se cumplen con diferentes métodos y aparatos, entre los que podemos encontrar: los refractómetros.

Dicho instrumento de medición tiene un campo muy amplio de aplicación, ya que se utilizan en diferentes industrias y diversos campos, para poder llevar el control y la calidad de sus productos, desde que se obtiene la materia prima hasta el final de su proceso. A continuación, enlisto algunas de ellas.

4.1. Piscicultura

En esta industria los refractómetros son utilizados para medir de manera certera la cantidad de sal que contienen los tanques o estanques donde se cultivan o mantienen el producto marino. La facilidad con la que se usa un refractómetro manual a eliminado la necesidad de utilizar los hidrómetros que son más difíciles de usar y tienen una gran fragilidad.

Recordemos que una salinidad tan alta puede poner en peligro la vida en los estanques y con esto tener pérdidas en la inversión económica y ambiental. He aquí la gran importancia del uso del refractómetro.



Figura 18: Salinidad (Libre, 1999-2018)

.2. Agricultura

Diversos productos agrícolas son cosechados en el momento en que se ha alcanzado la madures necesaria y requerida para tener un producto de buena calidad; para saber el punto de maduración exacto se extrae el jugo del producto y se realizan mediciones para ver sus grados Brix, y con ello proceder o no a la cosecha. El ejemplo más claro es el que utilizan los viticultores los cuales cosechan “la vid” una vez que ha alcanzado el azúcar necesario para producir vinos de alta calidad.



Figura 19: Vinicultura (vinos, 2009)

Esto es importante, ya que el nivel de azúcar juega un papel importante en el proceso de fermentación, afectando la calidad del producto final y la aceptación del consumidor.

4.3. Apicultura

Los refractómetros permiten identificar el contenido de azúcar en la miel, así como la humedad dentro del panal, la cual va bajando a medida que pasa el tiempo lo que la protege de hongos y su acción de fermentación que la descomponen durante la época de guarda.

Con la medición constante se puede llevar un registro del comportamiento de cada colmena, lo cual nos puede indicar cuando es el momento adecuado para poder cosechar y por ende obtener la miel en su mejor calidad, evitando mermas por miel descompuesta o demasiado húmeda.



Figura 20: Apicultura (Amazon, 2017)

4.4. Empacadores de Alimentos

En la fabricación de diversos alimentos es necesario el uso de refractómetros para poder estandarizar y mantener la calidad de los productos, en otras palabras, todas las producciones fabricadas deben de mantener las mismas características y especificaciones entre ellas; para poder hacer que el consumidor mantenga su preferencia.

4.5. Industria de los Alimentos

En esta industria el uso de los refractómetros tiene una gran aplicación, ya que los alimentos y las bebidas son productos muy demandados, por lo tanto se tiene una gran competencia para un

mismo producto y solo aquellos que tienen una buena calidad son los que se mantienen en el mercado; es decir, todos aquellos productos que cuentan con un registro de calidad desde su materia prima hasta que es un producto terminado, para esto es necesario valerse de diferentes instrumentos de medición, con esto se asegura que siempre la mezcla de sus ingredientes vayan en las mismas porciones lo que nos da un producto idéntico, aun cuando se fabrican diferentes lotes. Un ejemplo muy claro es cuando agregamos: Azúcares y edulcorantes, aromas, aceites y aditivos alimentarios (vitaminas, suero de leche, emulsionantes).

En la fábrica “LALA[®] DERIVADOS LÁCTEOS” que fue la empresa donde hice mis prácticas profesionales, observé el control tan estricto que se tiene para la recepción de materia prima, así como la fabricación y la mezcla de sus ingredientes, las combinaciones que se necesitan para el envasado y finalmente el empaquetado del producto.

Tomando en cuenta que en la actualidad hay normas para el control y estandarización de los productos, las cuales nos indican el porcentaje máximo permitido que debe de llevar cada sustancia en un producto determinado; si por algún error no se elaboró el producto con las cantidades permitidas, la autoridad tiene el poder de imponer una multa o en su defecto retirara el producto del mercado

4.6 Resumen

En el capítulo anterior observamos la importancia de los refractómetros para obtener sustancias con características muy específicas las cuales nos ayudan a concebir productos de alta calidad. En el capítulo siguiente veremos el desarrollo del prototipo experimental.

Capítulo V: Prototipo Experimental

5.1 Descripción General

En la **Figura 21** se muestra el funcionamiento teórico del prototipo de refractómetro desarrollado, este funciona según el procedimiento de haz de luz transmitida o pasante, en el cual se hace pasar un haz de luz infrarrojo a través de la muestra y se mide directamente a la salida mediante un receptor, calculando a partir de ello el índice de refracción.

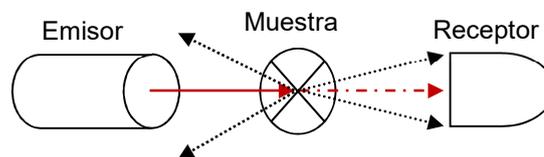


Figura 21: Diseño

Se tomó la decisión de desarrollar el prototipo con un emisor y un receptor en el rango del infrarrojo, ya que se puede controlar el voltaje y su ángulo, provocando que su longitud de onda puede emitir el haz de luz a un rango más amplio, ello ayudo a que la intensidad del haz de luz que lograba pasar la muestra llegara al led receptor con una buena intensidad para su medición, otro de los puntos que se tomaron en cuenta fue que por su longitud de onda la luz blanca y/o amarilla no generaran ningún tipo de efecto en el haz de luz infrarrojo; y así lograr que no hubiera intervención en las mediciones y/o las lecturas de las muestras, con lo que se puede garantizar lecturas confiables. El diseño del prototipo fue pensado en un sistema que no importara la cantidad de muestra que se coloque en el mismo, para poder hacer la medición, en otras palabras, podemos realizar el cotejo de la sustancia siempre y cuando el volumen del líquido y/o muestra sobre pase el límite de la localización de los sensores.

Con este prototipo se eliminará el error de paralaje o error generado por la posición que toma el operador al realizar la medición, en otras palabras, dependiendo del ángulo desde que se observa y/o se realiza la medición el error de paralaje aumenta o disminuye; en el caso de los refractómetros de escritorio este error se genera al momento de enfocar a través del ocular la sombra que es generada por la muestra que fue atravesada por la luz que entra por el prisma de incidencia hasta llegar al

prisma de refracción; es decir, al ajustar la línea conocida como Línea Horizonte con la cruz de enfoque. Como se muestra en la **Figura 22**:



Figura 22: Refractómetro enfocado (Pulido Fernandes, 2012)

En la **Figura 23** se observa el prototipo utilizado; es un diodo Emisor el cual hace pasar un haz de luz por la muestra que se localiza dentro de un tubo de ensayo; para llegar a un diodo Receptor, este permite el paso de voltaje según la intensidad de la luz que le llegue, es decir, cuando se tenga muestra en el tubo de ensayo y se quiera hacer la lectura, se recibirá un voltaje constante el cual es variable dependiendo de la cantidad de luz que logre llegar al receptor, lo que indicara la desviación del haz de luz generada por las partículas sólidas contenidas en la muestra, en otras palabras, cuanto mayor sea el porcentaje de grados Brix menor será el haz de luz que logre atravesar la muestra y este sea captado por el receptor; y en caso contrario a menor grados Brix mayor será el haz de luz que absorberá el receptor.

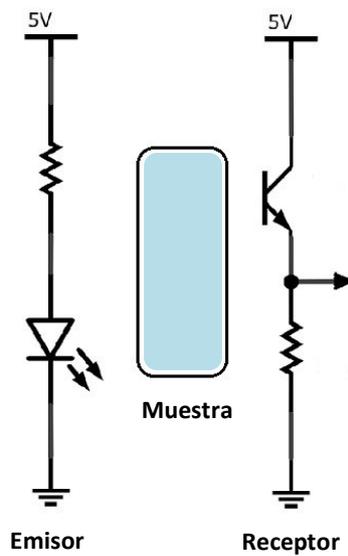


Figura 23: Sensor Infrarrojo

5.2 Circuito

En la **Figura 24** se muestra el diagrama eléctrico, que nos indica las conexiones del circuito electrónico desarrollado para poder generar un haz de luz; este haz de luz se direcciona hacia la muestra, tomando en cuenta las leyes de refracción y reflexión, el haz de luz refractado será captado por un receptor instalado en el mismo circuito, la señal recibida será la que sirva para poder hacer las mediciones de cada muestra. En otras palabras, se tiene un generador de señales y un receptor de las mismas; en el mismo diagrama. Es un diagrama sencillo, pero eficiente ya que los valores obtenidos en el receptor son siempre constantes, esto solo si la distancia se mantiene invariable.

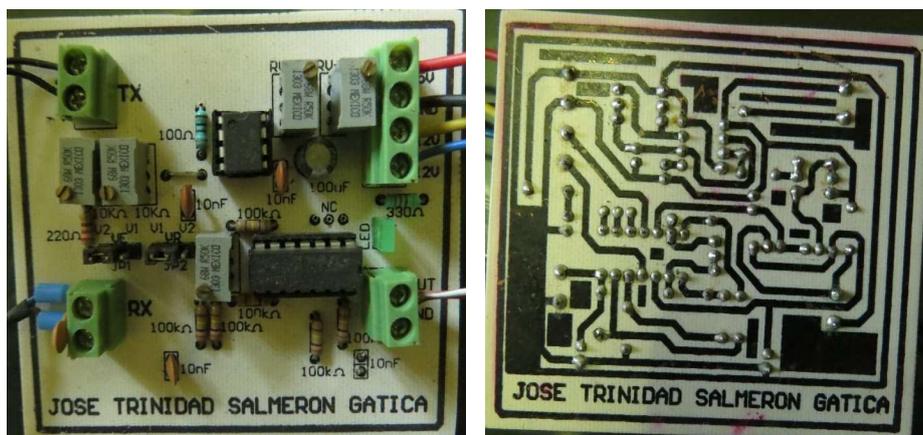


Figura 24: Diagrama eléctrico

Este circuito cuenta con tres etapas que son:

- 1.- Generador de Señal, en esta etapa se genera un pulso el cual será enviado a un emisor.
- 2.- Medición de la señal, con un receptor se recoge la señal que fue refractada por la muestra.
- 3.- Amplificador de Señal de salida, dado que la señal refractada es muy pequeña, se amplifica para poder trabajar con ella.

Para poder hacer que el circuito de la **Figura 24** funcione correctamente se requiere una alimentación de tres voltajes diferentes los cuales son: 12 v y -12 v, estos alimentan al amplificador de instrumentación. Un voltaje de 5 V el cual va alimentar al emisor y receptor del haz de luz infrarrojo, y a su vez es nos proporcionara la señal de salida.

El haz de luz del emisor se produce con un generador Astable, para poder mantener los pulsos continuos y constantes que se envían al Led infrarrojo que funge como Emisor para medir los valores de las muestras. La **Figura 25** muestra la configuración utilizada .

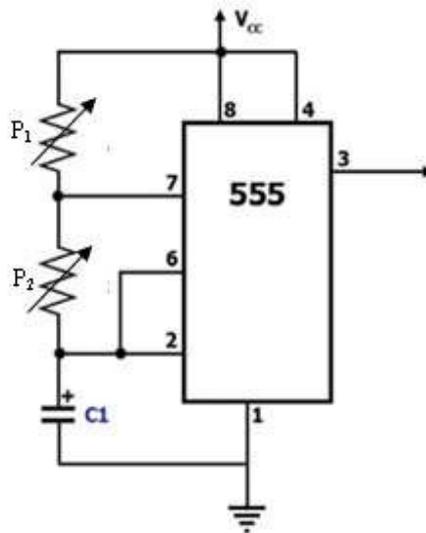


Figura 25. Generador de Pulsos con el LM55 en estado Astable.

Ecuaciones correspondientes para el cálculo de pulsos emitidos con el Circuito LM555

$$t_1 = (\ln(2) * (P_1 + P_2)) + C_1 \quad (15)$$

$$t_2 = \ln(2) * P_2 * C_1 \quad (16)$$

$$f = \frac{1}{\ln(2) * C_1 * (P_1 + 2P_2)} \quad (17)$$

En donde:

t_1 =tiempo en alto(cresta)

t_2 = tiempo en bajo(valle)

P_1 =Resistencia variable 1

P_2 =Resistencia variable 2

C_1 = Capacitor

f = frecuencia del pulso

La **ecuación 15** calcula el tiempo que se mantiene en alto el pulso emitido, la **ecuación 16** calcula el tiempo que se mantiene en bajo el pulso emitido y la **ecuación 17**; es utilizado para realizar el cálculo de la frecuencia con la cual se realizará la emisión del haz de luz infrarrojo utilizado en prototipo. Se colocaron las resistencias variables P_1 y P_2 para poder ajustar el pulso del haz de luz y poder encontrar la frecuencia correcta en la cual tengamos los mejores en las mediciones.

El funcionamiento del receptor es muy práctico, ya que depende totalmente de la energía que recibe, por ejemplo, entre mayor sea la densidad de la muestra (mayor °Brix) menor será el valor de la lectura de la señal de salida, esto debido a que el haz de luz tendrá un mayor ángulo de refracción; por la parte contraria a menor densidad de la muestra (Menor °Brix), será más pequeño el ángulo de refracción produciendo mayor el valor de la lectura de la señal de salida.

La **Figura 26** muestra el esquema de un amplificador de Instrumentación; un dispositivo que nace de la necesidad de leer señales con tensiones muy bajas. El amplificador de instrumentación también conocido como amplificador diferencial, es un amplificador cuya ganancia se puede establecerse de una manera muy precisa, este amplificador se puede optimizar para que opere de acuerdo a las especificaciones generadas aún en un entorno hostil. Se puede considerar como un elemento esencial en los sistemas de medida, este puede ser ensamblado como un bloque independiente el cual que ofrece características funcionales propias con respecto a los elementos con los que interacciona. (Moyano, 2005)

El amplificador de instrumentación, como su nombre lo indica, es capaz de amplificar la diferencia que existe entre dos señales y a su vez de rechazar cualquier otra señal que sea común entre las señales que se están comparando. Por la calidad y capacidad que tiene el amplificador de instrumentación es muy utilizado en procesos industriales, procesos médicos, telecomunicaciones, entre otros, para la adquisición y/o captura de datos, la cual es recibida a través de señales muy pequeñas o tenues.

$$V_{out} = \left(\frac{R_4}{R_3}\right) * \left(1 + \frac{2R_2}{R_G}\right) \quad (18)$$

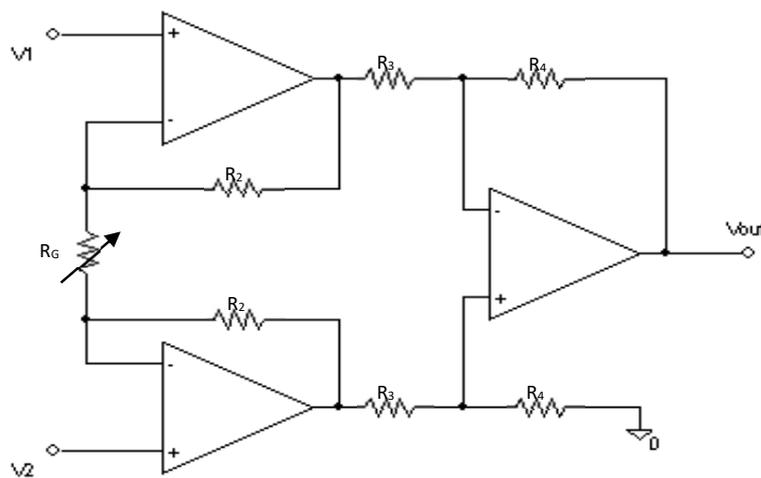


Figura 26: Amplificador de Instrumentación

En donde:

R_2 = Son las resistencias que intervienen en la etapa de pre-amplificación

R_3 y R_4 = Son las resistencias que intervienen en la etapa diferencial.

R_G = Resistencia que genera la ganancia del voltaje de salida

V_{out} = Voltaje amplificado de Salida

Si asignamos los siguientes valores:

$$R_2=R_3 = R_4 = 100 \text{ k}\Omega$$

$$R_G = 50 \text{ k}\Omega \text{ (Potenciómetro)}$$

para poder hacer el cálculo de la ganancia que nos va a proporcionar el amplificador de instrumentación sustituimos los valores en la **ecuación 18** y con ello nos da como resultado un valor de 5 veces la señal de salida con respecto a la entrada. Para R_G no se utilizó una resistencia fija de $50 \text{ k}\Omega$ recordemos que en la práctica tenemos perdidas y es necesario tener un rango de ajustes con los cuales se pudiera cumplir la ganancia calculada.

Se utilizó el amplificador de instrumentos para poder hacer que las señales se amplificaran debido a que originalmente estaban en el rango de los diezmilésimos; y no eran tan visible el cambio del valor obtenido de la medición entre muestras, es decir, no eran notorias las variaciones en los voltajes de salidas; por este motivo se amplificó la señal al rango de los mVolts.

Como la señal que se obtiene en este circuito es analógica y está en miliVolts, será medida por dos instrumentos diferentes, un osciloscopio tektronix TDS 1002 y un multímetro FLUKE 87 III, y se medirá en el rango de los milivolts.

5.3 Prototipo

El prototipo fue desarrollado con características atractivas para su uso, todo esto sin dejar de lado su funcionalidad. La **Figura 27** muestra el diseño físico del prototipo; en la parte central se observa una caja fabricada para contener el tubo de ensayo donde se coloca la muestra, se realizó de esta manera pensando en que si la cantidad de la sustancia de la muestra variaba esta no afectara las lecturas; siempre y cuando la altura estuviera por encima de los sensores.

En las partes laterales del prototipo se colocaron dos cubos los cuales contiene el emisor y receptor del haz de luz infrarroja; el emisor infrarrojo envía el haz de luz a través de una fibra plástica al costado de la caja donde se encuentra el tubo de ensayo con la muestra, en el otro extremo el haz de luz que logro atravesar la muestra es recogido con otra fibra plástica que lo lleva hasta el receptor, el cual envía la señal a la entrada del amplificador de instrumentos para amplificarla y poder medirla

con el osciloscopio y el multímetro. El uso de la fibra plástica fue para poder hacer que el haz de luz producido por el emisor infrarrojo se canalizara a través de ella y llegara de manera directa al receptor infrarrojo, se decidió que el emisor y el receptor no estuvieran directos en la muestra ya que es más sencillo ajustar y direccionar dos piezas de 2 mm y una cara plana que proporciona la fibra plástica, que el tamaño y forma de los leds receptor y emisor.

Para la fabricación de la estructura del prototipo **Figura 28**; se eligió un material que reuniera las características que cumplen con las especificaciones de las empresas de grado alimenticio, por ello todo se fabricó en teflón de grado sanitario y se unió con tornillería de acero inoxidable para asegurar su inocuidad.

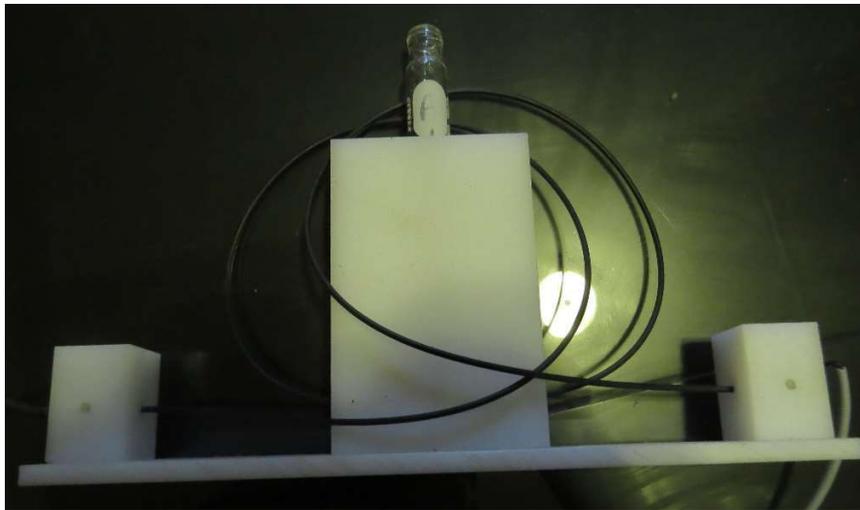


Figura 27: Prototipo

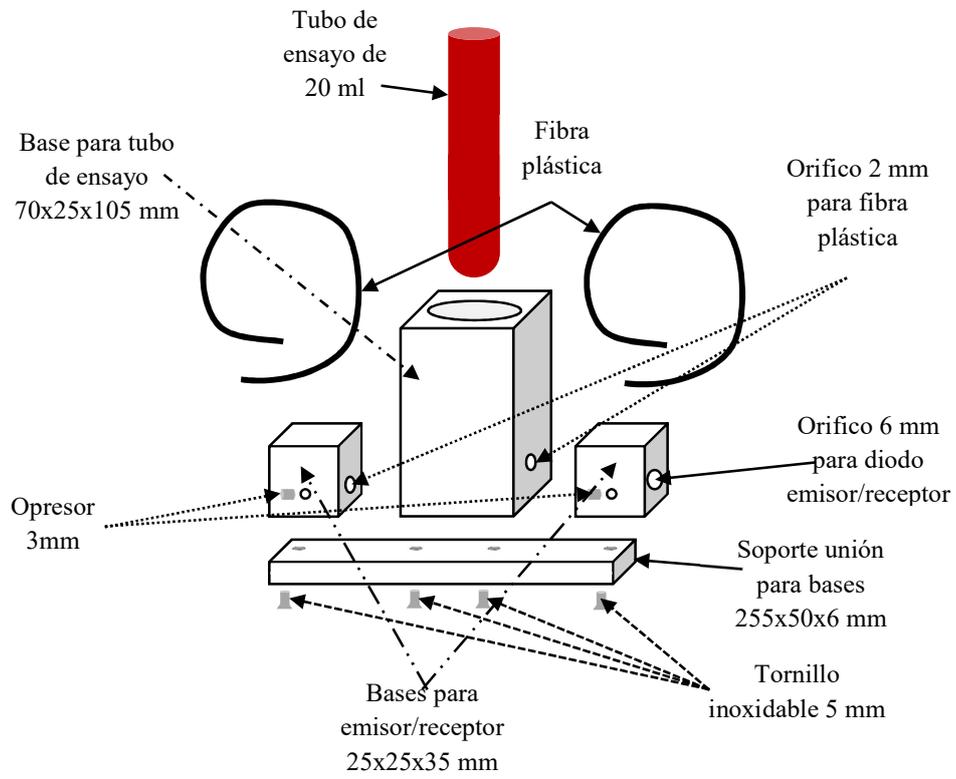


Figura 28: Diagrama Esquemático

Capítulo VI. Resultados Experimentales y Conclusiones.

Se necesitó asegurar que la curva de caracterización fuera confiable, se pidió apoyo al laboratorio de Química de la Universidad de Guanajuato, Campus Irapuato-Salamanca, para poder desarrollar las muestras que nos servirían como patrón y guía a la hora de graficar los valores obtenidos en las pruebas; estas muestras requieren una gran exactitud para estandarizar el comportamiento de nuestro circuito. Por consiguiente, era necesario una balanza calibrada, esta nos ayudaría a minimizar el error en los pesos.

Tomando en cuenta la norma **NMX-F-112-NORMEX-2010**, la cual nos dice: que todos los sólidos solubles encontrados en una solución se toman como si fueran azúcar, las muestras que se utilizaron para la curva de caracterización se realizaron con agua destilada y azúcar refinada, para evitar que algún otro sólido interviniera en la medición.

Se hicieron 6 muestras con diferentes cantidades de agua destilada/azúcar refinada: *198.002 g/2.004 g, 190.007 g/10.002 g, 184.008 g/16.000 g, 180.006 g/20.010 g, 170.003 g/30.000 g, 160.005 g/40.003 g*. Las cuales se mezclaron en matraces hasta que la solución quedo completamente homogénea, esto para poder medir las señales de salida, y con ello poder ver el comportamiento del voltaje con respecto a los °Brix de cada muestra. Se realizaron 30 mediciones por prueba, es decir que para cada uno de las muestras se repitieron 30 veces los valores obtenidos en las lecturas de los voltajes de salida; esto con el fin de disminuir el error por dispersión de los datos obtenidos en las lecturas. En cada una de las muestras los valores obtenidos de las lecturas se repitieron de manera constante.

Las pruebas se realizaron cuando la temperatura de cada muestra tenía 25 °C esto para que las mediciones fueran lo más fiable y evitar usar la **Tabla A** para corregir los grados Brix por el factor de temperatura.

Prueba #1: La Gráfica de la **Figura 29** muestra los resultados obtenidos de la prueba en donde se mezcló 198.002 g de Agua destilada con 2.004 g de Azúcar Refinada; obteniendo una solución total de 200.006 g; esta solución proporciona aproximadamente 1.001 °Brix el cual se toma como si fuera 1 °Brix. Estos grados Brix se calculan de manera teórica sustituyendo los valores para el agua y del azúcar en la Ecuación (1) para obtener los grados °Brix correspondientes, como se indica a continuación

$$^{\circ}\text{Brix} = \frac{2.004 \text{ g}}{198.002 \text{ g} + 2.004 \text{ g}} * 100 = 1.001.$$

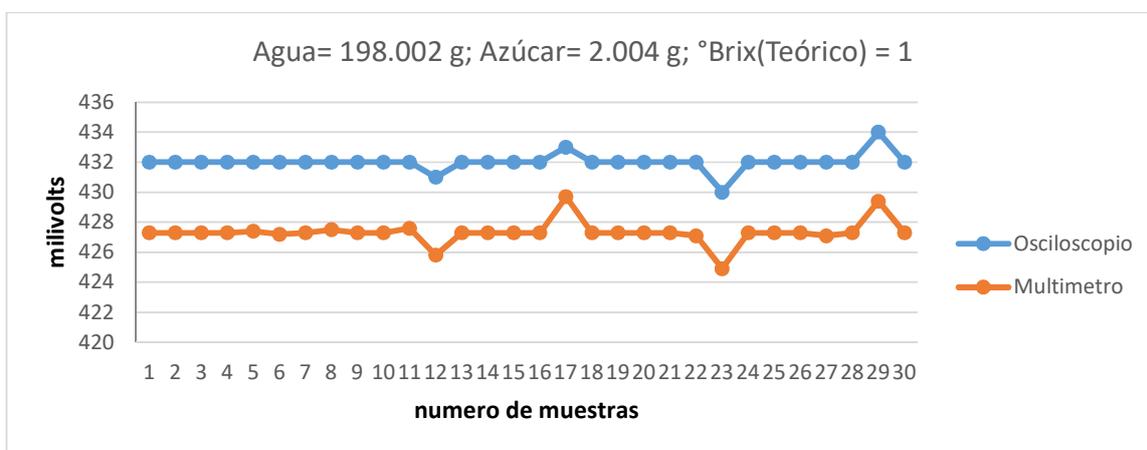


Figura 29: Un Grado Brix

En la gráfica de la **Figura 29** se observa cómo cada uno de los valores se encuentra casi igual sobre el valor promedio de 432 mV para el osciloscopio, en este se observa que 5 muestras se salieron de rango, al parecer este error fue por manipulación a la hora de hacer las mediciones. En el multímetro observamos un comportamiento similar en el rango de 427 mV pero en este hay variaciones en el punto decimal.

Prueba #2: La Gráfica de la **Figura 30** muestra los resultados obtenidos de la prueba en donde se mezcló 190.007 g de Agua destilada con 10.002 g de Azúcar Refinada; obteniendo una solución total de 200.009 g; esta solución proporciona 5 °Brix; Estos grados Brix se calculan de manera teórica sustituyendo los valores del Agua y del azúcar en la Ecuación (1) para obtener los grados °Brix correspondientes, como se muestra a continuación.

$$^{\circ}\text{Brix} = \frac{10.002 \text{ g}}{190.007 \text{ g} + 10.002 \text{ g}} * 100 = 5.000$$

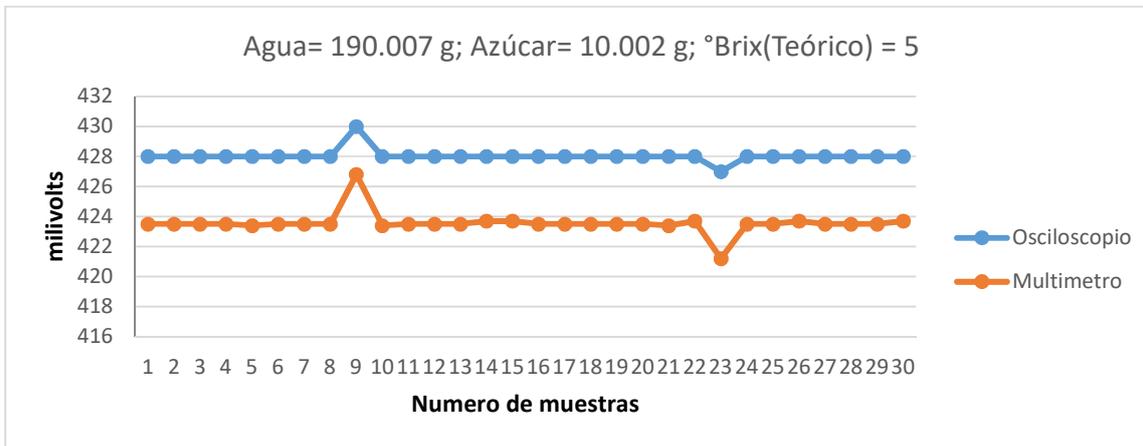


Figura 30: Cinco Grados Brix

Prueba #3: La Gráfica de la **Figura 31** muestra los resultados obtenidos de la prueba en donde se mezcló 184.008 g de Agua destilada con 16.000 g de Azúcar Refinada; obteniendo una solución total de 200.008 g; esta solución proporciona 7.999 °Brix los cuales tomamos como si fueran 8 °Brix; estos grados Brix se calculan de manera teórica sustituyendo los valores del Agua y del azúcar en la Ecuación (1) para obtener los grados °Brix correspondientes, tal como se indica en la siguiente relación.

$$^{\circ}\text{Brix} = \frac{16.000 \text{ g}}{184.008 \text{ g} + 16.000 \text{ g}} * 100 = 7.999$$

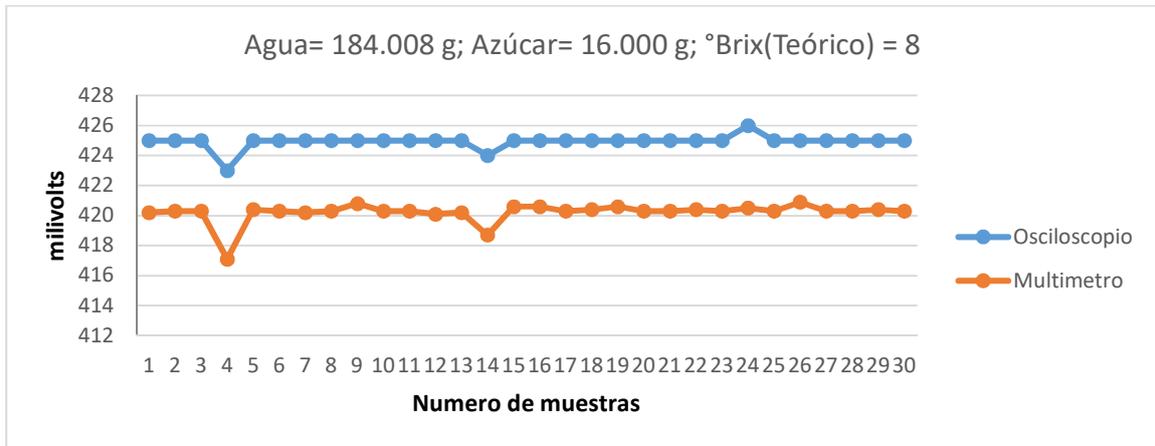


Figura 31: Ocho Grados Brix

Prueba #4: La Gráfica de la **Figura 32** muestra los resultados obtenidos de la prueba en donde se mezcló 180.003 g de Agua destilada con 20.010 g de Azúcar Refinada; obteniendo una solución total de 200.013 g; esta solución proporciona 10.004 °Brix los cuales se toman como si fueran 10 °Brix; Estos grados Brix se calculan de manera teórica sustituyendo los valores del Agua y del azúcar en la Ecuación (1) para obtener los grados °Brix correspondientes.

$$°Brix = \frac{20.010 \text{ g}}{180.003 \text{ g} + 20.010 \text{ g}} * 100 = 10.004$$

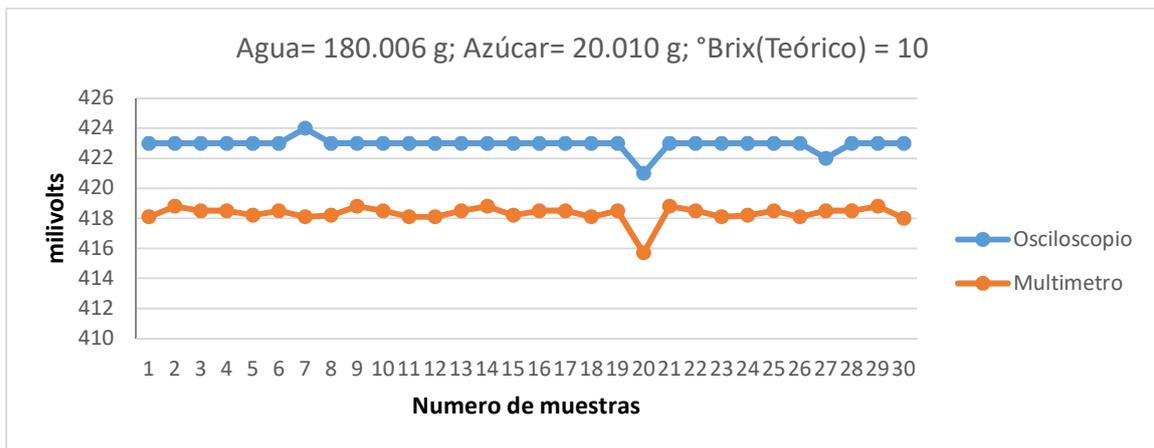


Figura 32: Diez Grados Brix

Prueba #5: La Grafica de la **Figura 33** muestra los resultados obtenidos de la prueba en donde se mezcló 170.003 g de Agua destilada con 30.000 g de Azúcar Refinada; obteniendo una solución total de 200.003 g; esta solución proporciona 14.999 °Brix y se toma como si fueran 15 °Brix; Estos grados Brix se calculan de manera teórica sustituyendo los valores del Agua y del azúcar en la Ecuación (1) para obtener los grados °Brix correspondientes.

$$^{\circ}\text{Brix} = \frac{30.000 \text{ g}}{170.003\text{g} + 30.000 \text{ g}} * 100 = 14.999$$

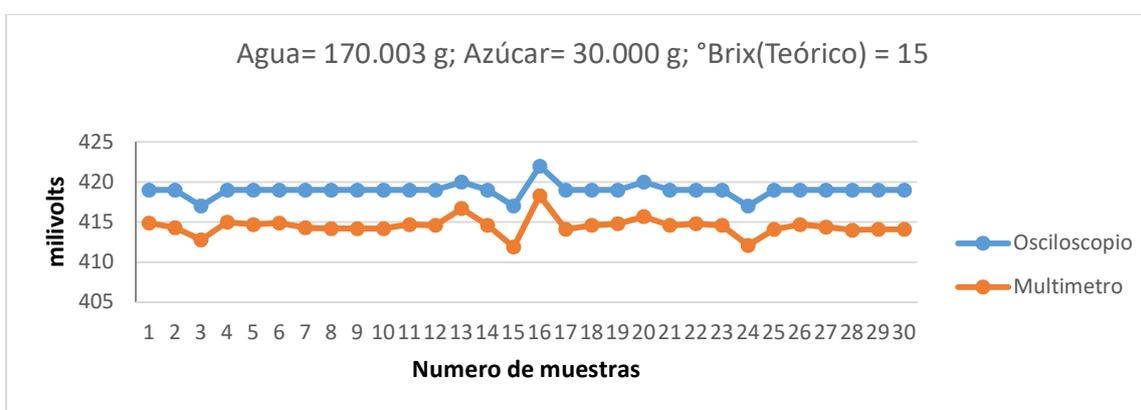
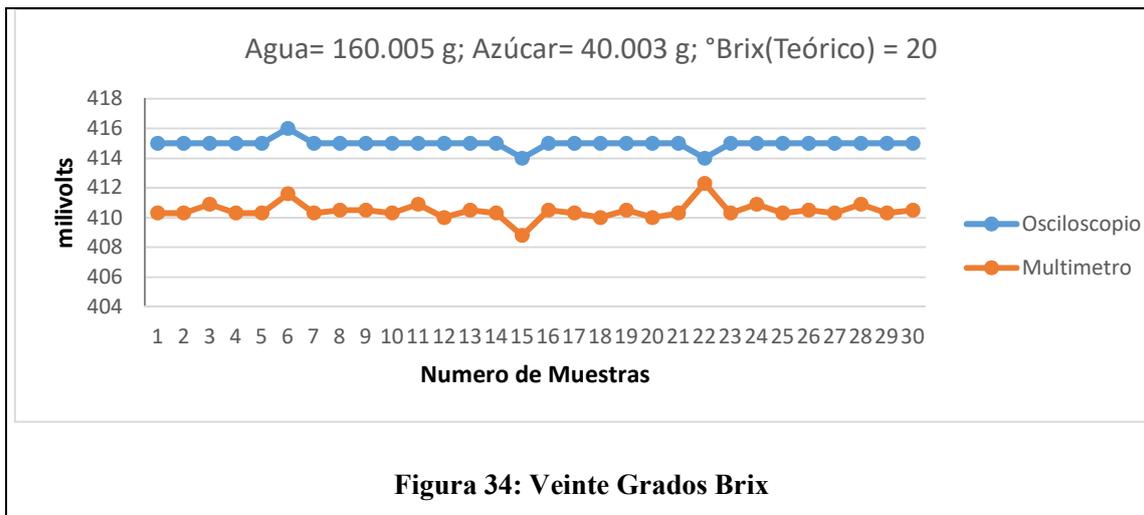


Figura 33: Quince Grados Brix

Prueba #6: La Grafica de la **Figura 34** muestra los resultados obtenidos de la prueba en donde se mezcló 160.005 g de Agua destilada con 40.003 g de Azúcar Refinada; obteniendo una solución total de 200.008 g; esta solución proporciona 19.993 °Brix y se toma como si fueran 20 °Brix; Estos grados Brix se calculan de manera teórica sustituyendo los valores del Agua y del azúcar en la Ecuación (1) como se muestra a continuación para obtener los grados °Brix correspondientes.

$$^{\circ}\text{Brix} = \frac{40.003 \text{ g}}{160.005\text{g} + 40.003 \text{ g}} * 100 = 19.993$$



Se realizó este número de pruebas para poder disminuir el error ocasionado a la hora de hacer las mediciones y poder observar que los valores obtenidos se mantuvieran constantes a lo largo de las pruebas. En otras palabras, es para verificar de manera estadísticas que el valor siempre incide de manera repetitiva en la misma posición, aunque en ocasiones sale fuera de rango como se muestra en la **Figura 35**, se llegó a la conclusión de que los valores que salían de rango fue el resultado de un mal manejo de la muestra.

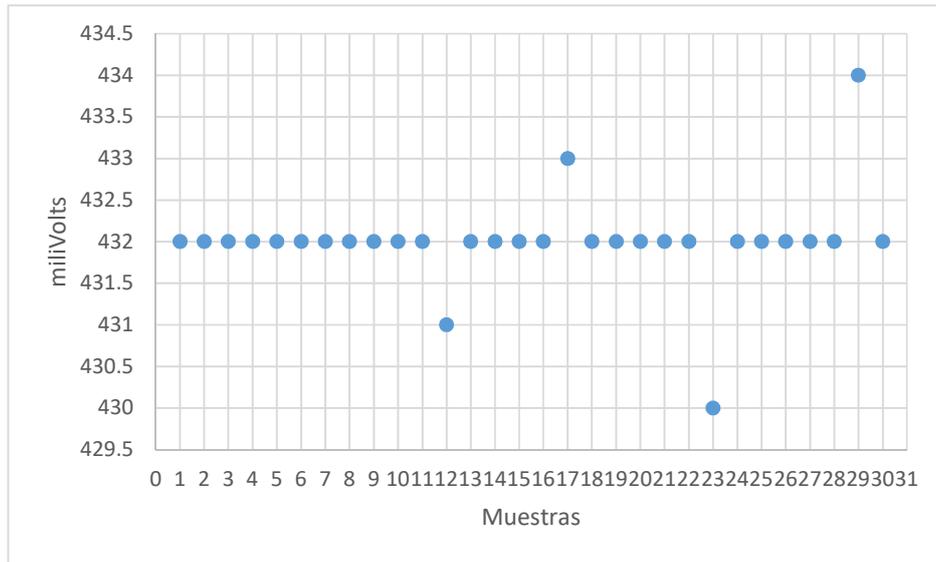


Figura 35: Error

Al graficar los valores promedio obtenidos de cada una de las muestras realizadas para las diferentes pruebas obtenemos la gráfica de la **Figura 36** en donde se observa un comportamiento lineal en las lecturas de los voltajes correspondiente a cada muestra. Los valores promedio, se obtuvieron de la suma de las 30 mediciones realizadas a cada muestra, con esto nos aseguramos que todos los valores captados influyeran en la ecuación final.

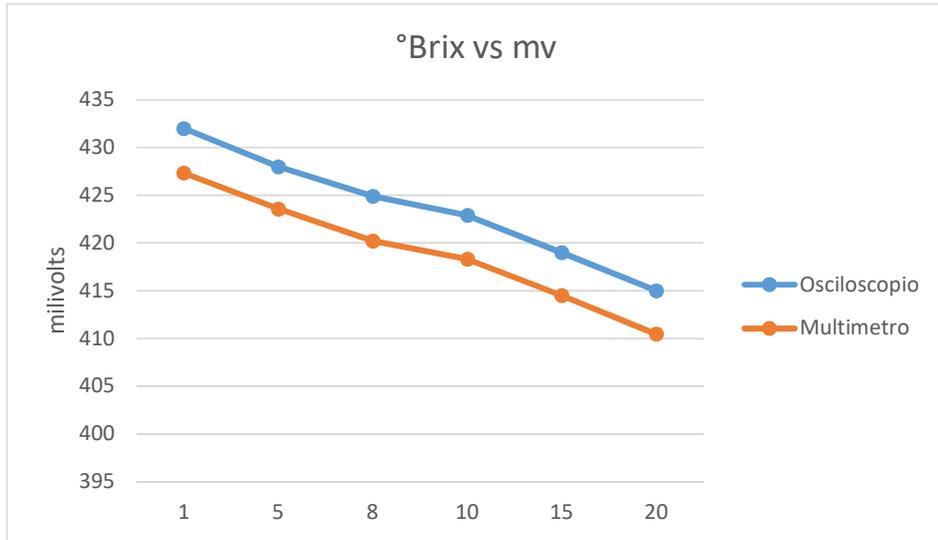


Figura 36: Valores promedio

Todas las pruebas se realizaron a temperatura ambiente, para evitar que este factor influyera a la hora de hacer los cálculos.

Con todas las pruebas anteriores se logró hacer una regresión lineal, de los valores obtenidos en las pruebas, la cual nos da una ecuación del comportamiento del dispositivo, marcando la relación entre los milivolts en el receptor con respecto a los grados Brix de las muestras. La **Figura 37** muestra la ecuación lineal para los valores obtenidos con el osciloscopio y la **Figura 38** muestra la ecuación lineal de los valores obtenidos con el multímetro.

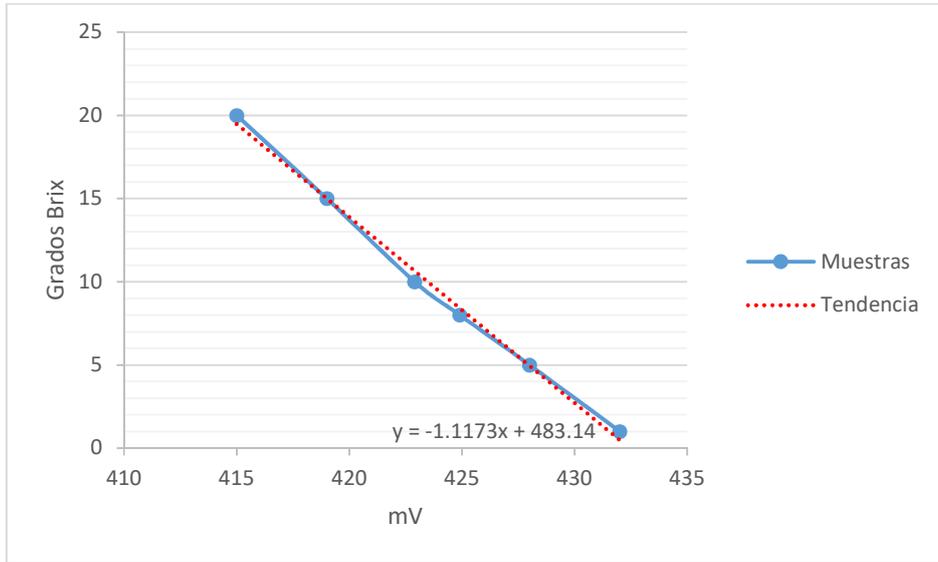


Figura 37: Regresión Lineal osciloscopio

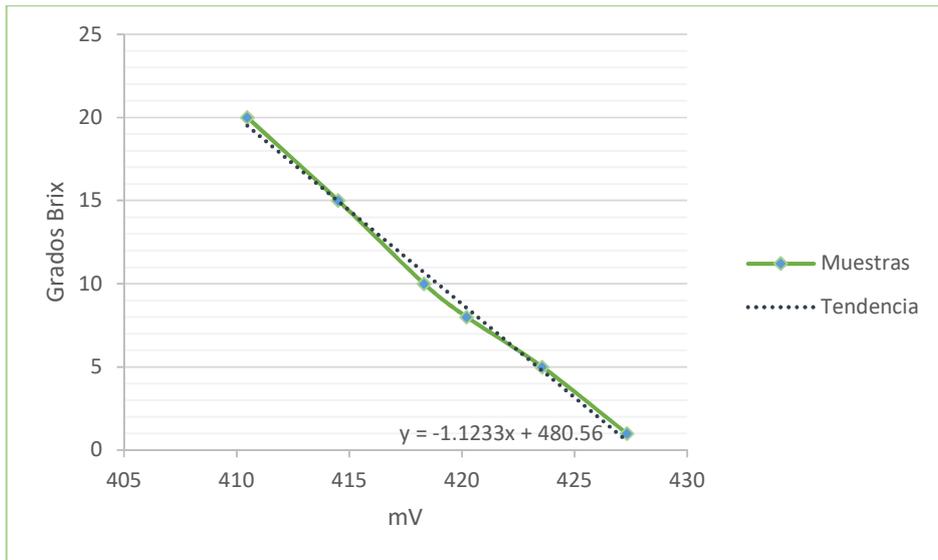


Figura 38: Regresión lineal Multímetro

Después de obtener las ecuaciones se realizaron pruebas con yogurt. Como se muestra en la **Tabla E**.

Tabla E: Pruebas con yogurt

	Multimetro		Osciloscopio	
	Voltaje	°Brix	Voltaje	°Brix
Clasico Fresa	413.66	15.9	418.19	15.9
Clasico Manzana	413.30	16.3	417.83	16.3
BioBalance	411.96	17.8	416.49	17.8
Svelty Fresa	421.13	7.50	425.70	7.50
Break fresa	413.57	16	418.10	16

6.1 Desarrollo:

Para poder desarrollar un prototipo confiable, después de varios intentos fallidos, se tomaron en cuenta los errores cometidos anteriormente, así como otros factores que pudieran influir a la hora de realizar las mediciones; como, por ejemplo: La posición de los sensores, para obtener una mejor lectura, que la cantidad de muestra no afectara a la hora de la medición debido a que esta no se puede controlar con mucha exactitud, y por último y la más importante fue distancia entre los sensores, pues afecta de manera directa a nuestros valores.

En el desarrollo de las pruebas se observaron ciertos errores que no se tomaron en cuenta al inicio de las mismas, estos errores provocaron que las mediciones fueran completamente erróneas debido a que los valores se alteraban de manera considerable, es decir, entre las muestras se obtenían valores muy diferentes. Esto fue provocado por un choque térmico el cual por error produjo al elevar la temperatura de las muestras del yogurt de manera abrupta en el microondas, el choque térmico ocasiono que el azúcar rompiera sus enlaces y al enfriarse esta cristalizara en granos desproporcionados, haciendo que el haz de luz infrarrojo se desviara en diferentes direcciones, obteniendo una inconsistencia en las lecturas. Para poder corregir este problema se tomaron las muestras a temperatura ambiente (25°C). Cada muestra fue analizada 30 veces para poder descartar que los valores obtenidos estuvieran con error por parte mi a la hora de la lectura.

6.2 Ventaja del Prototipo.

La mayor ventaja que tiene el prototipo es el bajo costo con el que se desarrolla, ya que las partes utilizadas son fáciles de conseguir lo cual implica que si se requiere hacer en serie el costo disminuiría aún más. La precisión que el prototipo otorga es buena y el rango de lectura es amplio.

Otra ventaja que cabe mencionar es el hecho de que se puede adaptar a cualquier sistema, es decir, la señal de medición puede enviarse directamente aun PLC (esto siempre y cuando se adapte la ecuación de conversión de °Brix), de esta manera dependiendo del resultado o valor obtenido se tome una decisión y/o acción de manera automática en el proceso en línea y con ello corregir cualquier desviación que se observe o en su defecto detener el proceso, para evitar pérdidas del producto. Una ventaja más sería el envío de los datos a una computadora con la ayuda de ADC, esto para poder realizar una base de datos de cada lectura y con esto tener el control de cada muestra tomada.

6.3 Desventajas del Prototipo

Para este prototipo encontré una pequeña desventaja que no tome en cuenta a la hora de su desarrollo, la desventaja que tiene el prototipo es el de no poder controlar la temperatura, aunque es muy poco significativa si logra hacer variaciones en la medición de la muestra, en otras palabras, el cambio de temperatura no regulado en la muestra provoca mediciones erróneas en las lecturas.

Anteriormente se hizo referencia a una tabla de corrección de °Brix (ver **Tabla A**) con la cual se realizan las compensaciones de los °Brix con respecto a la temperatura. Esta tabla muestra cuanto hay que sumar o restar dependiendo de la variación de la temperatura en la muestra, con ello podemos compensar esta desventaja que tiene este prototipo. Otra pequeña desventaja es la falta de una pantalla en la cual se puedan mostrar los resultados, en el caso de que se quiera hacer de manera local, ya que si se requiere esta señal podría ser enviada directamente a la PC, para poder hacer un registro (base de datos) completo de cada muestra tomada.

Se puede implementar una medición en campo y tiempo real a través de un PLC el cual puede desplegar los valores en un HMI y con ello controlar la adicción de azúcar.

La desventaja de la temperatura, se puede eliminar agregándole un termopar para que capture la temperatura a la que se encuentre la muestra y con ello corrija los grados Brix obtenidos, sumándole o restándole con la **Tabla A** según sea el caso

6.4 Conclusiones

Al finalizar la caracterización de la curva se realizaron pruebas con yogurt como se muestra en la **Tabla E** dando los resultados esperados en las mediciones, por lo que se demostró que el prototipo trabajo como se esperaba, obteniendo buenos resultados a un menor costo.

Referencias

- Zielinski, A., Toledo, A., Storani, E., & Mathon, Y. (2013). *Elaboracion Artesanal del Yogurt*. San Martin: Inst. Nacional de Tecnología.
- Amazon. (7 de Mayo de 2017). *Amazon*. Obtenido de Amazon España:
https://www.amazon.es/gp/product/B06XY1D157/ref=s9_acsd_hps_bw_c_x_3_w/262-1020126-8776123
- Asociados, M. &. (s.f.). <http://www.metas.com.mx/index.html>. Recuperado el 12 de Marzo de 2009, de <http://www.metas.com.mx/guiametras/La-Guia-MetAs-08-12-refraccion.pdf>
- Bertomeu Sánchez, J. R., & García-Belmar, A. (2002). *Abriendo las Cajas Negras*. Valencia: UNIVERSIDAD DE VALENCIA.
- Bertomeu Sánchez, J., & García Belmar, A. (30 de febrero de 2006). *Instrumentos científicos*. Obtenido de Universidad de Valencia:
<https://www.uv.es/=bertomeu/material/museo/instru/polarime5.htm>
- Cheng, D. K. (1998). *Fundamentos de Electromagnetismo para Ingenieria*. Mexico: Addison wesley longman de mexico S.A. de C.V.
- Felipe Marcet, A., & Albarran Diego, C. (1998). *Manual de Optica Geometrica*. Valencia: Arts Grafique Soler S.A.
- Fresquet, J. L. (1996-1997). *Historia de la medicina*. Obtenido de www.historiadelamedicina.org
- Jan, & García, L. (2012). *Comerciarte SA de CV*. Obtenido de Bulgaros.mx:
<http://bulgaros.mx/hacer-yogur-de-bulgaros/>
- Libre, M. (1999-2018). *Mercado Libre*. Obtenido de MercadoLibre Perú S.R.L:
https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-427785795-refractometro-salino-rango-de-medidas1000-a-1070-ge-_JM
- Malacara, D. (2015). *Óptica Básica*. Mexico: FCE.
- Meza Navarrete, J. N. (2016). *Cupertino y la medicina*. California, USA: Windmills Editions.
- Montoya, G. C. (s.f.). *Coleccion de Instrumentos Cientificos*. Obtenido de coleccionguillermocrovetto: <https://sites.google.com/site/coleccionguillermocrovetto/>
- Moreno, V., & Ramírez, M. (Diciembre de 1999). *Busca Biografias*. Recuperado el 23 de mayo de 2008, de Editores de buscabiografias.com: <https://www.buscabiografias.com/>

- Moyano, J. M. (2005). El amplificador de instrumentación. Santaner.
- Netto, R. S. (2000). *Fisicanet*. Obtenido de fisicanet.com.ar:
<https://www.fisicanet.com.ar/biografias/cientificos/b/baume.php>
- Olsen, E. D. (1990). *Metodos Opticos de Analisis*. Barcelona: Reverte S.A.
- Pulido Fernandes, G. (16 de Junio de 2012). *slide share*. Obtenido de
https://es.slideshare.net/Diana_25m/refractometra-13351722
- Roldán., C. T. (16 de Noviembre de 2010). *Diario Oficial de la Federacion*. Obtenido de
http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5167303&fecha=16/11/2010
- Slideshare, L. (6 de Noviembre de 2010). *LinkedIn Slideshare*. Obtenido de LinkedIn Corporation:
<https://es.slideshare.net/pecali/yogurt-batido-5689255>
- Varnam, A., & Sutherland, J. (1995). *Leche y Productos Lacteos*. Zaragoza, España: Acribia S.A.
- vinos, A. a. (21 de Septiembre de 2009). *Aprende a catar vinos*. Obtenido de
<https://aprendeacatarvino.wordpress.com/>:
<https://aprendeacatarvino.wordpress.com/2009/09/21/refractometro-de-campo/>
- Wissner, A. (21 de FEBRERO de 2004). *Antique microscopes*. Obtenido de www.antique-microscopes.com: http://www.antique-microscopes.com/chemistry/Zeiss_Pulfrich_Refractometer.htm

ANEXOS

ANEXO I: Graficas de °P vs Gravedad especifica

Estas graficas representan el comportamiento de la Ecuación (2).

Figure 1a - °P vs Specific Gravity

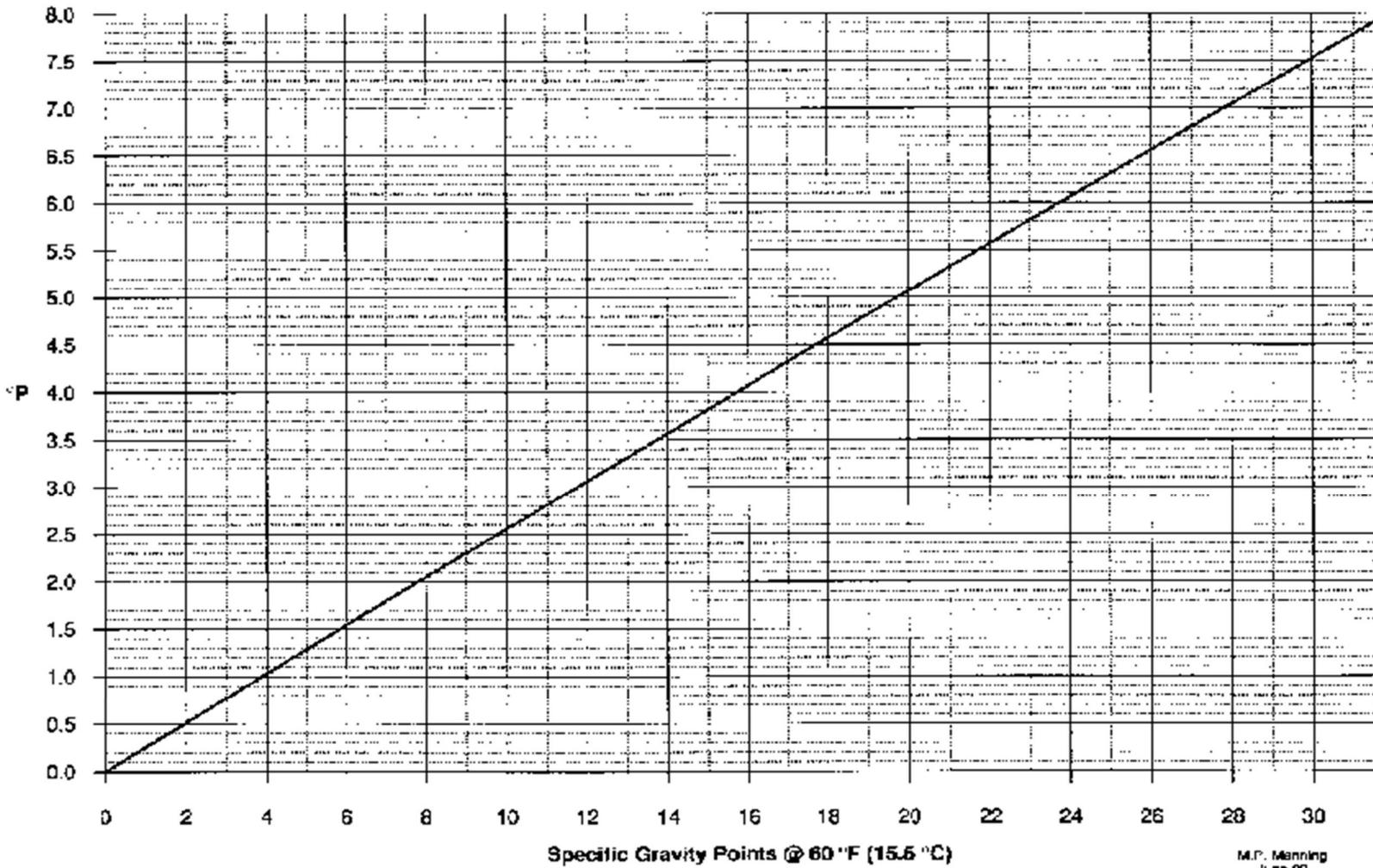
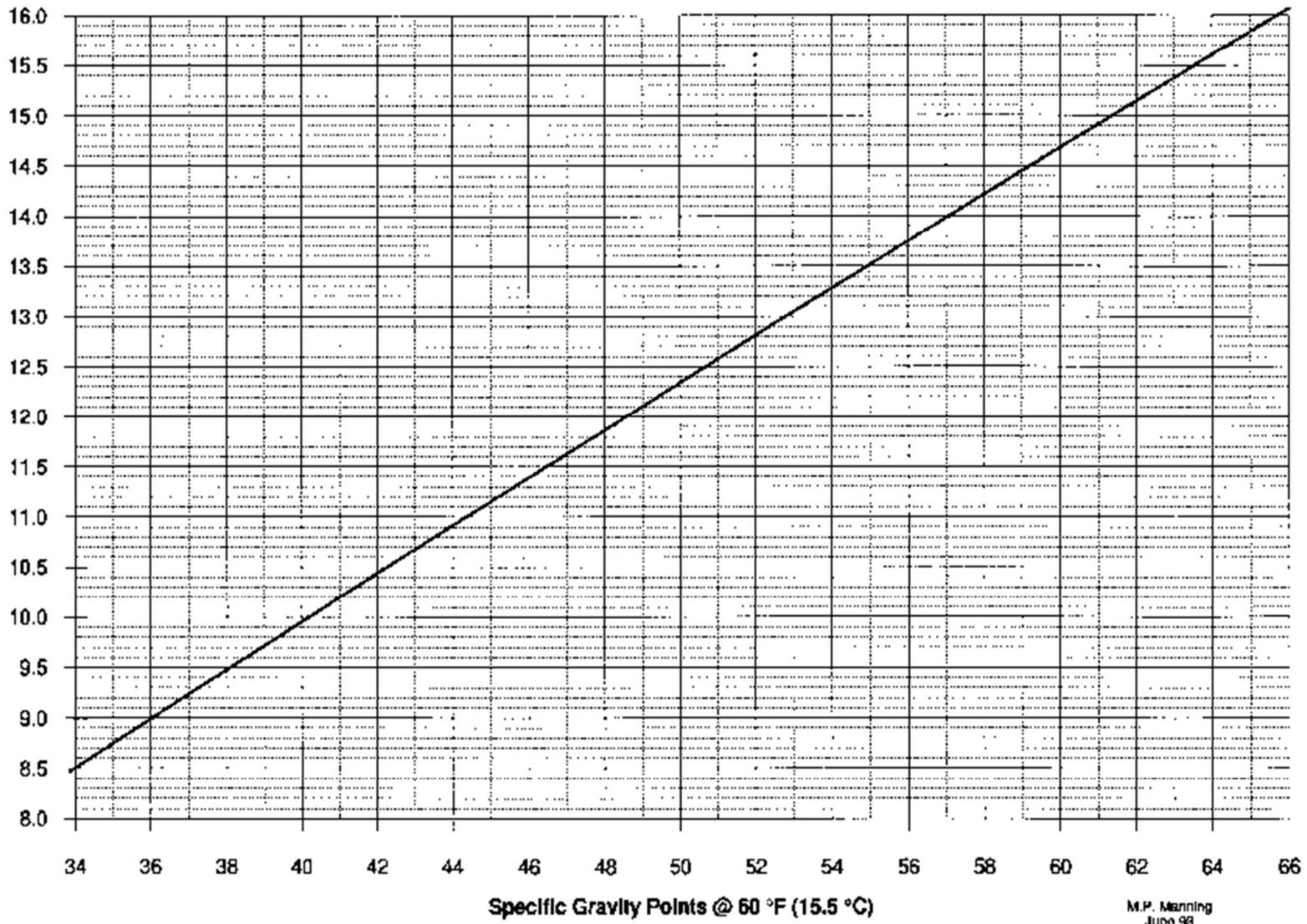


Figure 1b - °P vs Specific Gravity



M.P. Manning
June 98

ANEXO II: Relación entre Densidad - °Baumé - °Brix- Alcohol Probable

Tabla F: Relación Densidad, °Baume, °Brix

Densidad	Grado Baumé	Grado Brix	Alcohol probable
1012	1.70	0.20	0.11
1013	1.84	0.47	0.23
1014	1.98	0.73	0.43
1015	2.12	1.10	0.59
1016	2.27	1.26	0.70
1017	2.41	1.53	0.88
1018	2.55	1.80	1.06
1019	2.68	2.06	1.18
1020	2.82	2.33	1.35
1021	2.91	2.59	1.47
1022	3.10	2.86	1.65
1023	3.24	3.13	1.82
1024	3.37	3.39	1.94
1025	3.51	3.66	2.21
1026	3.65	3.92	2.30
1027	3.79	4.19	2.41
1028	3.92	4.46	2.69
1029	4.06	4.72	2.77
1030	4.20	5.00	2.95
1031	4.33	5.27	3.06
1032	4.47	5.54	3.24
1033	4.60	5.80	3.42
1034	4.74	6.07	3.54
1035	4.88	6.33	3.71

1036	5.01	6.6	3.7
1037	5.15	6.9	4.0
1038	5.28	7.2	4.2
1039	5.41	7.4	4.4
1040	5.50	7.6	4.5
1041	5.68	8.0	4.7
1042	5.81	8.2	4.8
1043	5.95	8.4	5.0
1044	6.08	8.7	5.1
1045	6.21	9.0	5.3
1046	6.34	9.2	5.4
1047	6.48	9.5	5.6
1048	6.61	9.8	5.7
1049	6.74	10.0	5.9
1050	6.87	10.3	6.0
1051	7.00	10.6	6.2
1052	7.13	10.8	6.3
1053	7.26	11.1	6.5
1054	7.39	11.4	6.7
1055	7.52	11.6	6.8
1056	7.65	11.9	7.0
1057	7.78	12.2	7.2
1058	7.91	12.4	7.3
1059	8.03	12.7	7.5
1060	8.16	13.0	7.6
1061	8.29	13.2	7.8
1062	8.42	13.5	7.9

1063	8.55	13.8	8.1
1064	8.67	14.0	8.2
1065	8.80	14.3	8.4
1066	8.93	14.6	8.6
1067	9.06	14.8	8.7
1068	9.18	15.1	8.9
1069	9.31	15.4	9.0
1070	9.43	15.6	9.2
1071	9.56	15.9	9.3
1072	9.68	16.2	9.5
1073	9.81	16.4	9.6
1074	9.93	16.7	9.8
1075	10.06	17.0	10.0
1076	10.18	17.2	10.1
1077	10.31	17.5	10.3
1078	10.43	17.8	10.5
1079	10.56	18.0	10.6
1080	10.68	18.3	10.8
1081	10.80	18.6	10.9
1082	10.93	18.8	11.0
1083	11.05	19.1	11.2
1084	11.18	19.4	11.4
1085	11.30	19.6	11.5

1086	11.42	19.9	11.7
1087	11.55	20.2	11.9
1088	11.67	20.4	12.0
1089	11.79	20.7	12.2
1090	11.91	21.0	12.3
1091	12.03	21.2	12.5
1092	12.15	21.5	12.6
1093	12.27	21.8	12.8
1094	12.39	22.0	12.9
1095	12.52	22.3	13.1
1096	12.64	22.6	13.3
1097	12.76	22.8	13.4
1098	12.87	23.1	13.6
1099	12.99	23.4	13.8
1100	13.11	23.6	13.9

ANEXO III: Tabla de conversión de Densidades Iniciales a Grados Plato.

Tabla G: Conversión Densidades a °Plató

DI	°P	DI	°P	DI	°P
1.000	0.00	1.030	7.56	1.060	14.47
1.001	0.26	1.031	7.80	1.061	14.98
1.002	0.52	1.032	8.05	1.062	15.21
1.003	0.77	1.033	8.29	1.063	15.44
1.004	1.03	1.034	8.54	1.064	15.67
1.005	1.28	1.035	8.78	1.065	15.90
1.006	1.54	1.036	9.02	1.066	16.14
1.007	1.80	1.037	9.27	1.067	16.37
1.008	2.05	1.038	9.51	1.068	16.60
1.009	2.31	1.039	9.75	1.069	16.83
1.010	2.56	1.040	9.99	1.070	17.06
1.011	2.81	1.041	10.23	1.071	17.28
1.012	3.07	1.042	10.47	1.072	17.51
1.013	3.32	1.043	10.71	1.073	17.74
1.014	3.57	1.044	10.96	1.074	17.97
1.015	3.82	1.045	11.19	1.075	18.20
1.016	4.08	1.046	11.43	1.076	18.42
1.017	4.33	1.047	11.67	1.077	18.65

1.018	4.58	1.048	11.91	1.078	18.88
1.019	4.83	1.049	12.15	1.079	19.10
1.020	5.08	1.050	12.39	1.080	19.33
1.021	5.33	1.051	12.62	1.081	19.55
1.022	5.58	1.052	12.86	1.082	19.78
1.023	5.83	1.053	13.10	1.083	20.00
1.024	6.07	1.054	13.33	1.084	20.23
1.025	6.32	1.055	13.57	1.085	20.45
1.026	6.57	1.056	13.81	1.086	20.67
1.027	6.82	1.057	14.04	1.087	20.89
1.028	7.06	1.058	14.27	1.088	21.12
1.029	7.31	1.059	14.51	1.089	21.34

ANEXO IV: Notas biográficas de inventores

I.- Abbè, Ernst (1840 – 1905). Físico, Matemático y astrónomo alemán; nacido en Eisenach, destacado por sus trabajos en el campo de la óptica, fue de los primeros en comprender la importancia de las propiedades de la luz y con ello aprovechar las ventajas que daban los rayos refractados, diseño cristales para eliminar los errores de los microscopios, fabrico el refractómetro que hoy lleva su nombre para la medición de los grados Brix de una sustancia. No solo era conocido como científico sino también como una persona altruista, y el primer empresario en establecer jornadas de 8 horas.



Figura 39: Ernst Abbe
(Moreno & Ramírez, 1999)

II.- Iliá Ilich Méchnikov (1845-1916) Premio Nobel de medicina 1908; fue un Médico y biólogo Ruso, el cual admiraba la Teoría Evolutiva de *Darwin*. Realizo diversos trabajos en diferentes campos de la zoología, embriología, microbiología, patología y antropología. Entre sus obras destacadas encontramos: *Patología comparada de la inflamación* (1893), *La naturaleza del hombre* (1903), *La inmunidad en las enfermedades infecciosas* (1905), *La prolongación de la vida* (1908).

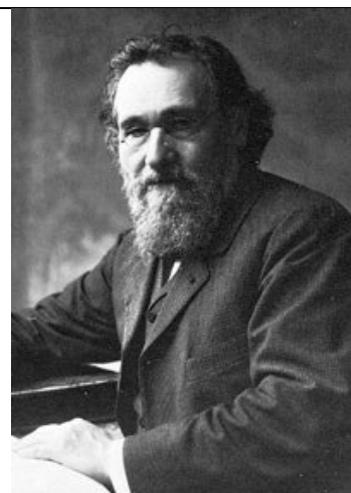


Figura 40: Iliá Ilich
Méchnikov
(Fresquet, 1996-1997)

IV.- Carl Joseph Napoleon Balling (1805-1868).

Químico y experto en metalurgia. Entre los años de 1866 a 1868 fue rector de la Universidad Politécnica de Praga. Balling fue uno de los fundadores de la química de fermentación, científico y promotor del desarrollo de la industria azucarera en Bohemia. En 1843 inventó el hidrómetro, el cual fue nombrado después como sacarímetro Balling, este invento determina la concentración de azúcar en soluciones acuosas. Este sacarímetro también se introdujo en la industria cervecera para poder establecer una relación matemática entre el alcohol y la gravedad específica.



Figura 41: Carl Balling

V.- Fritz Plato. (1858-1938) Químico Alemán.

Director del Instituto Alemán de Pesas y Medidas. En 1900 publica su trabajo sobre grados plato($^{\circ}P$), basada en el trabajo de Carl Balling. Estos grados sirven para relacionar la gravedad específica con los grados de alcohol en la cerveza.

VI.- Antoine Baumé (1728-1804) Químico francés, inventor del densímetro, este instrumento nos sirve para medir la densidad relativa de los líquidos, en ahora conocidos Grados Baume.



Figura 42: Antoine Baume (Netto, 2000)

VII.- Carl Zeiss (1816 - 1888) Médico y empresario Alemán nacido en *Weimar*, el cual fundó una empresa dedicada a la fabricación y reparación de instrumentos ópticos. Fue reconocido a nivel mundial por la gran calidad con la que fabricaba sus lentes. Esto le permitió desarrollar los primeros lentes para las cámaras fotográficas que en esos momentos iniciaban su desarrollo.



Figura 43: Carl Zeiss (Moreno & Ramírez , 1999)