

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA



**Universidad de El Salvador**

*Hacia la libertad por la cultura*

VALIDACIÓN DE LA DETERMINACIÓN DE ÍNDICE DE REFRACCIÓN DE  
MUESTRAS DE VIDRIOS PROVENIENTES DE PARABRISAS DE  
VEHÍCULOS AUTOMOTORES

TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR:  
ROSALINA DEL CARMEN LIZAMA GAITÁN

16 DE FEBRERO  
DE 1841

PARA OPTAR AL GRADO DE:  
LICENCIATURA EN QUÍMICA Y FARMACIA

MAYO DE 2007

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMERICA.



**©2004, DERECHOS RESERVADOS**

Prohibida la reproducción total o parcial de este documento,  
sin la autorización escrita de la Universidad de El Salvador

<http://virtual.ues.edu.sv/>

**SISTEMA BIBLIOTECARIO, UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

## **UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

### **Rectora**

Dra. María Isabel Rodríguez

### **Secretaria general**

Licda. Alicia Margarita Rivas de Recinos

## **FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA**

### **Decano**

Lic. Salvador Castillo Arévalo

### **Secretaria**

MSc. Miriam del Carmen Ramos de Aguilar

## **COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN**

### **Coordinadora General**

Licda. María Concepción Odette Rauda Acevedo.

### **Asesora de Área de Gestión Ambiental: Calidad Ambiental**

Licda. Cecilia Haydeé Gallardo de Velásquez

### **Asesora de Área de Control de Calidad de Productos Farmacéuticos, Cosméticos y Veterinario**

Licda. Zenia Ivonne Arévalo de Márquez

### **Docentes Directores**

Licda. María Luisa Ortiz de López

Lic. Manuel Antonio Campos Escoto

## **AGRADECIMIENTOS**

**A DIOS TODO PODEROSO**, por darme la fortaleza para seguir adelante con mis propósitos y por iluminarme para tomar mis decisiones.

**A MIS PADRES**; por su apoyo constante durante toda mi vida.

**A MIS DOCENTES DIRECTORES**; por su tiempo, dedicación y conocimientos aportados para la realización de este trabajo.

**A LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**; por ser parte importante en la formación de los conocimientos que me permitieron culminar mi carrera profesional.

**A LA DIVISIÓN POLICÍA TÉCNICA CIENTÍFICA**, en especial al área de físico-químico por el interés brindado para la realización de este trabajo.

Rosalina del Carmen Lizama Gaitán

## **DEDICATORIA**

**A DIOS TODO PODEROSO Y A LA VIRGEN MARÍA;** Por regalarme el tiempo necesario para poder cumplir una de mis metas y guiarme para poder terminar mi carrera.

**A MIS PADRES;** por haberme apoyado siempre incondicionalmente para lograr este propósito y enseñarme a valorar lo que DIOS me ha dado, los quiero mucho.

**A MIS HERMANOS;** por su comprensión, paciencia y apoyo incondicional, por su cariño y buenos ejemplos, los quiero mucho.

**A MIS TIOS;** en especial a Carlos Lizama por estar cerca de mi cuando lo necesite y por su apoyo incondicional.

**A MIS PRIMOS;** en especial a Taofitt Lizama y Edgar Lizama , quienes me han apoyado de cierta forma.

**A MIS COMPAÑERAS DE LA UNIVERSIDAD;** Sofía Tobar y Cristina Déras, por sus palabras de ánimo y apoyo.

Rosalina del Carmen Lizama Gaitán

## INDICE

Contenido	No. Pág.
Resumen	
Capitulo I	
1.0 Introducción	xix
Capitulo II	
2.0 Objetivos	23
Capitulo III	
3.0 Marco Teórico	25
3.1 Definición de vidrio	25
3.2 Breve reseña histórica	26
3.3 Fabricación del vidrio	27
3.4 Clasificación de los vidrios	29
3.4.1 Vidrio plano	30
3.4.2 Vidrio flotado	31
3.4.3 Vidrio templado	32
3.4.4 Vidrio laminado	32
3.4.5 Vidrio sódico cálcico	33
3.4.6 Vidrio de plomo	34
3.4.7 Vidrio de borosilicato	35
3.4.8 Vidrio de sílice	35
3.4.9 Vidrio de seguridad	36

3.5 Vidrio como evidencia	37
3.6 Composición química del vidrio	38
3.6.1 Composición elemental	38
3.7 Propiedades físicas del Vidrio	40
3.7.1 Comparación del grosor	40
3.7.2 Comparación del color y la densidad	41
3.7.3 Comparación del índice de refracción	41
3.8 Índice de refracción	42
3.8.1 Definición	42
3.8.2 Medida del índice de refracción en vidrios	44
3.8.2.1 Descripción del equipo y procedimiento	44
3.8.2.2 Filtros para la medida del $IR_{\mathcal{R}}$	44
3.8.2.3 Platina calefactora	45
3.8.2.4 Zonas de medida de la interfase vidrio – aceite	45
3.8.2.5 Calibración	46
3.8.2.6 Algoritmo empleado en la calibración (mínimos cuadrados)	47
3.8.3 Índice de refracción de un vidrio	47
3.9 Validación de un método analítico	48
3.9.1 ¿Qué es validación?	48
3.9.1.1 Exactitud	49
3.9.1.2 Precisión	49

3.9.1.3 Especificidad	49
3.9.1.4 Linealidad	49
3.9.1.5 Rango	50
Capitulo IV	
4.0 Diseño Metodológico	52
4.1 Investigación bibliográfica	52
4.2 Investigación de campo	52
4.2.1 Toma de muestra	52
4.2.2 Procedimiento	53
4.3 Parte experimental	53
4.3.1 Preparación de la muestra	54
4.3.2 Preparación de la curva de calibración	54
4.3.2.1 Calculo de $IR_{\mathcal{R}}$ para estándares de vidrio	56
4.3.3 Aplicación de la prueba "Q"	57
4.3.4 Cálculo de exactitud	58
4.3.5 Cálculo de precisión	58
4.3.6 Cálculo de linealidad	59
4.3.7 Cálculo de límites de confianza	61
4.3.8 Aplicación de la prueba t de Student	62
4.3.9 Aplicación de la prueba F	63

Capítulo V	
5.0 Resultados y Análisis	67
5.1 Cálculo de índice de refracción a partir de temperaturas de equilibrio prácticas para estándares de vidrio usando datos de tabla.	67
5.2 Elaboración de curva de calibración utilizando datos promedios de los estándares	75
5.3 Aplicación de estadístico de prueba para contraste de hipótesis utilizando valores de temperatura de equilibrio promedio de estándares de vidrio analizados en diferentes fechas por diferentes analistas.	77
5.4 Cálculo de parámetros de validación	79
5.5 Determinación del índice de refracción de muestras de vidrio utilizando temperaturas de equilibrio y los valores de m y b calculados con datos de curva de calibración.	83
5.6 Aplicación de prueba t y prueba F para comparación de medias y desviaciones estándares para muestras 1 y 2 de cada vehículo.	86
Capítulo VI	
6.0 Conclusiones	120

## Capítulo VII

### 7.0 Recomendaciones

123

Bibliografía

Glosario

Anexos

## INDICE DE ANEXOS

Anexo No.

1. Lecturas de temperatura recolectadas durante el análisis para estándar B-1.
2. Lecturas de temperatura recolectadas durante el análisis para estándar B-3.
3. Lecturas de temperatura recolectadas durante el análisis para estándar B-4.
4. Lecturas de temperatura recolectadas durante el análisis para estándar B-7.
5. Lecturas de temperatura recolectadas durante el análisis para estándar B-8.
6. Hoja recolectora de datos de muestras de vidrios provenientes de parabrisas de vehículos automotores.
7. Valores críticos de F para una prueba de dos colas ( $P = 0.05$ )
8. Valores críticos para la distribución t.
9. Tabla de distribución t de Student
10. Grado de representatividad de la media, para distintos coeficientes de variabilidad.
11. Tablas de referencia para índices de refracción de vidrios ópticos para calibración de HOT STAGE (estándares B-1, B-3, B-4, B-7, B-8 ).

12. Toma de muestra de vidrio del parabrisa de un vehículo en Shangayo.
13. Equipo utilizado para la determinación de temperatura de equilibrio.
14. Análisis de vidrio realizado en el área de físico químico de la DPTC.
15. Fragmento de vidrio observado a través del microscopio.
16. Fabricación del vidrio.
17. Valores críticos para el coeficiente de rechazo Q.
18. Materiales utilizados.

## INDICE DE FIGURAS

Figura No.

1. Gráfica que representa la diferencia entre ángulos del haz incidente y el haz refractado.
2. Platina calefactora.
3. Esquema de lectura para determinar temperatura de equilibrio.
4. Curva de calibración con 5 estándares.
5. Curva de calibración para estándares analizados por la DPTC.
6. Toma de muestras de vidrio del parabrisa de un vehículo en Shangallo.
7. Equipo utilizado para la determinación de temperaturas de equilibrio.
8. Análisis de vidrio realizado en el área de físico química de la DPTC.
9. Fragmento de vidrio observado a través del microscopio.
10. Fabricación del vidrio.

## ABREVIATURAS

$IR_{T a T_{i \text{ tabla}}}$  : índice de refracción teórico a temperatura inferior de tabla.

$IR_{T a T_{s \text{ tabla}}}$  : índice de refracción teórico a temperatura superior de tabla.

$IR_{PI}$  para TEQ: índice de refracción práctico interpolado para la temperatura de equilibrio.

$IR_{PI} - IR_{PI \text{ prom}}$  : índice de refracción práctico interpolado menos el valor promedio de éste.

$IR_{\text{prom1}}$ : índice de refracción promedio para la muestra uno.

$IR_{\text{prom2}}$ : índice de refracción promedio para la muestra dos.

$n_1$  : número de observaciones realizadas para la muestra uno.

$n_2$  : número de observaciones realizadas para la muestra dos.

$S$ : desviación estándar.

$S_1$ : desviación estándar de la muestra uno.

$S_2$ : desviación estándar de la muestra dos.

$T_1$ : temperatura cuando el fragmento de vidrio comienza a desaparecer de la interfase vidrio-aceite.

$T_2$  : temperatura cuando el fragmento de vidrio aparece nuevamente a la interfase vidrio-aceite.

$TEQ$  : temperatura de equilibrio (cuando el fragmento de vidrio ha desaparecido completamente de la interfase vidrio-aceite).

$T_{i \text{ tabla}}$  : temperatura inferior de tabla entre la cual se encuentra la TEQ.

$T_{s \text{ tabla}}$  : temperatura superior de tabla entre la cual se encuentra la TEQ.

**TEQ \*  $IR_{PI}$  para TEQ:** temperatura de equilibrio multiplicado por el  $IR$  práctico interpolado para la temperatura de equilibrio.

**TEQ<sup>2</sup>:** temperatura de equilibrio elevada al cuadrado.

**( $IR_{PI}$  para TEQ)<sup>2</sup>:** índice de refracción práctico interpolado para la temperatura de equilibrio elevado al cuadrado.

**OC:** porcentaje de confianza para las muestras analizadas con las pruebas de comparación de medias y desviaciones estándar.

**DPTC:** División Policía Técnica Científica.

**PNC:** Policía Nacional Civil.

**$IR$ :** Índice de Refracción.

## RESUMEN

La década de los ochenta fue dónde la clasificación de pequeños fragmentos de vidrio se investigo; según estudios canadienses esta década ha sido testigo de cambios en la tecnología y filosofía asociada con la comparación forense de vidrios, así como de exigencias en la administración de justicia.

Por lo tanto la División Policía Técnica y Científica (DPTC) de la PNC, propone realizar el presente trabajo, debido al número de evidencias consistentes en fragmentos de vidrio que reciben en su laboratorio para ser analizados y determinar su origen relacionado a un vehículo.

El desarrollo de éste trabajo consiste en validar bajo las condiciones propias del laboratorio de la DPTC, la determinación de índice de refracción en muestras de vidrio y poder establecer un origen común entre una muestra sospechosa y una de origen conocido, garantizando que la metodología analítica proporciona datos confiables.

El proceso analítico del trabajo consiste en seleccionar de forma aleatoria, diez vehículos que presentan el parabrisa quebrado; dichos vehículos se encuentran en el parqueo de la Policía Nacional Civil que se encuentra en hacienda Shangallo del Cantón Shangallo, Ilopingo, donde alojan los vehículos involucrados en accidentes de tránsito.

De los vehículos seleccionados se tomaron muestras por duplicado de diferentes partes del parabrisa quebrado y se colocaron en cajas metálicas,

debidamente selladas y rotuladas con la información que identifica al vehículo por la asignación de un código.

El proceso experimental se llevó a cabo utilizando el equipo de Determinación de Índice de Refracción con HOT – STAGE marca METTLER modelo FP 82HT. Se utilizaron cinco estándares de vidrio (B-1, B-3 , B-4, B-7, B-8) para elaborar una curva de calibración, que permita obtener por medio de una interpolación el índice de refracción ( $IR$ ) de las muestras procedentes de los vehículos, utilizando las temperaturas de equilibrio. Los índices de refracción de las muestras fueron analizados de forma estadística, aplicando la prueba “Q” para descartar datos anómalos si los hubiera; luego se aplica la prueba  $t$  y prueba  $F$ , para comparar las medias y las desviaciones estándares respectivamente de las muestras procedentes de una misma fuente; utilizando un grado de confianza del 95% para establecer si existe diferencia significativa entre las muestras.

**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

## 1.0 INTRODUCCIÓN

La División de la Policía Técnica y Científica de la Policía Nacional Civil, con el fin de asegurar la calidad de los datos que se generan en los análisis que se realizan en muestras de vidrios provenientes de vehículos automotores, relacionados a un hecho delictivo, establece que se desarrolle el proceso de validación de la determinación del Índice de Refracción de muestras de vidrio, como una estrategia del aseguramiento de la calidad, para brindar información fiable y segura para una buena administración de justicia.

La validación es el proceso establecido para la obtención de pruebas documentadas y demostrativas de que un método de análisis, es suficientemente fiable y reproducible para generar el resultado previsto, dentro de intervalos definidos. La validación proporciona un alto grado de confianza y seguridad del método analítico. Según la USP 25 la validación de un método analítico es el proceso por el cual se establece, a través de estudios de laboratorio que las características de desempeño de un método cumplen los requerimientos para las aplicaciones analíticas pretendidas.

El presente trabajo tiene como objetivo validar la determinación de Índice de Refracción ( $IR$ ), el cual se realiza bajo las condiciones de laboratorio de la División Policía Técnica y Científica de la PNC, en la cual se diseñó una curva de calibración con estándares de vidrio de índices de refracción conocidos, que se reportan en tablas para calibración con Hot Stage; estas tablas muestran los valores de  $IR$  partiendo de una temperatura de 20°C hasta 120°C, con una variación de 5°C para cada valor de  $IR$  a una longitud de onda de 589.3nm.

Se recolecto una muestra representativa por duplicado de vidrios provenientes de diez vehículos automotores que presentan los parabrisas quebrados, posiblemente involucrados en algún accidente de tránsito; que se encuentran detenidos en el parqueo de vehículos de la Policía Nacional Civil ubicado en hacienda Shangallo y Cantón Shangallo del municipio de Ilopango, San Salvador.

Se tomaron dos muestras de vidrio debidamente codificadas de diferentes partes de los parabrisas de diez vehículos que presentan el parabrisa quebrado, a estos se les anoto los datos de: marca, modelo y número de VIN, luego en las instalaciones de la División Policía Técnica y Científica, se determino el índice de refracción utilizando el equipo para determinación de Índice de Refracción con Hot Stage; de las muestras de vidrio seleccionadas, se hicieron diez lecturas por cada muestra de vidrio a la longitud de onda de 589.3 nm, y con la temperatura de equilibrio resultante, se interpoló en la curva de calibración diseñada para determinar el índice de refracción correspondiente.

Con el valor de los índices de refracción resultante para cada muestra, se determina la exactitud, la precisión, linealidad, límites de confianza, los criterios de aceptación y rechazo y se interpretarán los resultados.

Con el presente trabajo de investigación daremos un aporte de parte de la facultad de Química y Farmacia al desarrollo científico de la División Policía Técnica y Científica de la Policía Nacional Civil, como un apoyo a la buena administración de justicia en El Salvador.

## **CAPÍTULO II**

### **OBJETIVOS**

## 2.0 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL:

Validar la determinación de índice de refracción de muestras de vidrio provenientes de parabrisas de vehículos automotores.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- 2.2.1 Seleccionar los estándares de vidrio tipo B.
- 2.2.2 Diseñar una curva de calibración con los estándares de vidrio tipo B a la longitud de onda de 589.3 nm.
- 2.2.3 Recolectar una muestra representativa de vidrios provenientes de parabrisas quebrados de vehículos automotores.
- 2.2.4 Determinar el Índice de Refracción para cada muestra seleccionada.
- 2.2.5 Establecer exactitud, precisión, linealidad, límites de confianza, criterios de aceptación y/o rechazo e interpretar los resultados obtenidos.

**CAPÍTULO III**  
**MARCO TEÓRICO**

### 3.0 MARCO TEORICO

#### 3.1 DEFINICIÓN DE VIDRIO:

El especial comportamiento de los vidrios y las peculiaridades de su estado físico, si bien les proporcionan ciertas analogías con los sólidos cristalinos, les asemeja mucho más a los líquidos, lo que no permite enunciar con rigor una definición basada en conceptos físicos y estructurales. <sup>(1)</sup>

Por otra parte, la complejidad de la mayoría de los vidrios y la diferente naturaleza química de los mismos impiden definirlos atendiendo a su composición. En el aspecto tecnológico, sus campos de aplicación son tan diversos que tampoco es fácil llegar a una unificación de criterios desde el punto de vista utilitario. <sup>(1)</sup>

A estas limitaciones se debe el que todas las definiciones propuestas resulten mas o menos incompletas:

- Morey propone la siguiente definición: “Vidrio es un producto inorgánico amorfo constituido predominantemente por sílice; duro, frágil y transparente, de elevada resistencia química y deformable a alta temperatura”. <sup>(5)</sup>
- Definición adoptada por ASTM (Asociación Americana Para Pruebas de Materiales): “Vidrio es un producto inorgánico fundido que se ha enfriado hasta un estado rígido sin experimentar cristalización”. <sup>(5)</sup>

Una definición más amplia es la siguiente:

- Vidrio es una sustancia compacta, físicamente uniforme, que se encuentra en un estado amorfo, que a temperaturas bajas se hace rígida y frágil y a temperaturas elevadas reblandece. (1)

### **3.2 BREVE RESEÑA HISTÓRICA.**

La fabricación del vidrio se remonta a la edad del bronce y del acero. Los egipcios y los fenicios no son pues los primeros hombres que han fabricado piezas de cerámica y de vidriería, pero ellos fueron quienes crearon la industria de estos productos y los perfeccionaron hasta el punto de dejar objetos y monumentos que aparecen todavía a nuestros ojos como notables por su elegancia de formas y su fina y acabada fabricación. (4)

Nos cuenta Plinio que la invención del vidrio debe ser atribuida a los fenicios y fue debida a la casualidad; unos navegantes que transportaban natron (carbonato de sodio) acamparon a orillas del río Belns, y, queriendo hacer fuego sobre una playa de arena para cocer sus alimentos, idearon sostener los utensilios de cocina sobre unos bloques de natron. Es así como observaron la formación de una masa incolora, dura una vez fría, que fue el origen del vidrio. Cualesquiera que sean sus orígenes, los egipcios han sido los primeros maestros de esta industria del fuego; que comprenden la Cerámica y la Vidriería; y conservaron la primacía durante varios milenios. (4)

El vidrio artificial se usa desde hace unos 3500 años, pero paradójicamente la composición ha variado muy poco desde los antiguos a los actuales de botella, aunque los de antes eran más turbios y con impurezas. A lo largo de los siglos poco cambió la fórmula del vidrio, hasta que a finales del XVII en Inglaterra, junto a los óxidos alcalinos se les añadió óxido de plomo, con lo que lograron vidrios más pesados, más claros, más brillantes, más fáciles de cortar y tallar, y que dieron la fama a los vidrios ingleses. (1)

### **3.3 FABRICACION DE VIDRIOS** (13)

El vidrio se hace calentando una mezcla que casi siempre consiste en arena silíceas y óxidos metálicos secos pulverizados o granulados, o compuestos que producen dichos óxidos cuando se calientan.

En el proceso de la fusión se forma un líquido viscoso, se producen burbujas y la masa se hace transparente y homogénea a temperaturas próximas a 1500 °C. Al sacarlo del crisol o del tanque de fusión, el vidrio fundido adquiere una rigidez suficiente, a consecuencia de su enfriamiento momentáneo, para poderle dar forma directamente y transformarlo en diferentes artículos. En los primeros segundos de la operación de darle forma, el vidrio se enfría tanto que se hace lo suficientemente rígido para manipularlo sin que se deforme.

La mezcla usada en la fabricación intermitente suele contener una proporción apreciable de vidrio sobrante de una fusión anterior para facilitar la fusión. Contiene también a menudo uno o varios de los materiales siguientes:

oxidantes, descolorantes; colorantes u opacificantes; y agentes de refinación que ayudan a liberar los gases no disueltos en la masa de vidrio fundido.

Según el método de fabricación se pueden utilizar crisoles de arcilla, en los cuales el contenido de los crisoles puede estar protegido o no contra la atmósfera del horno, según el vidrio que se quiere fundir. Estos crisoles se utilizan hoy mayormente para fabricar vidrios especiales, ya que tienen una capacidad de pocas toneladas de vidrio.

El nuevo tipo de horno de fusión, el horno de tanque, se utiliza hoy para fundir la mayor parte de la producción. Este horno consiste en un gran tanque cerrado hecho con los mejores materiales refractarios, en el cual el combustible puede ser gas o petróleo y se quema dentro del mismo tanque formando enormes llamas que pasan sobre la superficie de la masa de vidrio fundido y sobre las materias primas flotantes aún no fundidas.

Entre los hornos de tanque de uso común están los de una capacidad de 5-10 toneladas para fundir en un día un vidrio que tiene que trabajarse a mano al día siguiente: estos son los llamados tanques de un día.

Algunos hornos continuos tienen capacidad aproximada de 450 toneladas de vidrio, en los cuales se usan máquinas que le dan forma, teniendo así una producción diaria de 250 toneladas.

### 3.4 CLASIFICACIÓN DE LOS VIDRIOS <sup>(1)</sup>

De modo general y atendiendo a la composición química, los vidrios se pueden clasificar de la siguiente forma:

**TABLA No.1. CLASIFICACIÓN DE LOS VIDRIOS SEGÚN SU COMPOSICIÓN QUÍMICA. (1)**

INORGANICOS	MIXTOS (ORGANICOS- INORGANICOS)	ORGANICOS
Elementos No metálicos S, Se Metálicos Au-Si, Pt-Pd, Cu-Au	Algunas siliconas	Glicoles, azúcares, polietileno, poliestireno, policarbonato, polimetacrilato, etc.
Óxidos $\text{SiO}_2$ , $\text{B}_2\text{O}_3$ , $\text{P}_2\text{O}_5$ , $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O}$ , $\text{B}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$		
Calcogenuros $\text{As}_2\text{S}_3$ , $\text{GeSe}_2$ , $\text{P}_2\text{S}_3$		
Halogenuros $\text{BeF}_2$ , $\text{PbCl}_2$ , $\text{AgI}$		
Oxisales $\text{HKSO}_4$ , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(5\text{H}_2\text{O})$ , $\text{Ca}(\text{NO}_3)$		
Oxinitruros $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ , $\text{AlN-Y}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$		

Esta clasificación puede ser útil en algunas ocasiones, pero los vidrios más estudiados en el campo forense son los vidrios de ventanas, tanto de viviendas

como de establecimientos públicos, vidrios de vehículos y envases tales como las botellas.

Debido a estas cuestiones es conveniente conocer algunos tipos de vidrios y sus peculiaridades.

### **3.4.1 Vidrio plano.** <sup>(1)</sup>

A lo largo del siglo XX ha evolucionado el proceso de fabricación de vidrio plano. Los diseños industriales se basan en un baño de vidrio fundido del que se extrae una lámina mediante estirado y posteriormente se enfría con aire.

El sistema Pittsburgh emplea un baño de vidrio fundido, con una pieza de material refractario sumergida a unos 70 mm por debajo del nivel y situada inmediatamente debajo de la línea de estirado. Esta hoja actúa como pantalla térmica que protege la hoja de vidrio en la línea de iniciación, a la vez que permite el mantenimiento de una temperatura más elevada del vidrio en el pozo de estirado, reduciendo el riesgo de que se produzcan desvitrificaciones. Al salir del baño fundido, la hoja pasa entre unos refrigerantes metálicos enfriados por una intensa corriente de aire y alcanza su rigidez antes de que pueda iniciarse su retracción.

Este vidrio plano fabricado por colada y laminación resulta traslúcido y con numerosas irregularidades superficiales por ambas caras. Este producto intermedio de fabricación, denominado hoja bruta, requiere ser sometido por ambas caras a un proceso de desbaste y pulido para alcanzar la planicidad, el

paralelismo y el grado de transparencia, exenta de cualquier distorsión óptica, que exigen los usos a los que va a ser destinado (espejos, acristalamientos de vehículos, etc.).

Los trenes continuos, tanto de desbaste como de pulido, requieren una elevada inversión económica, grandes costos de mantenimiento y de consumo energético que han determinado su sustitución por el vidrio flotado.

### **3.4.2 Vidrio flotado.** <sup>(1)</sup>

En el año 1959 la firma Británica Pilkington Brothers dio a conocer un nuevo procedimiento de fabricación que ha llegado hasta nuestros días.

El vidrio se funde en un horno balsa de grandes dimensiones y después cae por desbordamiento por un amplio canal, formando una lámina continua que, después es enfriada hasta unos 1150 °C y se deposita sobre un baño de estaño de unos 30cm de profundidad, que se mantiene en una atmósfera reductora para evitar su oxidación. Esta queda flotando sobre el estaño y avanza horizontalmente.

El resultado es la obtención de una lámina de vidrio pulida por ambas caras, sin necesidad de ser sometida a ninguna operación posterior de desbaste y pulido.

### **3.4.3 Vidrio templado.** <sup>(1)</sup>

El vidrio plano puede ser procesado mediante un tratamiento térmico. De esta forma se consigue un producto duro de romper que se denomina en algunas ocasiones como “vidrio de seguridad”. En caso de roturas, esta se produce en pequeños dados exentos de bordes puntiagudos.

El tratamiento térmico, consiste en un enfriamiento muy rápido de la lámina de vidrio recién formada, aplicando dos chorros de aire muy frío en ambos lados del mismo.

Este enfriamiento rápido desde las superficies al interior produce una tensión central en toda la lámina. Cuando comienza una rotura, el vidrio se rompe en multitud de fragmentos con el fin de eliminar inestabilidad que posee.

Dados de este tipo de vidrios pueden aparecer en los bolsillos o la ropa y se pueden identificar con facilidad porque su sección transversal presenta una característica, banda central y unos cortes curvados a ambos lados.

### **3.4.4 Vidrio laminado.** <sup>(1)</sup>

Este tipo de vidrio está compuesto por una fina lámina de polivinil butiral (PVB) entre dos hojas de vidrio plano.

Las dos láminas de vidrio pueden proceder de un mismo palet, con lo cual no existen diferencias de composición entre ambas, o pueden proceder de distintos palets con lo cual se observan diferencias entre ambas (color, composición, índice de refracción, etc.).

Este tipo de vidrio se emplea en los escaparates de establecimientos públicos y en vehículos de transporte en general.

Los turismos de gama baja y media, poseen normalmente, vidrio templado en las ventanillas laterales y vidrio laminado en el parabrisas delantero y trasero, sin embargo, los coches de gama alta poseen vidrio laminado en ventanillas y parabrisas. Existen excepciones a esta regla.

Cuando este vidrio se rompe, se mantiene fragmentado sin derrumbarse, mantenido por la lámina de plástico, posee menos resistencia al golpe que el vidrio templado, pero protege a las personas.

#### **3.4.5 El vidrio sódico-cálcico** <sup>(6)</sup>

Está formado por sílice, sodio y calcio principalmente. La sílice es parte de la materia prima básica, el sodio le da cierta facilidad de fusión y el calcio la provee de estabilidad química. Sin el calcio el vidrio sería soluble hasta en agua y prácticamente no serviría para nada.

Este tipo de vidrio es el que se funde con mayor facilidad y el más barato. Por eso la mayor parte del vidrio incoloro y transparente tiene esta composición. Las ventanas de los edificios, desde la más grande hasta la más pequeña están hechas con este vidrio. Lo único que cambia de una diminuta ventana a un ventanal de enormes dimensiones es el espesor. Está tan estudiado el grosor en relación con el tamaño, que hay una clasificación y una reglamentación para el tipo de vidrio que se debe usar en cada construcción.

La resistencia química del vidrio sódico-cálcico se ha mejorado en años recientes al aumentar la proporción del sílice, porque ésta es poco reactiva. También se aumenta la fortaleza a lo que se conoce como choque térmico.

#### **3.4.6 El vidrio de plomo.** <sup>(6)</sup>

Es igual de transparente que el vidrio sódico-cálcico, pero mucho más denso, con lo cual tiene mayor poder de refracción y de dispersión; aquí se sustituye el óxido de calcio por óxido de plomo. Es un vidrio blando a baja temperatura que permanece con cierta plasticidad en un rango de temperatura, lo cual permite trabajarlo y grabarlo con facilidad ya que funde a temperaturas más bajas que el sódico-cálcico.

Estos vidrios dispersan la luz de todos los colores. Son excelentes lentes para cámaras fotográficas porque con una corrección mínima dan luz de todos los colores y la enfocan de manera uniforme en el plano de la película. Si no fuera así, unos colores serían más intensos que otros en una fotografía, y no se lograrían imágenes tan reales.

El vidrio de plomo también tiene una proporción de potasio. El potasio hace que el material sea más quebradizo, pero el plomo resuelve el problema. Este tipo de vidrio, con estas propiedades tan peculiares, fue inventado cuando se trataba de resolver el problema de la fragilidad del vidrio con potasio. Como te podrás imaginar, es más caro que el anterior.

### **3.4.7 El vidrio de borosilicato.** <sup>(6)</sup>

Nació en 1912. Después de la sílice, su principal componente es el óxido de boro. Es prácticamente inerte, más difícil de fundir y de trabajar.

Tiene alta resistencia a cambios bruscos de temperatura, pero no tan alta como la del vidrio de sílice puro, pues aun cuando presenta el mismo tipo de vibración, la longitud de los enlaces varía más cuando está presente el boro y el material tiene un coeficiente de dilatación mayor. Por eso se utiliza en la elaboración de utensilios de cocina para el horno y de material de laboratorio, pues es muy resistente al calor y a los cambios bruscos de temperatura. Estos objetos no se hacen de vidrio de sílice puro porque su manufactura es complicada, ya que tienen que alcanzar temperaturas de 1650°C para hacerlo.

### **3.4.8 El vidrio de sílice.** <sup>(6)</sup>

Los vidrios que contienen 96% de sílice tienen una estabilidad tan grande y una temperatura de reblandecimiento tan elevada (1500°C) que soportan temperaturas hasta de 900°C durante largo tiempo.

Por todas estas propiedades se utilizan en la fabricación de material de laboratorio, que requiere una resistencia excepcional al calor, como sucede con los crisoles, los tubos de protección para termopares, los revestimientos de hornos, las lámparas germicidas y los filtros ultravioletas.

La sílice es un material elástico casi perfecto. Cuando se deforma debido a una fuerza externa, rápidamente regresa a su forma original. No pierde su estructura

química ni siquiera con el calor, razón por la cual este tipo de vidrio es el más cotizado.

#### **3.4.9 El vidrio de seguridad.** <sup>(6)</sup>

El vidrio que se utiliza en los coches es de seguridad, y evita que en un accidente se corran mayores riesgos cuando llega a romperse.

A la hora de elaborarlos se suele poner una placa de plástico transparente entre dos láminas de vidrio, lo cual, además de hacerlo más resistente, lo hace más seguro, porque al romperse se fraccionará en numerosos trozos pequeños, sin producir astillas, evitando con esto que queden pedazos de vidrio cortantes.

Los conocidos vidrios antibalas, ofrecen seguridad contra asaltos o ataques terroristas. Quizá te resulte difícil imaginar que en verdad existe un vidrio tan resistente que soporte el impacto de las balas, pero sí existe. Se conoce con el nombre de vidrio de seguridad combinado, y está formado por dos o más placas entre las que se colocan láminas de plástico, que actúan como planchas de unión. Todas las capas prensadas se pasan a un autoclave, sometiéndolas a altas presiones y temperaturas. Así se forma una unidad de elevada resistencia que no pierde su transparencia, y que en efecto es a prueba de balas. En general son vidrios muy gruesos. Cada capa intermedia tiene alrededor de 0.40 mm de espesor, y puede tener muchas.

### **3.5 VIDRIO COMO EVIDENCIA.**

El vidrio roto en la escena de un crimen puede ser evidencia física importante, el examen de este puede establecer la manera en que el crimen fue cometido y el análisis de laboratorio más tarde podría atar a un sospechoso directamente al crimen. La evidencia de vidrio normalmente se encuentra en robos, golpes, ejecuciones, accidentes, tiroteos y ataques. (10)

La interpretación de la información que proporcionan los fragmentos de vidrio encontrados en la escena del crimen se realiza mediante observaciones directas del vidrio y se complementa con un examen de laboratorio. El examen de una hoja de vidrio rota en la escena del robo puede establecer si el vidrio está roto de fuera o dentro del edificio; este conocimiento podría ser importante cuando la sospecha de un robo falsificado se levanta. Adicionalmente, huellas digitales, evidencia del rastro que adhiere al vidrio, y partículas de vidrio que pegan al sospechoso pueden ayudar a conectarlo a la escena del crimen. (10)

De igual forma el vidrio recuperado de un accidente en el cual el vehículo involucrado se encuentra huyendo, puede ayudar a identificar qué parte del vehículo huyendo fue dañada, armando un rompecabezas de la pieza rota con el vehículo sospechoso. Después, vidrio de la escena puede compararse físicamente con vidrio de un vehículo sospechoso. (10)

El laboratorio puede usar varios métodos diferentes de examen para hacer comparaciones, estos exámenes incluyen: índice de refracción, dispersión, densidad y análisis espectrofotométrico. El análisis para comparar muestras de

vidrio se realiza mediante varias etapas; llevándose a cabo de forma inicial aquellas que no requieren métodos destructivos como son: comparación de grosor y color, análisis macroscópico y microscópico para determinar el tipo de vidrio según su fabricación, comparación de las características fluorescentes, determinación del gradiente de densidad y como prueba final la determinación del índice de refracción.

### **3.6 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL VIDRIO. <sup>(1)</sup>**

En el campo policial, interesa conocer si uno o varios fragmentos, encontrados en un lugar o en la ropa de una persona, proceden originariamente de los restos de una pieza, hallada en el lugar de los hechos, con objeto de relacionar a un individuo con este lugar.

El análisis químico puede servir de guía para este tipo de fragmentos. Para ello hemos de conocer la homogeneidad química de la pieza estudiada.

#### **3.6.1 Composición elemental.**

Las diferencias observadas en el índice de refracción de un vidrio pueden deberse a variaciones en los componentes mayoritarios:

- Variaciones de un 30 % de Silicio
- Variaciones de un 8 % de sodio
- Variaciones de un 8 % de calcio
- Variaciones de un 2 % de magnesio
- Variaciones de un 1,5 % de potasio

Pero para discriminar dos vidrios del mismo tipo, con iguales índices de refracción e iguales densidades, se pueden medir las diferencias de composición de elementos minoritarios, aluminio y hierro (entre el 0.3 y el 1%) y elementos traza como el bario, manganeso, titanio, estroncio y zirconio cuyas concentraciones son menores del 0,1%.

Las técnicas instrumentales empleadas habitualmente son SEM-EDX, fluorescencia de rayos X y plasmas de acoplamiento inductivo, ópticos o con detectores de masas ICP-AES ICP-MS.

La mayoría de los laboratorios forenses no disponen de todas estas técnicas a la vez, debido a su alto costo y a la elevada inversión de tiempo que requiere la especialización del personal.

Por otra parte, en las últimas cuatro décadas ha habido muchos cambios en la fabricación del vidrio. La calidad de los vidrios actuales es muy elevada y los procesos controlados por ordenador, han dado como resultado una fabricación muy homogénea de vidrios por plantas diferentes. Como resultado, cada vez resulta más difícil diferenciar vidrios usando técnicas como la medida del índice de refracción o el grosor.

Debido a esto, se ha creado una escuela secundaria que considera el análisis elemental como una herramienta muy potente, que a veces es necesaria para distinguir pequeñas diferencias. Su uso se evalúa dependiendo de los casos, ya que estas técnicas son costosas y destructivas.

### **3.7 PROPIEDADES FÍSICAS DEL VIDRIO.**

Como ya se mencionó algunos de los tipos de vidrio y sus diferentes procesos de fabricación, podemos deducir que el vidrio además de presentar diferencia en su composición química, también presenta diferentes propiedades físicas; entre ellas se incluyen las siguientes:

#### **3.7.1 Comparación del grosor.**

Si disponemos de una muestra lo suficientemente grande, podemos medir el grosor del vidrio. El equipo necesario es un pie de rey.

Por su sencillez y debido a que es una prueba no destructiva, este ensayo es el primero que se recomienda para descartar rápidamente dos trozos de vidrio de diferente origen. (2)

Algunos estudios indican que el grosor de los vidrios de los coches varía ligeramente del borde a el centro debido a la curvatura que se les da en el proceso de fabricación. Las desviaciones estándar de estudios realizados, oscilan de 0.004 a 0.013 mm, para vidrios flotados y desde 0.013 hasta 0.037 mm para vidrios no flotados. (1)

### **3.7.2 Comparación del color y la densidad.** <sup>(1)</sup>

El color de los vidrios se puede comparar bajo luz visible o ultravioleta. La lectura del color es conveniente hacerla mediante un espectrofotómetro con objeto de obtener resultados objetivos.

El estudio de densidades se hace normalmente mediante la fabricación de probetas de gradientes de densidad.

Otra forma de medir la densidad, es introducir el vidrio a estudiar en un líquido con menor densidad que el vidrio (dibromometano), después se añaden cantidades de otro líquido (bromoformo), miscible con el anterior y con menor densidad hasta que el vidrio flota. En este momento el vidrio posee la misma densidad que en la mezcla donde está sumergido. Un líquido alternativo (menos tóxico), es agua con sales de wolframio, progresivamente se le añade agua.

La medida del índice de refracción (mucho más sensible), ha sustituido a la técnica de medida de la densidad.

### **3.7.3 Comparación del índice de refracción.** <sup>(1)</sup>

El índice de refracción es la medida física más sensible en el cotejo de vidrios. El índice de refracción se mide mediante un microscopio de luz transmitida, con un filtro para resaltar las fases y otro filtro de luz monocromática (589.3 nm) ya que el  $n_{\mathcal{R}}$  depende de la longitud de onda.

Los vidrios molidos en polvo, se colocan en el porta-muestras, dentro de una platina calefactora y se usa como medio un aceite de silicona, que posee un índice de refracción que varía de forma conocida con la temperatura.

El aceite se va calentando y cuando desaparece la línea de fases (esto se observa con ayuda de un equipo electrónico; GRIM), se asocia el índice de refracción del vidrio al del aceite a la temperatura de equilibrio.

De esta forma podemos conocer el  $IR$  de un vidrio con una precisión de cuatro cifras decimales.

### **3.8 ÍNDICE DE REFRACCIÓN.**

#### **3.8.1 Definición.** <sup>(1)</sup>

Cuando un rayo de luz pasa de un medio a otro, se produce un haz reflejado y otro que se introduce en el nuevo medio, con una dirección ligeramente diferente a la del rayo inicial. El haz refractado además, cambia de velocidad al penetrar en el nuevo medio.

La ley de Snell relaciona los índices de refracción de ambos medios con los ángulos del haz incidente y reflejado:  $n_1 \text{ sen}\theta_1 = n_2 \text{ sen}\theta_2$

Donde:

$n_1$ = Índice de refracción del medio uno.

$n_2$ = Índice de refracción del medio dos

$n = IR$  (índice de refracción)

## Representación gráfica de la ley de Snell

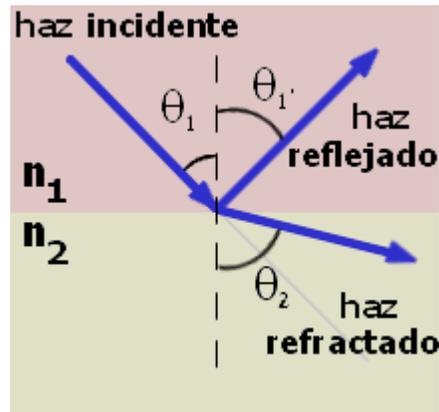


Figura No. 1: gráfica que representa la diferencia entre ángulos del haz incidente y el haz refractado. (1)

El ángulo del haz refractado depende de la longitud de onda. Esta propiedad se usa para separar un rayo policromático en sus diferentes longitudes de onda mediante un prisma de refracción.

Si el ángulo de incidencia es casi paralelo a la interfase de ambos medios, se produce el fenómeno conocido como reflexión total. Esta propiedad se usa para conducir la luz a través de la fibra óptica.

El índice de refracción ( $IR$ ) es la relación existente entre la velocidad de la luz en el vacío ( $3.00 \times 10^8$  m/seg.) y en el medio estudiado:  $IR = V_0/V_m$

$V_0$  es la velocidad de la luz en el vacío y  $V_m$  la velocidad de la luz en el medio.

Como resultado de este cociente, el  $IR$  es adimensional.

### 3.8.2 Medida del índice de refracción en vidrios. <sup>(1)</sup>

#### 3.8.2.1 Descripción del equipo y procedimiento.

El equipo específico para la realización de este ensayo se denomina GRIM (Glass Refraction Index Measure).

El índice de refracción, se mide mediante un microscopio de luz transmitida. La fuente de emisión es una lámpara de wolframio con un filtro especular con un orificio circular, para resaltar las fases y otro filtro de luz monocromática (589.3 nm) ya que el  $n_{\mathcal{R}}$  depende de la longitud de onda.

#### 3.8.2.2 Filtros para la medida del $n_{\mathcal{R}}$ .

Los vidrios molidos en polvo, se colocan en el porta-muestras, usando como medio de inmersión, un aceite especial de silicona. Se disponen normalmente de tres tipos de aceite que se usan dependiendo del origen del vidrio a estudiar:

**TABLA No. 2: CLASIFICACIÓN DE LOS ACEITES SEGÚN EL TIPO DE VIDRIO QUE SE ANALIZA. <sup>(1)</sup>**

TIPO	APLICACIONES
A $n_{\mathcal{R}}$ (1.560-1.525)	Ventanas antiguas y algunos envases de vidrio.
B $n_{\mathcal{R}}$ (1.525-1.510)	La mayor parte de los vidrios que se reciben en un laboratorio de Criminalística; ventanas, envases y lámparas.
C $n_{\mathcal{R}}$ (1.510-1.460)	Vidrios borosilicatados y otros.

EL portaobjetos, se introduce en una platina calefactora que también posee un pequeño ventilador.

### 3.8.2.3 Platina calefactora.

Ahora, con ayuda del microscopio de fases, buscamos un fragmento con borde recto y con un nivel de contraste suficiente para ajustar sobre el mismo las ventanas de medida.

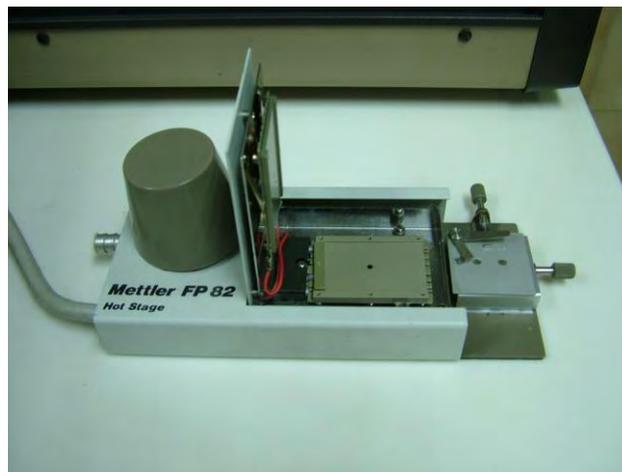


Figura No. 2: platina calefactora.

### 3.8.2.4 Zonas de medida de la interfase vidrio-aceite. (1)

Durante el proceso de medida del  $IR$ , la placa calefactora produce una secuencia de dos rampas de temperatura:

- Una rampa ascendente desde temperatura ambiente (20°C) hasta unos 120°C. El aceite se va calentando progresivamente, cuando desaparece la línea de fases (el punto de equilibrio exacto se observa con ayuda de un equipo electrónico (GRIM )), el índice de refracción del aceite y el del vidrio coinciden. Esta temperatura se denomina temperatura de equilibrio superior.
- Una segunda rampa de temperatura descendente, desde una temperatura ligeramente mayor a la temperatura de equilibrio superior hasta que se observa de nuevo que desaparece la línea de fases. Esta temperatura se denomina temperatura de equilibrio inferior.

La temperatura media de ambas es la temperatura de equilibrio. Mediante una regresión lineal relacionamos esta temperatura con el  $IR_{\mathcal{G}}$  de esta forma podemos conocer el  $IR_{\mathcal{G}}$  de un vidrio con una precisión de cuatro cifras decimales.

#### 3.8.2.5 Calibración. <sup>(1)</sup>

El rango de trabajo está comprendido entre 1.4600 y 1.5600. Este intervalo se consigue mediante tres calibraciones, debido a que se usan tres aceites diferentes A (1.4600-1.5100), B (1.5100-1.5250) y C (1.5250-1.5600).

Por tanto se construyen tres rectas de calibración como la siguiente (una para cada tipo de aceite), para cada una de ellas se usan entre dos y nueve vidrios patrón de  $IR_{\mathcal{G}}$  conocido.

### 3.8.2.6 Algoritmo empleado en la calibración (mínimos cuadrados). (1)

Relaciona, mediante una ecuación lineal el  $I\mathcal{R}$  con la temperatura de equilibrio de fases.

$$I\mathcal{R} = m T + b$$

$I\mathcal{R}$  = índice de refracción.

T = Temperatura de equilibrio donde las fases se igualan (Match temperature)

m = Pendiente de la correlación lineal

b = Ordenada en el origen de la correlación lineal.

Los parámetros m y b se obtienen del siguiente algoritmo:

n = número de puntos de la recta. Para cada aceite es recomendable usar 5 ó 6 vidrios patrón.

$$m = \frac{n \sum_{i=1}^n (T_i I\mathcal{R}_i) - \sum_{i=1}^n (T_i) \sum_{i=1}^n (I\mathcal{R}_i)}{n \sum_{i=1}^n T_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n T_i \right)^2} \quad b = \frac{\sum_{i=1}^n T_i^2 \sum_{i=1}^n I\mathcal{R}_i - \sum_{i=1}^n (T_i) \sum_{i=1}^n (T_i I\mathcal{R}_i)}{n \sum_{i=1}^n T_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n T_i \right)^2}$$

### 3.8.3 Índice de refracción de un vidrio. (1)

El  $I\mathcal{R}$  del aceite, disminuye con la temperatura, por lo tanto, los valores

obtenidos para la pendiente son negativos. Normalmente son del orden de

-0.0004 °C. Esto indica que cada grado de temperatura el  $I\mathcal{R}$  del aceite varía 4

diezmilésimas. El incremento de temperatura durante una calibración es de 100

°C, esto equivale a 0.04 unidades de  $I\mathcal{R}$  lo que supone que le  $I\mathcal{R}$  varía un 1%

del rango de calibración por cada °C de temperatura. Es decir, que la sensibilidad del método es del 1%.

La variación del  $IR$  del vidrio con la temperatura, es generalmente mucho menor que la del aceite. Normalmente es del orden del 1% de la pendiente obtenida para el aceite y esta en torno a  $0.000004\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$  (4 millonésimas).

Por lo tanto la variación del  $IR$  del vidrio en el rango de temperaturas de calibración es despreciable y se puede considerar que el  $IR$  de los vidrios estudiados es constante en todo el rango de temperaturas del calibrado.

Para que los datos obtenidos de un análisis sean interpretados con un porcentaje mínimo de error es necesario contar con un método validado.

### **3.9 VALIDACIÓN DE UN MÉTODO ANALÍTICO.** <sup>(15)</sup>

**3.9.1 ¿Qué es validación?:** Según la USP 25, la validación de un método analítico es el proceso por el cual se establece a través de estudios de laboratorio que las características de desempeño de un método cumplen los requerimientos para las aplicaciones analíticas pretendidas.

Las características de desempeño en la validación de ensayos son expresadas en términos de parámetros analíticos, entre los cuales están:

**3.9.1.1 Exactitud:** Es la cercanía del resultado obtenido de la prueba a través del método con el valor verdadero, y se expresa a menudo en términos de porcentaje (%).

3.9.1.2 Precisión: Es el grado de concordancia entre resultados de pruebas individuales cuando el procedimiento es aplicado repetidamente a múltiples muestras de una muestra homogénea. La precisión de un método analítico es usualmente expresada como la desviación estándar o desviación estándar relativa (Coeficiente de Variación). La precisión puede ser una medida del grado de reproducibilidad o de repetitividad del método analítico bajo condiciones normales de operación. La reproducibilidad se refiere al uso del procedimiento analítico en diferentes laboratorios, y la repetitividad se refiere al uso de un procedimiento analítico en un laboratorio por un período corto de tiempo usando un mismo analista con el mismo equipo.

3.9.1.3 Especificidad: Es la habilidad de un método analítico para medir exactamente y específicamente el analito en la presencia de componentes que se espera estén presentes en la muestra.

3.9.1.4- Linealidad: La linealidad de un método analítico es la capacidad para producir resultados de prueba por transformaciones matemáticas bien definidas que son directamente proporcionales a la concentración de analito en las muestras en un rango dado. La linealidad es comúnmente expresada en términos de varianza alrededor de la pendiente de la línea de regresión calculada de acuerdo a una relación matemática establecida de los resultados de pruebas obtenidos de los análisis de muestras con variadas concentraciones de analito.

3.9.1.5 Rango: Es el intervalo entre el nivel superior e inferior.

**CAPÍTULO IV**  
**DISEÑO METODOLÓGICO**

## **4.0 DISEÑO METODOLÓGICO.**

Tipo de estudio: Analítico-experimental.

Se divide en las siguientes partes:

**4.1 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA:** Consistió en toda la información recopilada de las bibliotecas de las diferentes universidades: Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador, Universidad Nueva San Salvador (UNSSA), Universidad Salvadoreña Alberto Masferrer (USAM), Universidad José Simeón Cañas (UCA), información proporcionada por la División Policía Técnica y Científica (DPTC) y datos de Internet.

**4.2 INVESTIGACIÓN DE CAMPO:** Esta comprende la toma de muestras que se llevó a cabo en el parqueo de vehículos de la Policía Nacional Civil que se encuentra en Hacienda Shangallo del cantón Shangallo.

### **4.2.1 Toma de muestra:**

La toma de las muestras se llevó a cabo haciendo uso del muestreo aleatorio simple puntual, en el cual todas las muestras tienen la probabilidad de ser seleccionadas. Se seleccionaron diez vehículos que presentaban el parabrisa quebrado de los cuales se tomaron muestras por duplicado de diferentes partes del parabrisa; estas muestras se identificaron con un código de ocho números que permite asignar cuatro características que son las siguientes: El día y el mes en que fueron tomadas las muestras, así como el número de vehículo muestreado y el número de muestra tomada de ese vehículo.

Por ejemplo: El código, 05100101, indica que la muestra fue tomada el cinco de octubre, del vehículo numero uno y que representa la muestra uno de ese vehículo. Entonces 05 (día), 10(mes), 01(# de vehículo muestreado), 01(# de muestra tomada de dicho vehículo).

#### **4.2.2 Procedimiento:**

- Haciendo uso de una Tenaza, separar los fragmentos de vidrio del resto del parabrisas quebrado del vehículo.
- Con la pinza metálica recolectar los fragmentos de vidrio y colocarlos en las cajas metálicas.
- Sellar las cajas con tirro y rotular con la información que identifique al vehículo del cual se tomo cada muestra con su respectivo código.
- Transportar las muestras al laboratorio para el análisis.

#### **4.3 PARTE EXPERIMENTAL: Comprende el siguiente procedimiento**

- A) Verificar el equipo que está constituido por fuente de luz, monocromador, microscopio de luz transmitida y el control digital de temperatura.
- B) Encender el equipo media hora antes de comenzar las mediciones de temperatura.

#### 4.3.1 Preparación de la muestra:

- 1) Lavar los fragmentos de vidrio con etanol para eliminar alguna suciedad o grasa que pudiera tener el vidrio. Dejar secar los fragmentos.
- 2) Pulverizar el vidrio en un mortero metálico limpio y seco.
- 3) Colocar una pequeña cantidad de vidrio triturado en un porta objeto.
- 4) Fijar la muestra a una distancia de 1 cm aproximadamente del borde del porta-objetos.
- 5) Adicionar aceite de inmersión identificado como B.
- 6) Ajustar el cubre objeto para crear el medio de inmersión.

#### 4.3.2 Preparación de la curvas de calibración: (2)

El aceite de inmersión tipo B, se utiliza para analizar la mayoría de tipos de vidrio, debido al amplio rango de temperatura en función del  $IR$  de la mayoría de vidrios.

Se utilizan muestras de vidrio estándar para la calibración de la curva, de los cuales existen los estándares tipo B reconocidos como del B -1 al B -12.

#### Procedimiento:

- El monocromador se instala con la  $\lambda = 589.3$  que es la de onda D de Sodio.
- Alinear el haz de luz.
- Verificar que la línea óptica este alineado con el agujero del calentador.

- Se coloca en el microscopio el porta objeto con la muestra preparada que ha sido identificada previamente.
- Se busca los fragmentos en el área de visión.
- Seleccionar un fragmento que presente los bordes de forma regular.
- Usando un programa se hace un barrido de temperatura, iniciando con temperatura ambiente hasta una temperatura aproximada de 120°.
- Obtener la temperatura en el momento que empieza a desaparecer el vidrio.
- Seleccionar la temperatura en el momento que ha desaparecido el vidrio (Esta es la temperatura donde el  $I_{\mathcal{R}}$  del líquido es igual al  $I_{\mathcal{R}}$  del vidrio y es la temperatura que se utiliza para determinar el  $I_{\mathcal{R}}$  utilizando la curva de calibración)
- Seleccionar la temperatura que empieza a aparecer el fragmento de vidrio.
- Descender la temperatura a la temperatura de inicio para enfriar el equipo.
- Repetir los pasos anteriores diez veces para la lectura de cada muestra.

### Pasos realizados para obtener la temperatura de equilibrio en una lectura.

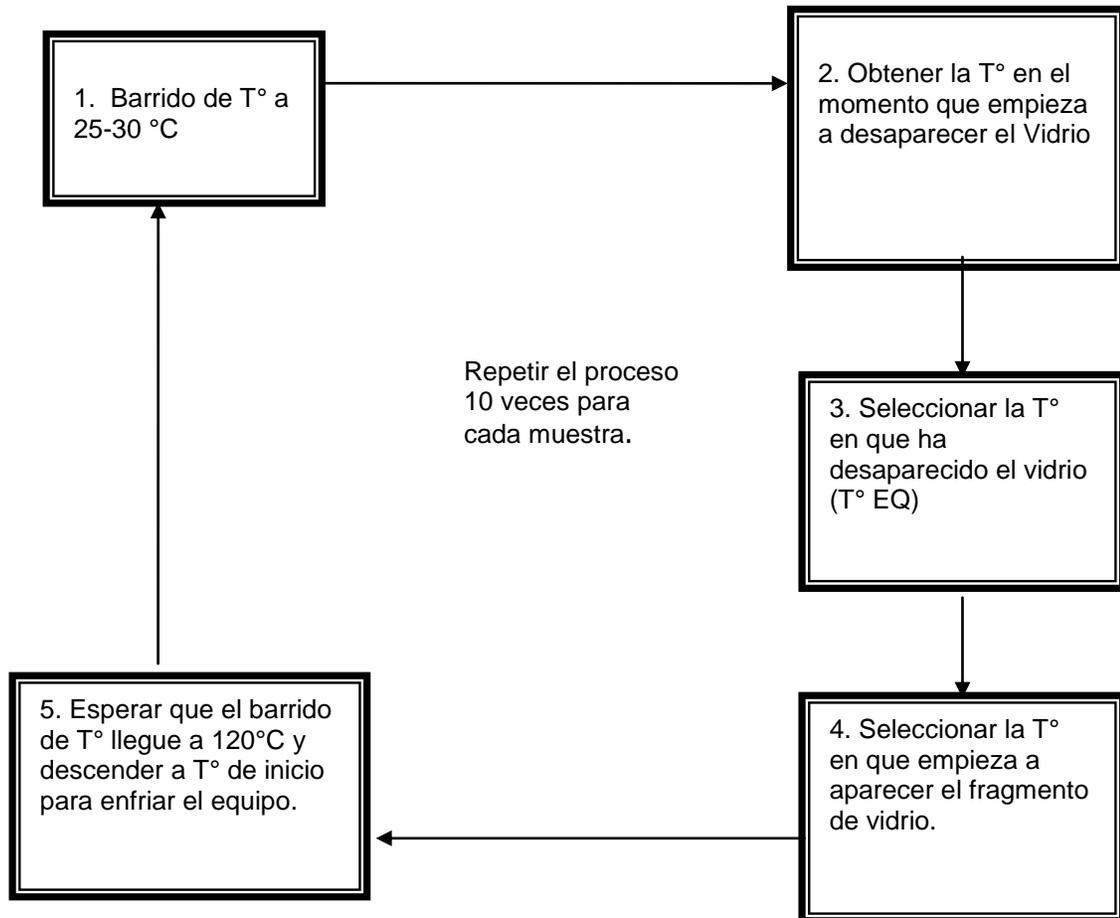


Figura 3: Esquema de lectura para determinar temperatura de equilibrio.

#### 4.3.2.1 Cálculo de $IR$ para estándares de vidrio

Con los datos resultantes de los estándares se procedió a diseñar la curva de calibración, utilizando los valores obtenidos de temperatura de equilibrio (TEQ) e índice de refracción ( $IR$ ) obtenidos en base a datos de tabla para cada estándar.

Los datos de tabla utilizados para cada estándar son las temperaturas inferior y superior, entre las cuales se encuentra la temperatura de equilibrio (TEQ) y los índices de refracción dados para esas temperaturas a la longitud de onda de 589.3nm; para interpolar la temperatura de equilibrio y obtener el índice de refracción practico por medio de una ecuación de mínimos cuadrados. La ecuación utilizada es la siguiente:

$$Y - Y_i = (Y_s - Y_i / X_s - X_i) \cdot (X - X_i)$$

Donde: Y = incógnita que estamos buscando.

$Y_i$  = índice de refracción a la temperatura inferior.

$Y_s$  = índice de refracción a la temperatura superior.

X = temperatura de equilibrio que se esta interpolando.

$X_i$  = temperatura inferior entre la que se encuentra la TEQ.

$X_s$  = temperatura superior entre la que se encuentra la TEQ.

#### **4.3.3 Aplicación de la prueba “Q”**

Luego de realizar las medidas respectivas para los estándares seleccionados, al igual que para las muestras se procedió a aplicar la prueba Q para aceptar o rechazar un dato dudoso que esté muy alejado del promedio del conjunto de datos. En esta prueba, el valor absoluto de la diferencia entre un resultado dudoso y el resultado más próximo se dividió entre la dispersión W del conjunto para dar la cantidad  $Q_{exp}$ . que luego es comparada con el  $Q_{crit}$ . dado en

tablas. La prueba se interpreta determinando si el  $Q_{exp.}$  es mayor que el  $Q_{crit.}$ .  
 el dato dudoso se rechaza con un 95% de confianza. (13)

La fórmula que se utiliza es :  $Q_{exp.} = \frac{|Xq - Xn|}{W} = \frac{|Xq - Xn|}{|X_{alto} - X_{bajo}|}$

Donde:  $Xq$  = valor dudoso

$Xn$  = valor más cercano al valor dudoso

$W$  = dispersión de los datos ( valor más alto – valor más bajo)

Luego de tener los datos necesarios procedemos a calcular los siguientes parámetros de validación:

**4.3.4 Cálculo de exactitud:** Se puede expresar como diferencia de valores o en %. Para este parámetro se utilizó un dato de referencia de un análisis realizado anteriormente por personal de laboratorio de la DPTC.

La formula a utilizar es la siguiente.

$$X_m - V_r \quad \text{ó} \quad R = X_m / V_r \times 100$$

Donde:  $X_m$  = media de la muestra

$V_r$  = Valor verdadero o de referencia.

$R$  = exactitud en términos de %

**4.3.5 Cálculo de precisión:** Se puede expresar en forma de coeficiente de variación o como desviación estándar.

$$C.V. = S / X_m \times 100 \quad \text{ó} \quad S = \sqrt{\sum (X_i - X_m)^2 / (n - 1)}$$

Donde: C.V = coeficiente de variación.

S = desviación estándar.

Xm = media de las lecturas realizadas.

$\Sigma$  = sumatoria.

Xi = cada valor individual de n.

n = numero de lecturas realizadas.

**4.3.6 Cálculo de linealidad:** Para calcular este parámetro se utilizó la formula del coeficiente de correlación (r); midiendo así la intensidad o fuerza con que están relacionadas las variables, y así obtener una correlación simple positiva o negativa. El coeficiente “r” de correlación toma valores entre 0 y 1 para la positiva y para la negativa oscilará entre 0 y -1.

Un valor de  $r = 1$  ó  $r = -1$  se interpreta diciendo que existe correlación perfecta entre las variables; en forma positiva o negativa respectivamente. Si no existiera ninguna relación entre las variables tendríamos un valor de  $r = 0$ .

Para calcular el coeficiente de correlación lineal “r” utilizaremos la siguiente fórmula: (3)

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n (T_i I R_i) - \sum_{i=1}^n (T_i) \sum_{i=1}^n (I R_i)}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n T_i^2 - (\sum_{i=1}^n T_i)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n I R_i^2 - (\sum_{i=1}^n I R_i)^2}}$$

Donde:  $n$  = numero de puntos de la recta(estándares utilizados para la curva de calibración).

$\sum TIR$  = sumatoria de las temperaturas de equilibrio por el índice de refracción de la temperatura de equilibrio.

$\sum T$  = sumatoria de las temperaturas de equilibrio.

$\sum IR$  = sumatoria de los  $IR$  de las temperaturas de equilibrio.

También se calculó los valores de  $m$  (pendiente de la correlación lineal) y  $b$  (ordenada en el origen de la correlación lineal) que serán utilizados para calcular el  $IR$  (índice de refracción) de las muestras analizadas.

$$m = \frac{n \sum_{i=1}^n (T_i IR_i) - \sum_{i=1}^n (T_i) \sum_{i=1}^n (IR_i)}{n \sum_{i=1}^n T_i^2 - (\sum_{i=1}^n T_i)^2} \quad b = \frac{\sum_{i=1}^n T_i^2 \sum_{i=1}^n IR_i - \sum_{i=1}^n (T_i) \sum_{i=1}^n (T_i IR_i)}{n \sum_{i=1}^n T_i^2 - (\sum_{i=1}^n T_i)^2}$$

Luego de obtener los valores de  $m$  y  $b$ , se procede a calcular el  $IR$  para las temperaturas de equilibrio de cada muestra analizada, utilizando la fórmula de mínimos cuadrados que relaciona, mediante una ecuación lineal el  $IR$  con la temperatura de equilibrio.

$$IR = mT + b$$

Donde:  $IR$  = índice de refracción.

T = temperatura de equilibrio.

m = pendiente de la correlación lineal.

b = ordenada en el origen de la correlación lineal.

**4.3.7 Cálculo de límites de confianza** (9): nos permite definir el intervalo dentro del cual se puede suponer de manera razonable que se encuentra el valor verdadero. Este intervalo se conoce como el **intervalo de confianza** y los valores extremos de dicho intervalo se llaman **límites de confianza**. El término “confianza” implica que podemos afirmar con un grado de confianza dado, es decir, con una cierta probabilidad, que el intervalo de confianza sí incluye al valor verdadero.

Para un tamaño de muestras pequeñas, la ecuación utilizada para calcular los límites de confianza es la siguiente:  $\mu = X \pm t(S/\sqrt{n})$

Donde: X = la media del número de mediciones ( $IR$  calculado).

t = dato de tabla dado en base a los grados de libertad y el grado de confianza requerido.

S = desviación estándar de la muestra

n = numero de mediciones realizadas.

#### 4.3.8 Aplicación de la prueba t de Student

Se aplicó la distribución t de Student para comparar las medias de los  $IR$  obtenidos para cada muestra procedente de una misma fuente.

Partiendo de un número de muestras menor de 30 ( $n < 30$ ) se calcula la estadística de prueba t con los valores obtenidos  $X_1$ ,  $S_1$  y  $X_2$ ,  $S_2$  de cada una de las muestras; se calcula inicialmente una estimación conjunta de la desviación estándar a partir de las dos desviaciones estándares individuales  $S_1$  y  $S_2$  utilizando la siguiente ecuación: (9)

$$S^2 = \{ (n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2 \} / (n_1 + n_2 - 2)$$

Luego se calcula el valor de t para un intervalo de confianza del 95% con nueve grados de libertad. Los grados de libertad se obtienen del número de mediciones realizadas por muestra menos uno, utilizando para el cálculo de t la suma de  $n_1 + n_2 - 2$  grados de libertad. La fórmula utilizada es la siguiente:

$$t = (X_1 - X_2) / S \cdot (1/n_1 + 1/n_2)^{1/2}$$

Donde:  $X_1$  = Media de la muestra uno

$X_2$  = Media de la muestra dos

$S$  = Desviación estándar conjunta

$n_1$  = Número de lecturas de la muestra uno

$n_2$  = Número de lecturas de la muestra dos

Esta prueba también se aplica a los datos promedios de los estándares utilizados para la curva de calibración, con el fin de comparar si hay diferencia entre estos datos y los obtenidos por un análisis realizado anteriormente por analistas de la DPTC. Para ello se utilizó un contraste de hipótesis que consiste en comparar: “Existe diferencia entre el promedio muestral de los estándares y el valor de referencia proporcionado por la DPTC”, con la hipótesis de que “no existe diferencia”. (8)

La formula utilizada para esta comparación es la siguiente:

$t = X/(S/\sqrt{n})$ , donde  $X = \sum X_i/n$ , y  $X_i =$  a la diferencia entre los dos análisis.

$$S = \sqrt{\sum(X_i - X)^2/n - 1}$$

n = número de datos que se comparan.

#### **4.3.9 Aplicación de la prueba F**

Para el análisis de las muestras se aplicó la prueba F para comparación de desviaciones estándar, considerándose esta prueba como la razón de las dos varianzas muestrales.

El valor de F se calcula con la siguiente formula:  $F = S_1^2 / S_2^2$  debiéndose obtener un valor de  $F \geq 1$ . (9)

Siendo  $S_1$  y  $S_2$ , la desviación estándar para cada muestra respectivamente.

Esta prueba se usa para comprobar la hipótesis nula que dos muestras de vidrio procedentes de una misma fuente no presentan diferencia significativa en

su índice de refracción. Si la hipótesis nula es verdadera, entonces la razón de la varianza debería estar próxima a 1 o presentar una diferencia debida a variaciones aleatorias en las cuales el error no sea demasiado grande; si el valor de F excede un a cierto valor (obtenido de tablas) la hipótesis nula se rechaza. El valor de F dado en las tablas con respecto al número de grados de libertad debe ser mayor que el calculado para decir que no hay diferencia significativa entre las dos varianzas a un nivel del 5%. (9)

**CAPÍTULO V**  
**RESULTADOS Y ANÁLISIS**

A continuación se presenta los resultados obtenidos para el cálculo de índice de refracción a partir de temperaturas de equilibrio prácticas para estándares de vidrio B-1, B-3, B-4, B-7, B-8, y la aplicación de la prueba “Q”, mediante las tablas No.3 a la No.8.

Se elaboró la curva de calibración con los datos de la tabla No.9 y se obtienen los valores de  $m$  y  $b$  que se utiliza para calcular el índice de refracción de las muestras de vidrio de los vehículos.

También se realizó una comparación entre los datos obtenidos por la investigación que se realiza en este trabajo y datos de referencia, utilizando un contraste de hipótesis con los valores de  $IR$  presentados en la tabla No.11, luego se calcularon los parámetros de validación que se presentan en la tabla No.12

Posterior se presentan los datos obtenidos para las muestras de vidrio y los resultados de las pruebas de aceptación y rechazo; aplicadas a partir de las tablas No.13 a la tabla No.43.

En la tabla No.44 se presenta un resumen de resultados de  $IR$  obtenidos para las muestras 1 y 2 de cada vehículo y las pruebas de aceptación y rechazo aplicadas para cada muestra.

## 5.0 RESULTADOS Y ANALISIS

### 5.1 Cálculo de índice de refracción a partir de temperaturas de equilibrio prácticas para estándares de vidrio usando datos de tabla.

TABLA No.3: Cálculos de  $n_T$  y prueba de rechazo de datos para estándar B -1.

ESTANDAR B - 1									
LECTURA	TEQ(°C)	Ti <sub>tabla</sub>	Ts <sub>tabla</sub>	$n_T$ a Ti <sub>tabla</sub>	$n_T$ a Ts <sub>tabla</sub>	$n_{PI}$ para TEQ	$(n_{PI} - n_{PI_{prom}})^2$	Q(0.05)=0.466	ESTADO
1	46.2	45	50	1.52914	1.52916	1.5291448	0.000000000138384		
3	46.2	45	50	1.52914	1.52916	1.5291448	0.000000000138384	0.00000	ACEPTADO
8	46.8	45	50	1.52914	1.52916	1.5291472	0.00000000017424	0.31579	ACEPTADO
6	46.9	45	50	1.52914	1.52916	1.5291476	0.00000000008464	0.05263	ACEPTADO
7	47.0	45	50	1.52914	1.52916	1.5291480	0.00000000002704	0.05263	ACEPTADO
9	47.1	45	50	1.52914	1.52916	1.5291484	0.00000000000144	0.05263	ACEPTADO
2	47.5	45	50	1.52914	1.52916	1.5291500	0.00000000021904	0.21053	ACEPTADO
4	47.6	45	50	1.52914	1.52916	1.5291504	0.00000000035344	0.05263	ACEPTADO
5	47.9	45	50	1.52914	1.52916	1.5291516	0.00000000094864	0.15789	ACEPTADO
10	48.1	45	50	1.52914	1.52916	1.5291524	0.00000000150544	0.10526	ACEPTADO
<b>PROMEDIO</b>	<b>47.13</b>	<b>45</b>	<b>50</b>	<b>1.52914</b>	<b>1.52916</b>	<b>1.52914852</b>	<b>0.000000000608160</b>		
<b>S</b>						<b>0.00000260</b>			

**Cálculo de  $I_{\mathcal{R}}$  para temperaturas de equilibrio de estándar B-1 tomando como ejemplo la lectura No. 1 de la serie.**

Utilizando la fórmula:  $Y - Y_i = \{ ( Y_s - Y_i / X_s - X_i ) \} . ( X - X_i )$

Donde:

Y : ?

Y<sub>i</sub>: 1.52914 ( dato de tabla)

Y<sub>s</sub>: 1.52916 ( dato de tabla)

X: 46.2 °C (Temperatura de equilibrio práctica )

X<sub>i</sub>: 45 °C ( dato de tabla)

X<sub>s</sub>: 50 °C ( dato de tabla)

Sustituyendo en la fórmula tenemos:

$$Y - 1.52914 = \frac{\{1.52916 - 1.52914\}}{(50 \text{ °C} - 45 \text{ °C})} . (46.2 \text{ °C} - 45 \text{ °C}) = 4.8 \times 10^{-6} + 1.52914$$

Entonces **Y = 1.5291448** (índice de refracción práctico)

Este procedimiento se sigue para obtener el  $I_{\mathcal{R}}$  de las nueve lecturas restantes, para el estándar B - 1, sustituyendo las temperaturas de equilibrio y los datos de tabla dados para cada lectura.

El procedimiento descrito en el estándar B-1 se aplica al resto de los estándares: B-3, B-4, B-7, B-8.

### **Cálculo de desviación estándar.**

Utilizando la fórmula:  $S = \sqrt{\sum(X_i - X_{\text{promedio}})^2 / (n - 1)}$

$$S = \frac{\sqrt{(0.0000000000608160)^2}}{(10 - 1)} = 0.00000260$$

**Cálculo de el valor de “Q” experimental tomando como dato dudoso el  $I_{\mathcal{R}}$  de la lectura No. 3 y valor más cercano la lectura No. 1 del estándar B-1.**

Los datos se ordenaron de forma ascendente para aplicar la fórmula.

$$\text{Utilizando la fórmula: } Q_{\text{exp.}} = \frac{|X_q - X_n|}{W} = \frac{|X_q - X_n|}{|X_{\text{alto}} - X_{\text{bajo}}|}$$

$$\text{Sustituyendo: } \frac{(1.5291448 - 1.5291448)}{(1.52914852 - 1.5291448)} = 0.00000$$

De igual forma aplicamos la prueba a las lecturas restantes, asumiendo que cada valor es dudoso y tomando como valor más cercano el valor inferior a cada lectura.

Según los datos obtenidos en la tabla No. 3, la prueba “Q” descarta la presencia de datos anómalos con un 95% de confianza.

TABLA No. 4: Cálculos de  $IR$  y prueba de rechazo de datos para estándar B - 3.

ESTANDAR B - 3									
LECTURA	TEQ(°C)	Ti <sub>tabla</sub>	Ts <sub>tabla</sub>	$IR$ T a Ti <sub>tabla</sub>	$IR$ T a Ts <sub>tabla</sub>	$IR$ PI para TEQ	$(IRPI - IRPI_{prom})^2$	Q(0.05)=0.466)	ESTADO
1	55.6	55	60	1.52249	1.52249	1.5224900	0.00000000000016384		
7	59.4	55	60	1.52249	1.52249	1.5224900	0.00000000000016384	0.00000	ACEPTADO
10	59.8	55	60	1.52249	1.52249	1.5224900	0.00000000000016384	0.00000	ACEPTADO
9	59.9	55	60	1.52249	1.52249	1.5224900	0.00000000000016384	0.00000	ACEPTADO
3	60.0	60	60	1.52249	1.52249	1.5224900	0.00000000000016384	0.00000	ACEPTADO
5	60.3	60	65	1.52249	1.52250	1.5224906	0.0000000000004624	0.14286	ACEPTADO
2	60.8	60	65	1.52249	1.52250	1.5224916	0.0000000000001024	0.23810	ACEPTADO
6	61.3	60	65	1.52249	1.52250	1.5224926	0.00000000000017424	0.23810	ACEPTADO
4	61.9	60	65	1.52249	1.52250	1.5224938	0.00000000000063504	0.28571	ACEPTADO
8	62.1	60	65	1.52249	1.52250	1.5224942	0.00000000000085264	0.09524	ACEPTADO
<b>PROMEDIO</b>	<b>60.1</b>	<b>58</b>	<b>62.5</b>	<b>1.52249</b>	<b>1.522495</b>	<b>1.52249128</b>	<b>0.0000000000253760</b>		
<b>S</b>						<b>0.00000168</b>			

NOTA: Para la serie de lecturas de esta tabla, se aplicó el procedimiento descrito en las páginas 68 y 69; descartando la presencia de datos anómalos, para obtener el valor promedio de  $IR$  que se utiliza en la elaboración de la curva de calibración.

TABLA No. 5: Cálculos de  $\mathcal{I}R$  y prueba de rechazo para estándar B - 4.

ESTANDAR B- 4									
LECTURA	TEQ(°C)	Ti <sub>tabla</sub>	Ts <sub>tabla</sub>	$\mathcal{I}R_T$ a Ti <sub>tabla</sub>	$\mathcal{I}R_T$ a Ts <sub>tabla</sub>	$\mathcal{I}R_{PI}$ para TEQ	$(\mathcal{I}R_{PI} - \mathcal{I}R_{PI_{prom}})^2$	Q(0.05)=0.466	ESTADO
5	69.9	65	70	1.51854	1.51856	1.5185596	0.0000000000073984		
1	70.2	70	75	1.51856	1.51857	1.5185604	0.0000000000036864	0.16000	ACEPTADO
8	70.8	70	75	1.51856	1.51857	1.5185616	0.0000000000005184	0.24000	ACEPTADO
3	71.2	70	75	1.51856	1.51857	1.5185624	0.0000000000000064	0.00000	ACEPTADO
7	71.3	70	75	1.51856	1.51857	1.5185626	0.0000000000000784	0.00000	ACEPTADO
10	71.3	70	75	1.51856	1.51857	1.5185626	0.0000000000000784	0.00000	ACEPTADO
2	71.4	70	75	1.51856	1.51857	1.5185628	0.0000000000002304	0.00000	ACEPTADO
6	71.5	70	75	1.51856	1.51857	1.518563	0.0000000000004624	0.00000	ACEPTADO
9	71.8	70	75	1.51856	1.51857	1.5185636	0.0000000000016384	0.00000	ACEPTADO
4	72.3	70	75	1.51856	1.51857	1.5185646	0.0000000000051984	0.00000	ACEPTADO
<b>PROMEDIO</b>	<b>71.17</b>	<b>69.5</b>	<b>74.5</b>	<b>1.518558</b>	<b>1.518569</b>	<b>1.51856232</b>	<b>0.0000000000192960</b>		
<b>S</b>						<b>0.00000146</b>			

NOTA: Todos los valores de  $Q_{\text{experimental}}$  obtenidos para el estándar B – 4 son menores que el valor de  $Q_{\text{crítico}}$  (0.466), por lo tanto en ésta serie no se rechaza ningún valor, y se obtiene el  $\mathcal{I}R$  promedio con n = 10. El procedimiento utilizado para la obtención de estos datos es el descrito en las páginas 68y 69.

TABLA No. 6: Cálculos de  $IR$  y prueba de rechazo de datos para estándar B - 7.

ESTANDAR B - 7									
LECTURA	TEQ(°C)	Ti <sub>tabla</sub>	Ts <sub>tabla</sub>	$IR_T$ a Ti <sub>tabla</sub>	$IR_T$ a Ts <sub>tabla</sub>	$IR_{PI}$ para TEQ	$(IR_{PI} - IR_{PI_{prom}})^2$	Q(0.05)=0.466	ESTADO
2	85.1	85	90	1.51469	1.51471	1.5146904	0.0000000000553536		
6	85.6	85	90	1.51469	1.51471	1.5146924	0.0000000000295936	0.07692	ACEPTADO
8	85.6	85	90	1.51469	1.51471	1.5146924	0.0000000000295936	0.00000	ACEPTADO
3	85.8	85	90	1.51469	1.51471	1.5146932	0.0000000000215296	0.03077	ACEPTADO
10	86.0	85	90	1.51469	1.51471	1.5146940	0.0000000000147456	0.03077	ACEPTADO
1	86.6	85	90	1.51469	1.51471	1.5146964	0.0000000000020736	0.09231	ACEPTADO
9	86.6	85	90	1.51469	1.51471	1.5146964	0.0000000000020736	0.00000	ACEPTADO
7	86.7	85	90	1.51469	1.51471	1.5146968	0.0000000000010816	0.01538	ACEPTADO
4	90.0	90	90	1.51471	1.51471	1.5147100	0.0000000001478656	0.50769	<b>RECHAZADO</b>
5	93.2	90	95	1.51471	1.51472	1.5147164	0.0000000003444736	0.24615	ACEPTADO *
<b>PROMEDIO</b>	<b>87.12</b>	<b>86</b>	<b>90.5</b>	<b>1.514694</b>	<b>1.514711</b>	<b>1.5146978</b>	<b>0.0000000006483840</b>		
<b>S</b>						<b>0.0000085</b>			

NOTA: En la tabla anterior podemos observar que al aplicar la prueba Q el índice de refracción de la lectura número cuatro es eliminado. De igual forma al eliminar la lectura cuatro y aplicar nuevamente la prueba Q, se elimina la lectura número cinco ya que al quedar nueve lecturas el valor de Q para la lectura cinco es \* 0.75385 siendo este mayor que el Q crítico (0.493) para n =9. Debido a que estos datos son anómalos los eliminamos de la serie y seguimos el procedimiento estadístico de este estándar con ocho lecturas.

TABLA No.7: Cálculos de  $IR$  y prueba de rechazo para estándar B -7, con  $n = 8$  y  $Q_{crit.} = 0.526$ .

ESTANDAR B- 7									
LECTURA	TEQ(°C)	Ti <sub>tabla</sub>	Ts <sub>tabla</sub>	$IR_T$ a Ti <sub>tabla</sub>	$IR_T$ a Ts <sub>tabla</sub>	$IR_{PI}$ para TEQ	$(IR_{PI} - IR_{PI_{prom}})^2$	Q(0.05)=0.526	ESTADO
2	85.1	85	90	1.51469	1.51471	1.5146904	0.0000000000129600		
6	85.6	85	90	1.51469	1.51471	1.5146924	0.0000000000025600	0.31250	ACEPTADO
8	85.6	85	90	1.51469	1.51471	1.5146924	0.0000000000025600	0.00000	ACEPTADO
3	85.8	85	90	1.51469	1.51471	1.5146932	0.0000000000006400	0.12500	ACEPTADO
10	86.0	85	90	1.51469	1.51471	1.5146940	0.0000000000000000	0.12500	ACEPTADO
1	86.6	85	90	1.51469	1.51471	1.5146964	0.0000000000057600	0.37500	ACEPTADO
9	86.6	85	90	1.51469	1.51471	1.5146964	0.0000000000057600	0.00000	ACEPTADO
7	86.7	85	90	1.51469	1.51471	1.5146968	0.0000000000078400	0.06250	ACEPTADO
<b>PROMEDIO</b>	<b>86</b>	<b>85</b>	<b>90</b>	<b>1.51469</b>	<b>1.51471</b>	<b>1.5146940</b>	<b>0.0000000000380800</b>		
<b>S</b>						<b>0.0000023</b>			

NOTA: En la tabla No. 7 se presentan los valores de la serie de lecturas de  $IR$  para el estándar B-7 que han sido aceptados por la prueba Q, para obtener el valor promedio de  $IR$  que será utilizado para la elaboración de la curva de calibración. El procedimiento utilizado para calcular los valores de ésta tabla es el mismo que se describe en las páginas 68 y 69.

TABLA No.8: Cálculos de  $\mathcal{R}$  y prueba de rechazo para estándar B - 8.

ESTANDAR B- 8									
LECTURA	TEQ(°C)	Ti <sub>tabla</sub>	Ts <sub>tabla</sub>	$\mathcal{R}T$ a Ti <sub>tabla</sub>	$\mathcal{R}T$ a Ts <sub>tabla</sub>	$\mathcal{R}PI$ para TEQ	$(\mathcal{R}PI - \mathcal{R}PI_{prom.})^2$	Q(0.05)=0.466	ESTADO
9	87.6	85	90	1.51166	1.51166	1.5116600	0.0000000000097344		
2	89.7	85	90	1.51166	1.51166	1.5116600	0.0000000000097344	0.00000	ACEPTADO
8	90.8	90	95	1.51166	1.51167	1.5116616	0.0000000000023104	0.16667	ACEPTADO
4	90.9	90	95	1.51166	1.51167	1.5116618	0.0000000000017424	0.00000	ACEPTADO
3	91.0	90	95	1.51166	1.51167	1.5116620	0.0000000000012544	0.02083	ACEPTADO
6	91.0	90	95	1.51166	1.51167	1.5116620	0.0000000000012544	0.00000	ACEPTADO
7	91.6	90	95	1.51166	1.51167	1.5116632	0.0000000000000064	0.12500	ACEPTADO
1	92.6	90	95	1.51166	1.51167	1.5116652	0.0000000000043264	0.20833	ACEPTADO
5	92.9	90	95	1.51166	1.51167	1.5116658	0.0000000000071824	0.06250	ACEPTADO
10	94.8	90	95	1.51166	1.51167	1.5116696	0.0000000000419904	0.39583	ACEPTADO
<b>PROMEDIO</b>	<b>91.3</b>	<b>89</b>	<b>94</b>	<b>1.51166</b>	<b>1.511668</b>	<b>1.5116631</b>	<b>0.0000000000795360</b>		
<b>S</b>						<b>0.0000030</b>			

NOTA: El estándar B – 8 según datos obtenidos de prueba Q, no presenta datos anómalos en la serie, obteniendo así el valor promedio de  $\mathcal{R}$  con n = 10.

## 5.2 Elaboración de curva de calibración utilizando datos promedios de los estándares.

Tabla No. 9: Valores promedios para calcular m, b y r.

ESTANDAR	TEQ(°C)	IRPI para TEQ	TEQ* IRPI para TEQ	TEQ <sup>2</sup>	(IRPI para TEQ) <sup>2</sup>
B1	47.13	1.52914852	72.06877	2221.2369	2.3382952
B3	60.10	1.52249128	91.50173	3612.0100	2.3179797
B4	71.17	1.51856232	108.07610	5065.1689	2.30603152
B7	86.00	1.51469400	130.26370	7396	2.29429791
B8	91.30	1.51166312	138.01480	8335.6900	2.28512539
<b>TOTALES</b>	<b>355.70</b>	<b>7.59655924</b>	<b>539.9251</b>	<b>26630.1058</b>	<b>11.5417297</b>

**CURVA DE CALIBRACION TEMPERATURA DE EQUILIBRIO VRS. INDICE DE REFRACCION**

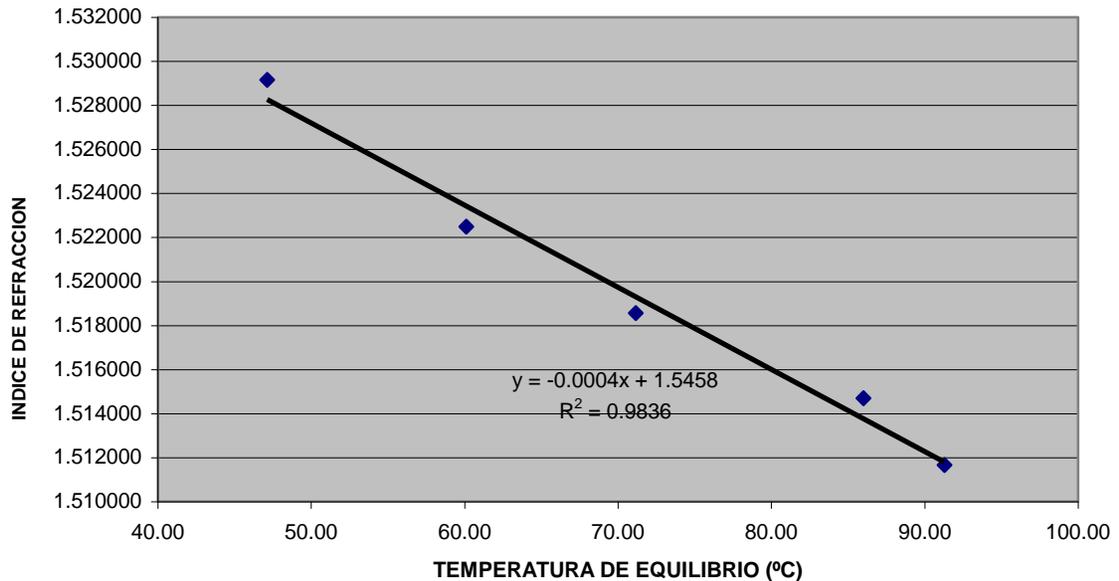


Figura N° 4: Curva de calibración con 5 estándares.

$$m = - 0.00037275$$

$$b = 1.54582935$$

$$r = -0.99175803$$

### Cálculo de m, b y r utilizando valores de la tabla No. 9

Fórmulas para calcular valores de m y de b:

$$m = \frac{n \sum_{i=1}^n (T_i I \mathcal{R}_i) - \sum_{i=1}^n (T_i) \sum_{i=1}^n (I \mathcal{R}_i)}{n \sum_{i=1}^n T_i^2 - (\sum_{i=1}^n T_i)^2} \quad b = \frac{\sum_{i=1}^n T_i^2 \sum_{i=1}^n I \mathcal{R}_i - \sum_{i=1}^n (T_i) \sum_{i=1}^n (T_i I \mathcal{R}_i)}{n \sum_{i=1}^n T_i^2 - (\sum_{i=1}^n T_i)^2}$$

$$m = \frac{5 (539.9251) - (355.70) \cdot (7.59655924)}{5 (26630.1058) - (355.70)^2} = -0.00037275$$

$$b = \frac{(26630.1058) \cdot (7.59655924) - (355.70) \cdot (539.9251)}{5 (26630.1058) - (355.70)^2} = 1.54582935$$

Fórmula para calcular el valor de r :

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n (T_i I \mathcal{R}_i) - \sum_{i=1}^n (T_i) \sum_{i=1}^n (I \mathcal{R}_i)}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n T_i^2 - (\sum_{i=1}^n T_i)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n I \mathcal{R}_i^2 - (\sum_{i=1}^n I \mathcal{R}_i)^2}}$$

$$r = \frac{5 (539.9251) - (355.70) \cdot (7.59655924)}{\sqrt{5 (26630.1058) - (355.70)^2} \cdot \sqrt{5 (11.5417297) - (7.59655924)^2}} = -0.99175803$$

**5.3 Aplicación de estadístico de prueba para contraste de hipótesis utilizando valores de temperatura de equilibrio promedio de estándares de vidrio analizados en diferentes fechas por diferentes analistas.**

Tabla No.10: Resultados de análisis realizado por la DPTC.

ESTANDAR	TEQ(°C)	$I_{REQ}$ Teórico	TEQ* $I_{REQ}$	TEQ^2	$I_{REQ}^2$
B1	43.40	1.529149	66.365046	1883.560000	2.338295
B3	61.50	1.522491	93.633214	3782.250000	2.317980
B4	70.10	1.518562	106.451219	4914.010000	2.306032
B7	80.90	1.514694	122.538745	6544.810000	2.294298
B8	88.80	1.511663	134.235685	7885.440000	2.285125
<b>TOTALES</b>	<b>344.70</b>	<b>7.596559</b>	<b>523.223908</b>	<b>25010.070000</b>	<b>11.541730</b>

**CURVA DE CALIBRACION TEMPERATURA DE EQUILIBRIO VRS INDICE DE REFRACCION (DPTC)**

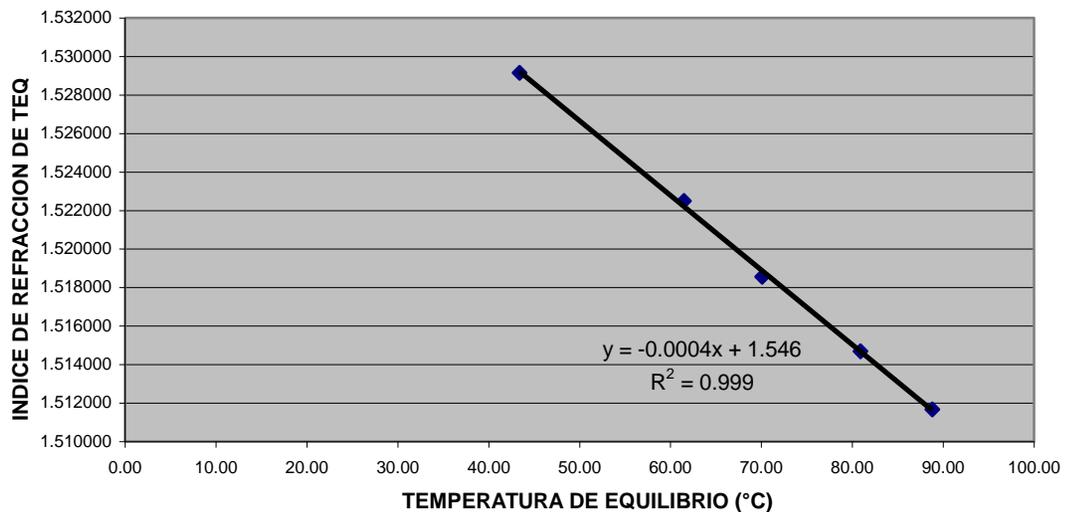


Figura No. 5: Curva de calibración para estándares analizados por la DPTC.

$$m = - 0.000387409$$

$$b = 1.546019797$$

$$r = -0.999508643$$

Para comparar ambos análisis se asigna como laboratorio 1(L1) datos obtenidos por la División Policía Técnica Científica y como laboratorio 2 (L2) datos presentados por investigación realizada por la Universidad de El Salvador.

Tabla No. 11: Valores promedio de  $\bar{I}R$  para ambos laboratorios.

<b>ESTANDARES</b>	<b>LABORATORIO 1</b>	<b>LABORATORIO 2</b>	<b>L1-L2</b>
<b>B1</b>	1.52913360	1.52914852	-0.00001492
<b>B3</b>	1.52224930	1.52249128	-0.00024198
<b>B4</b>	1.51856020	1.51856232	-0.00000212
<b>B7</b>	1.51467360	1.51469400	-0.00002040
<b>B8</b>	1.51166000	1.51166312	-0.00000312
<b>PROMEDIO</b>			<b>-0.00005651</b>
<b>S</b>			<b>0.00010397</b>
<b>PRUEBA t 95%</b>			<b>2.71743606</b>
<b>t-critico n= 5 -1</b>			<b>2.78</b>

### 5.4 Cálculo de parámetros de validación

Tabla No. 12: Parámetros de validación.

TOMANDO $I\mathcal{R}$ VERDADERO PARA CALCULO DE EXACTITUD ( $V_r$ ) DATO DE REFERENCIA DE LA DPTC.									
ESTANDAR	$I\mathcal{R}_{PI}$ para TEQ( $X_m$ )	S	TEQ(°C)	T°EQ. DPTC	$V_r$	EXACTITUD	PRECISION	LINEALIDAD	LIMITES DE CONFIANZA ( t = 2.26)
B1	1.52914852	0.000003	47.13	43.40	1.5291336	0.00001	0.00020	r = -0.99175803	(-1.529146) a (+1.529151)
B3	1.52249128	0.000002	60.10	61.50	1.5222493	0.00024	0.00013		(-1.522490) a (+1.522493)
B4	1.51856232	0.000001	71.17	70.10	1.5185602	0.00000	0.00007		(-1.518562) a (+1.518563)
B7	1.51469400	0.000002	86.00	80.90	1.5146736	0.00002	0.00015		(-1.514692) a (+1.514696)
B8	1.51166312	0.000003	91.30	88.80	1.5116600	-0.00004	0.00020		(-1.511661) a (+1.511665)

NOTA: Para el estándar B-7 el valor de  $t$  para el cálculo de los límites de confianza es de 2.36, debido a que solamente se trabaja con ocho lecturas los grados de libertad para este estándar es igual a siete (  $n - 1$  ).

**Para el estándar B – 1.**

CÁLCULO DE EXACTITUD:  $X_m - V_r$  ó  $R = X_m / V_r \times 100$

Donde:  $X_m$  = media de la muestra

$V_r$  = Valor verdadero o de referencia.

$R$  = exactitud en términos de %

EXACTITUD COMO DIFERENCIA DE VALORES:

$$1.52914852 - 1.5291336 = \mathbf{0.00001}$$

EXACTITUD EN TERMINOS DE PORCENTAJE:

$$\frac{1.52914852}{1.5291336} \times 100 = \mathbf{100.00}$$

CÁLCULO DE PRECISIÓN: C.V. =  $S / X_m \times 100 = \frac{0.000003}{1.52914852} \times 100 = \mathbf{0.00020}$

CÁLCULO DE LINEALIDAD: Esta representada por “r”

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n (T_i I R_i) - \sum_{i=1}^n (T_i) \sum_{i=1}^n (I R_i)}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n T_i^2 - (\sum_{i=1}^n T_i)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n I R_i^2 - (\sum_{i=1}^n I R_i)^2}}$$

$$r = \frac{5 (539.9251) - (355.70) \cdot (7.59655924)}{\sqrt{5 (26630.1058) - (355.70)^2} \cdot \sqrt{5 (11.5417297) - (7.59655924)^2}} = \mathbf{0.99175803}$$

CÁLCULO DE LÍMITES DE CONFIANZA:  $\mu = X \pm t(S/\sqrt{n})$

$$\mu = 1.52914852 \pm 2.26(0.000003/ \sqrt{10}) = \mathbf{1.52914852 \pm 2.1440 \times 10^{-6}}$$

## INTERPRETACION GENERAL PARA CURVA DE CALIBRACION.

Al aplicar la prueba Q a la serie de datos para cada estándar, se obtuvo únicamente un estándar con datos anómalos (B-7), los cuales se eliminaron para continuar el proceso estadístico aplicando la prueba Q a la serie de datos restantes. Con los datos promedios de los estándares se elaboró la curva de calibración con lo cual se obtuvieron los valores de  **$m = -0.00037275$**  (pendiente) y  **$b = 1.54582935$**  (ordenada en el origen de la correlación lineal) que nos servirán para calcular el  $IR$  de las muestra de vidrio de los parabrisas de vehículos. También se calculó la correlación lineal a los datos, obteniendo un valor de  **$r = -0.99175803$** , que nos indica que la pendiente es negativa y que el valor está cercano a -1 que es el valor de  $r$  para una correlación negativa perfecta.

Posterior se elaboró la curva de calibración con los datos de referencia de la DPTC con el objetivo de establecer diferencias entre ambos análisis; obteniendo para ésta los valores siguientes:  **$m = -0.000387409$** ,  **$b = 1.546019797$**  y  **$r = -0.999508643$** .

Luego de comparar ambos análisis se calculan los parámetros de validación con los datos presentados por la investigación realizada por la UES, con lo cual se obtiene una **exactitud** del método expresada como diferencia de valores que va desde **-0.00004 hasta 0.00024** y en términos de porcentaje de un **99.99%**.

La **precisión** del método expresada como coeficiente de variación se encuentra entre los valores  $7 \times 10^{-5}$  a  $2 \times 10^{-4}$ . La linealidad de los datos esta representada por el valor de  $r = -0.99175803$ .

Los **límites de confianza** para la serie de estándares utilizados va de  $-1.511661$  a  $1.529151$ .

**5.5 Determinación del índice de refracción de muestras de vidrio utilizando TEQ. y los valores de m y b calculados con datos de curva de calibración.**

Tabla No. 13: Calculo de  $IR$  y prueba de rechazo para muestra uno del vehículo uno.

Muestra 14120101							
LECTURA	T1 (°C)	TEQ.(°C)	T2(°C)	$IR$	$(IR - IR_{prom.})^2$	Q(0.05)=0.466	ESTADO
5	58.6	72	104	1.51899135	0.000003082		
1	59.8	73.5	103	1.51843223	0.000001432	0.21127	ACEPTADO
2	62.3	75.8	100.9	1.51757490	0.000000115	0.32394	ACEPTADO
3	64	76.2	98.9	1.51742580	0.000000036	0.05634	ACEPTADO
9	61	77.3	101.2	1.51701578	0.000000048	0.15493	ACEPTADO
4	61.7	78	98.1	1.51675485	0.000000231	0.09859	ACEPTADO
7	59.1	78.3	98	1.51664303	0.000000351	0.04225	ACEPTADO
6	64.3	78.4	100.4	1.51660575	0.000000397	0.01408	ACEPTADO
10	63.6	78.5	101	1.51656848	0.000000445	0.01408	ACEPTADO
8	65.3	79.1	101.2	1.51634483	0.000000794	0.08451	ACEPTADO
<b>PROMEDIO</b>		<b>76.71</b>		<b>1.51723570</b>			
<b>S</b>				<b>0.00087760</b>			

Tabla No. 14: Cálculo de  $IR$  y prueba de rechazo para muestra dos del vehículo uno.

Muestra 14120102							
LECTURA	T1 (°C)	TEQ.(°C)	T2(°C)	$IR$	$(IR - IR_{prom.})^2$	Q(0.05)=0.466	ESTADO
4	59.3	74.8	101.3	1.51794765	0.000000624		
1	59.5	75.6	101.6	1.51764945	0.000000242	0.18605	ACEPTADO
10	56.7	75.7	103.5	1.51761218	0.000000207	0.02326	ACEPTADO
3	62	75.8	104	1.51757490	0.000000174	0.02326	ACEPTADO
6	59.4	76.2	103	1.51742580	0.000000072	0.09302	ACEPTADO
5	62.2	76.5	100.1	1.51731398	0.000000025	0.06977	ACEPTADO
2	56.9	77.9	102	1.51679213	0.000000133	0.32558	ACEPTADO
9	56.4	78.5	98.9	1.51656848	0.000000347	0.13953	ACEPTADO
7	58.8	79.1	101.7	1.51634483	0.000000660	0.13953	ACEPTADO
8	56.9	79.1	101.9	1.51634483	0.000000660	0.00000	ACEPTADO
<b>PROMEDIO</b>		<b>76.92</b>		<b>1.51715742</b>			
<b>S</b>				<b>0.00059115</b>			

**Cálculo de  $I_{\mathcal{R}}$  práctico tomando como ejemplo la lectura No. 5 de la muestra 14120101.**

usando la fórmula:  $I_{\mathcal{R}} = m T + b$

Donde:

$$m = - 0.00037275, b = 1.54582935, T = 72 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Obteniendo:

$$I_{\mathcal{R}} = - 0.00037275 (72 \text{ }^{\circ}\text{C}) + 1.54582935 = 1.51899135$$

El valor de  $I_{\mathcal{R}}$  de la lectura No. 5 es: **1.51899135**

De igual forma se calcula el índice de refracción para las nueve lecturas restantes de la muestra 14120101 sustituyendo únicamente la temperatura de equilibrio. Este procedimiento se aplica para la muestra 14120102.

Luego de calcular el índice de refracción para los diez valores de temperatura de equilibrio para cada muestra, aplicamos la prueba Q de igual forma como se explico en el estándar B-1 ( pag. 69)

Podemos observar que todos los valores de  $Q_{\text{experimental}}$  de la serie, para ambas muestras son menores que el  $Q_{\text{crítico}}$  (0.466) para un nivel de confianza del 95%.

**5.6 Aplicación de prueba t y prueba F para comparación de medias y desviaciones estándares para muestras 1 y 2 de cada vehículo.**

Tabla No.15: comparación de valores experimentales para prueba t y F con valores de tabla.

VEHICULO # 1					
COMPARACION DE MEDIAS:					COMPARACION DE DESVIACIONES ESTANDAR:
n1=	10				
n2=	10				
s1=	0.0008776			n1=	10
s2=	0.00059115			n2=	10
s=	0.00074821			s1=	0.000877604
$IR_{prom.1} =$	1.5172357			s2=	0.000591148
$IR_{prom.2} =$	1.51715742			$F_{exp} =$	2.203967132
OC=	0.05	0.01		OC=	0.05
$t_{critico} =$	2.1	2.88		$F_{critico} =$	4.026
$T_{exp} =$	0.2339358				

**Cálculo de la prueba t para las muestras del vehículo No. 1 utilizando los datos de la tabla No. 15.**

Calcular inicialmente una estimación conjunta de la desviación estándar a partir de las dos desviaciones estándares individuales utilizando la siguiente fórmula:

$$S^2 = \{ (n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2 \} / (n_1 + n_2 - 2)$$

$$S^2 = \{ (10 - 1)(0.0008776)^2 + (10 - 1)(0.00059115)^2 \} / (10 + 10 - 2) = 5.59 \times 10^{-7}$$

$$S = \sqrt{5.59 \times 10^{-7}} = \mathbf{0.00074821}$$

Ahora calculamos el valor de t con la siguiente ecuación:

$$t = (X_1 - X_2) / S \cdot (1/n_1 + 1/n_2)^{1/2}$$

$$t = (1.5172357 - 1.51715742) / 0.00074821 \cdot (1/10 + 1/10)^{1/2} = \mathbf{0.2339358}$$

**Cálculo de prueba F para las muestras del vehículo No. 1 utilizando los datos de la tabla No. 15.**

Utilizando la fórmula:  $F = S_1^2 / S_2^2$

$$F = (0.000877604)^2 / (0.000591148)^2 = \mathbf{2.203967132}$$

En el vehículo No. 1 se descarto la presencia de datos anómalos con la prueba Q; los valores de **t** y **F** calculados para éste vehículo son menores que los valores de **t** y **F** críticos, por lo tanto la hipótesis nula planteada de que “dos muestras procedentes de una misma fuente no presentan diferencia significativa en sus índices de refracción” no se rechaza con un 95% de confianza.

**Procedimiento a seguir para calcular los valores de índice de refracción, prueba “Q” , prueba t y prueba “F”, para las muestra 1 y 2 de los vehículos: 2, 3, .....hasta vehículo No. 10.**

El procedimiento para determinar el  $I\mathcal{R}$  práctico para las diez lecturas de cada muestra se planteo en la página 85; este procedimiento se aplica a las muestras 1 y 2 de cada vehículo.

Posterior se aplica la prueba Q para cada muestra como se detalla en la pág. 69. Con los valores aceptados se calculan los valores promedio de  $I\mathcal{R}$  y las desviaciones estándares para cada muestra; luego se procede a calcular los valores de la prueba **t y F** como se describe en la pág. 87

En la Tabla No. 44 (pág. 117) se presenta el resumen de resultados de los valores de  $I\mathcal{R}$ , pruebas **t y F**; para las muestras 1 y 2 de los vehículos: 1, 2, 3, 4,.....hasta vehículo No. 10.

Tabla No16. : Cálculo de  $IR$  y prueba de rechazo para muestra uno del vehículo dos.

Muestra 14120201							
LECTURA	T1 (°C)	TEQ.(°C)	T2(°C)	$IR$	$(IR - IR_{prom.})^2$	Q(0.05)=0.466	ESTADO
1	56.8	66.2	89.9	1.52115330	0.000000426		
5	59.8	67.3	94.1	1.52074328	0.000000059	0.39286	ACEPTADO
9	55.4	67.3	93.9	1.52074328	0.000000059	0.00000	ACEPTADO
4	58.6	67.7	94.7	1.52059418	0.000000009	0.14286	ACEPTADO
2	54.9	67.8	94.2	1.52055690	0.000000003	0.03571	ACEPTADO
10	58.7	68.2	93.2	1.52040780	0.000000009	0.14286	ACEPTADO
3	57.3	68.6	95.1	1.52025870	0.000000059	0.14286	ACEPTADO
7	60.7	68.6	93.1	1.52025870	0.000000059	0.00000	ACEPTADO
8	57.9	68.8	91.6	1.52018415	0.000000100	0.07143	ACEPTADO
6	59.8	69	92.2	1.52010960	0.000000153	0.07143	ACEPTADO
<b>PROMEDIO</b>		<b>67.95</b>		<b>1.52050099</b>			
<b>S</b>				<b>0.00032221</b>			

NOTA: Al aplicar la prueba Q a la serie de lecturas de la muestra 14120201, se obtiene que todos los valores son aceptados para un  $Q_{crítico}$  de 0.466 y con un 95% de confianza.

Tabla No.17: Cálculo de  $IR$  y prueba de rechazo para muestra dos del vehículo dos.

Muestra 14120202							
LECTURA	T1 (°C)	TEQ.(°C)	T2(°C)	$IR$	$(IR - IR_{prom.})^2$	Q(0.05)=0.466	ESTADO
2	53	66.9	93.5	1.52089238	0.000000257		
1	53.2	67	91.8	1.52085510	0.000000221	0.02703	ACEPTADO
9	58.7	67.4	96.6	1.52070600	0.000000103	0.10811	ACEPTADO
7	55.6	67.5	98	1.52066873	0.000000080	0.02703	ACEPTADO
4	57.3	68	94.8	1.52048235	0.000000009	0.13514	ACEPTADO
8	55.6	68	91.5	1.52048235	0.000000009	0.00000	ACEPTADO
5	56.8	68.2	97	1.52040780	0.000000001	0.05405	ACEPTADO
6	57.9	69	96.3	1.52010960	0.000000076	0.21622	ACEPTADO
3	54.5	70	95.4	1.51973685	0.000000421	0.27027	ACEPTADO
10	58.1	70.6	88.1	1.51951320	0.000000761	0.16216	ACEPTADO
<b>PROMEDIO</b>		<b>68.26</b>		<b>1.52038544</b>			
<b>S</b>				<b>0.00046397</b>			

NOTA: Al aplicar la prueba Q a la serie de lecturas de la muestra 14120202, se obtiene que todos los valores son aceptados para un  $Q_{critico}$  de 0.466 y con un 95% de confianza. Los valores promedio de  $IR$  y desviaciones estándar de la muestra 14120201 y 14120202 serán utilizados para calcular el valor de  $t_{critico}$  y  $F_{critico}$ .

Tabla No.18: comparación de valores experimentales para prueba t y F con valores de tabla.

VEHICULO # 2					
COMPARACION DE MEDIAS:				COMPARACION DE DESVIACIONES ESTANDAR:	
n1=	10			n1=	10
n2=	10			n2=	10
s1=	0.00032221			s1=	0.000322213
s2=	0.00046397			s2=	0.00046397
s=	0.00039943			F <sub>exp</sub> =	2.073457249
IR <sub>prom.1</sub> =	1.52050099				
IR <sub>prom.2</sub> =	1.52038544				
OC=	0.05	0.01		OC=	0.05
t <sub>crítico</sub> =	2.1	2.88		F <sub>crítico</sub> =	4.026
T <sub>exp</sub> =	0.64687924				

NOTA: Los valores de **t<sub>experimental</sub>** y **F<sub>experimental</sub>** para el vehículo No. 2 son menores que los valores de **t<sub>crítico</sub>** y **F<sub>crítico</sub>**, por lo que la hipótesis nula planteada no se rechaza para este vehículo con un 95% de confianza.

Tabla No.19: Cálculo de  $IR$  y prueba de rechazo para muestra uno del vehículo tres.

Muestra 14120301							
LECTURA	T1 (°C)	TEQ.(°C)	T2(°C)	$IR$	$(IR - IR_{prom.})^2$	$Q(0.05)=0.466$	ESTADO
3	59.1	68.5	84.1	1.52029598	0.000000528		
1	61	69.2	85.5	1.52003505	0.000000217	0.19444	ACEPTADO
8	60.3	69.2	90.1	1.52003505	0.000000217	0.00000	ACEPTADO
10	61.1	70.2	86.3	1.51966230	0.000000009	0.27778	ACEPTADO
4	61.3	70.5	89	1.51955048	0.000000000	0.08333	ACEPTADO
2	56.2	70.7	83.6	1.51947593	0.000000009	0.05556	ACEPTADO
6	56.4	71.2	92	1.51928955	0.000000078	0.13889	ACEPTADO
9	58.1	71.2	89	1.51928955	0.000000078	0.00000	ACEPTADO
5	61.8	71.7	92.2	1.51910318	0.000000217	0.13889	ACEPTADO
7	59.7	72.1	90.7	1.51895408	0.000000378	0.11111	ACEPTADO
<b>PROMEDIO</b>		<b>70.45</b>		<b>1.51956911</b>			
<b>S</b>				<b>0.00043867</b>			

NOTA: Todos los valores de  $Q_{experimental}$  son menores que el valor de  $Q_{critico}$ , por lo tanto en esta muestra se conserva el valor de  $n = 10$ , ya que no se elimina ningún dato de la serie.

Tabla No.20: Cálculo de  $IR$  y prueba de rechazo para muestra dos del vehículo tres.

Muestra 14120302							
LECTURA	T1 (°C)	TEQ.(°C)	T2(°C)	$IR$	$(IR - IR_{prom.})^2$	Q(0.05)=0.466	ESTADO
5	63.7	69.8	90.9	1.51981140	0.000000397		
4	61.9	69.9	88.3	1.51977413	0.000000351	0.02439	ACEPTADO
6	63.4	70.1	94.2	1.51969958	0.000000268	0.04878	ACEPTADO
10	63.6	71	91.7	1.51936410	0.000000033	0.21951	ACEPTADO
8	62	71.4	91.3	1.51921500	0.000000001	0.09756	ACEPTADO
9	65.5	71.8	91.4	1.51906590	0.000000013	0.09756	ACEPTADO
7	64.7	72.1	93.6	1.51895408	0.000000052	0.07317	ACEPTADO
1	65.4	72.2	92.5	1.51891680	0.000000070	0.02439	ACEPTADO
2	65.5	72.7	89.9	1.51873043	0.000000203	0.12195	ACEPTADO
3	64.2	73.9	90.4	1.51828313	0.000000807	0.29268	ACEPTADO
<b>PROMEDIO</b>		<b>71.49</b>		<b>1.51918145</b>			
<b>S</b>				<b>0.00049402</b>			

NOTA: En esta muestra se conserva el valor de  $n = 10$ , debido a que la prueba Q no rechaza ninguno de los valores de la serie.

Tabla No.21: comparación de valores experimentales para prueba t y F con valores de tabla.

VEHICULO # 3					
COMPARACION DE MEDIAS:				COMPARACION DE DESVIACIONES ESTANDAR:	
n1=	10			n1=	10
n2=	10			n2=	10
s1=	0.00043867			s1=	0.000438675
s2=	0.00049402			s2=	0.000494025
s=	0.00046717			F <sub>exp</sub> =	1.268271159
IR <sub>prom.1</sub> =	1.51957				
IR <sub>prom.2</sub> =	1.51918				
OC=	0.05	0.01		OC=	0.05
t <sub>crítico</sub> =	2.1	2.88		F <sub>crítico</sub> =	4.026
T <sub>exp</sub> =	1.85550004				

NOTA: Los valores de **t<sub>experimental</sub>** y **F<sub>experimental</sub>** para el vehículo No. 3 son menores que los valores de **t<sub>crítico</sub>** y **F<sub>crítico</sub>**, por lo que la hipótesis nula planteada no se rechaza para este vehículo con un 95% de confianza.

Tabla No. 22: Cálculo de  $IR$  y prueba de rechazo para muestra uno del vehículo cuatro.

Muestra 14120401							
LECTURA	T1 (°C)	TEQ.(°C)	T2(°C)	$IR$	$(IR - IR_{prom.})^2$	Q(0.05)=0.466	ESTADO
1	62.4	68.5	96.3	1.52029598	0.000000470		
3	60	69.9	94.4	1.51977413	0.000000027	0.48276	<b>RECHAZADO</b>
6	58.6	69.9	93.7	1.51977413	0.000000027	0.00000	ACEPTADO
2	58.6	70	92	1.51973685	0.000000016	0.03448	ACEPTADO
4	58.4	70.4	89.2	1.51958775	0.000000001	0.13793	ACEPTADO
9	59	70.4	90.8	1.51958775	0.000000001	0.00000	ACEPTADO
5	55.4	70.6	92.1	1.51951320	0.000000009	0.06897	ACEPTADO
7	58.7	71	94.5	1.51936410	0.000000061	0.13793	ACEPTADO
10	60.4	71.3	92.7	1.51925228	0.000000128	0.10345	ACEPTADO
8	59.6	71.4	88.5	1.51921500	0.000000156	0.03448	ACEPTADO
<b>PROMEDIO</b>		<b>70.34</b>		<b>1.51961012</b>			
<b>S</b>				<b>0.00031541</b>			

NOTA: Para la muestra uno del vehículo cuatro podemos observar que la prueba Q elimina el índice de refracción de la lectura número uno, quedando así nueve lecturas para el proceso estadístico y utilizando un valor de  $Q_{crit} = 0.493$  para un  $n = 9$ .

Tabla No. 23: Cálculo de  $IR$  y prueba de rechazo para muestra uno del vehículo cuatro con  $n = 9$ .

Muestra 14120401							
LECTURA	T1 (°C)	TEQ.(°C)	T2(°C)	$IR$	$(IR - IR_{prom.})^2$	Q(0.05)=0.493	ESTADO
3	60	69.9	94.4	1.51977413	0.000000058		
6	58.6	69.9	93.7	1.51977413	0.000000058	0.00000	ACEPTADO
2	58.6	70	92	1.51973685	0.000000041	0.06667	ACEPTADO
4	58.4	70.4	89.2	1.51958775	0.000000003	0.26667	ACEPTADO
9	59	70.4	90.8	1.51958775	0.000000003	0.00000	ACEPTADO
5	55.4	70.6	92.1	1.51951320	0.000000000	0.13333	ACEPTADO
7	58.7	71	94.5	1.51936410	0.000000029	0.26667	ACEPTADO
10	60.4	71.3	92.7	1.51925228	0.000000079	0.20000	ACEPTADO
8	59.6	71.4	88.5	1.51921500	0.000000102	0.06667	ACEPTADO
<b>PROMEDIO</b>		<b>70.54</b>		<b>1.51953391</b>			
<b>S</b>				<b>0.00020349</b>			

NOTA: En esta tabla se presentan los datos que son aceptados por la prueba Q para la muestra uno del vehículo número cuatro; con un valor de  $n = 9$  y  $Q_{crítico} = 0.493$  para un 95% de confianza. El valor promedio de  $IR$  que se utiliza para aplicar la prueba  $t$  y  $F$  es el valor de éstas nueve lecturas.

Tabla No.24: Cálculo de  $IR$  y prueba de rechazo para muestra dos del vehículo cuatro.

Muestra 14120402							
LECTURA	T1 (°C)	TEQ.(°C)	T2(°C)	$IR$	$(IR - IR_{prom.})^2$	Q(0.05)=0.466	ESTADO
3	57.9	68.8	86.8	1.52018415	0.000000181		
7	61.4	69	91.8	1.52010960	0.000000123	0.07407	ACEPTADO
1	59	69.5	89.2	1.51992323	0.000000027	0.18519	ACEPTADO
2	58.6	69.5	90.3	1.51992323	0.000000027	0.00000	ACEPTADO
6	60.7	69.5	90.3	1.51992323	0.000000027	0.00000	ACEPTADO
8	58.5	69.7	89.4	1.51984868	0.000000008	0.07407	ACEPTADO
10	61.7	70.2	90.1	1.51966230	0.000000009	0.18519	ACEPTADO
4	59.3	70.6	89.7	1.51951320	0.000000061	0.14815	ACEPTADO
9	56.8	71.1	89	1.51932683	0.000000187	0.18519	ACEPTADO
5	58.7	71.5	89.9	1.51917773	0.000000338	0.14815	ACEPTADO
<b>PROMEDIO</b>		<b>69.94</b>		<b>1.51975922</b>			
<b>S</b>				<b>0.00033117</b>			

NOTA: Todos los valores de  $Q_{experimental}$  son menores que el valor de  $Q_{crítico}$ , por lo tanto en esta muestra se conserva el valor de  $n = 10$ , ya que no se elimina ningún dato de la serie.

Tabla No.25: comparación de valores experimentales para prueba t y F con valores de tabla.

VEHICULO # 4					
COMPARACION DE MEDIAS:				COMPARACION DE DESVIACIONES ESTANDAR:	
n1=	9			n1=	9
n2=	10			n2=	10
s1=	0.00020349			s1=	0.00020349
s2=	0.00033117			s2=	0.000331168
s=	0.00027847			F <sub>exp</sub> =	2.648550124
IR <sub>prom.1</sub> =	1.51953391				
IR <sub>prom.2</sub> =	1.51975922				
OC=	0.05	0.01		OC=	0.05
t <sub>crítico</sub> =	2.11	2.88		F <sub>crítico</sub> =	4.357
t <sub>exp</sub> =	1.76089494				

Nota: El valor crítico de t para el vehículo número cuatro ha sido tomado de la tabla de distribución t-student mostrada en el anexo No. 9, para un valor de grados de libertad de 17, debido a que en la muestra 14120401 se elimino un valor, los grados de libertad para la desviación estándar conjunta cambia con respecto a las otras muestras.

Tabla No.26: Cálculo de  $IR$  y prueba de rechazo para muestra uno del vehículo cinco.

Muestra 14120501							
LECTURA	T1 (°C)	TEQ.(°C)	T2(°C)	$IR$	$(IR - IR_{prom.})^2$	$Q(0.05)=0.466$	ESTADO
2	66.9	74.7	97.9	1.51798493	0.000000139		
6	64.4	74.7	100.3	1.51798493	0.000000139	0.00000	ACEPTADO
10	64.5	75	101.5	1.51787310	0.000000068	0.13043	ACEPTADO
9	63.8	75.1	101.2	1.51783583	0.000000050	0.04348	ACEPTADO
1	63.5	75.3	100.8	1.51776128	0.000000022	0.08696	ACEPTADO
8	63.9	76	98.9	1.51750035	0.000000013	0.30435	ACEPTADO
7	61.6	76.3	101.3	1.51738853	0.000000050	0.13043	ACEPTADO
5	65.6	76.4	98	1.51735125	0.000000068	0.04348	ACEPTADO
4	66.4	76.5	97.6	1.51731398	0.000000089	0.04348	ACEPTADO
3	63	77	100.3	1.51712760	0.000000235	0.21739	ACEPTADO
<b>PROMEDIO</b>		<b>75.7</b>		<b>1.51761218</b>			
<b>S</b>				<b>0.00031137</b>			

NOTA: Todos los valores de  $Q_{experimental}$  son menores que el valor de  $Q_{critico}$ , por lo tanto en esta muestra se conserva el valor de  $n = 10$ , ya que no se elimina ningún dato de la serie.

Tabla No.27: Cálculo de  $IR$  y prueba de rechazo para muestra dos del vehículo cinco.

Muestra 14120502							
LECTURA	T1 (°C)	TEQ.(°C)	T2(°C)	$IR$	$(IR - IR_{prom.})^2$	Q(0.05)=0.466	ESTADO
4	61.8	74.7	102.5	1.51798493	0.000000292		
9	58.9	75.1	103.9	1.51783583	0.000000153	0.12121	ACEPTADO
1	64.1	75.2	101.1	1.51779855	0.000000125	0.03030	ACEPTADO
3	60	75.4	102.2	1.51772400	0.000000078	0.06061	ACEPTADO
10	64.3	76.1	101.6	1.51746308	0.000000000	0.21212	ACEPTADO
2	65.8	76.4	100.7	1.51735125	0.000000009	0.09091	ACEPTADO
5	63	76.8	99.4	1.51720215	0.000000059	0.12121	ACEPTADO
7	63.3	76.8	102	1.51720215	0.000000059	0.00000	ACEPTADO
6	59.8	77	99.5	1.51712760	0.000000100	0.06061	ACEPTADO
8	61.1	78	102.5	1.51675485	0.000000476	0.30303	ACEPTADO
<b>PROMEDIO</b>		<b>76.15</b>		<b>1.51744444</b>			
<b>S</b>				<b>0.00038747</b>			

NOTA: Todos los valores de  $Q_{experimental}$  son menores que el valor de  $Q_{critico}$ , por lo tanto en esta muestra se conserva el valor de  $n = 10$ , ya que no se elimina ningún dato de la serie.

Tabla No. 28: comparación de valores experimentales para prueba t y F con valores de tabla

VEHICULO # 5					
COMPARACION DE MEDIAS:				COMPARACION DE DESVIACIONES ESTANDAR:	
n1=	10			n1=	10
n2=	10			n2=	10
s1=	0.00031137			s1=	0.00031137
s2=	0.00038747			s2=	0.000387473
s=	0.00035149			F <sub>exp</sub> =	1.548566879
IR prom.1=	1.51761				
IR prom.2=	1.51744				
OC=	0.05	0.01		OC=	0.05
t <sub>crítico</sub> =	2.1	2.88		F <sub>crítico</sub> =	4.026
t <sub>exp</sub> =	1.06710199				

NOTA: Los valores de  $t_{\text{experimental}}$  y  $F_{\text{experimental}}$  para el vehículo número cinco son menores que los valores de  $t_{\text{crítico}}$  y  $F_{\text{crítico}}$ , por lo que la hipótesis nula planteada no se rechaza para este vehículo con un 95% de confianza.

Tabla No.29: Cálculo de  $IR$  y prueba de rechazo para muestra uno del vehículo seis.

Muestra 14120601							
LECTURA	T1 (°C)	TEQ.(°C)	T2(°C)	$IR$	$(IR - IR_{prom.})^2$	Q(0.05)=0.466	ESTADO
5	67	75.1	89.1	1.51783583	0.000000064		
9	64.5	75.3	77.2	1.51776128	0.000000032	0.18182	ACEPTADO
6	68	75.4	92.5	1.51772400	0.000000020	0.09091	ACEPTADO
1	67.2	75.8	90.5	1.51757490	0.000000000	0.36364	ACEPTADO
8	68.3	75.8	89.9	1.51757490	0.000000000	0.00000	ACEPTADO
10	69.1	75.9	91.4	1.51753763	0.000000002	0.09091	ACEPTADO
4	70.8	76	89.3	1.51750035	0.000000007	0.09091	ACEPTADO
3	70.8	76.1	89.9	1.51746308	0.000000014	0.09091	ACEPTADO
2	69.1	76.2	94.3	1.51742580	0.000000025	0.09091	ACEPTADO
7	68.7	76.2	91.6	1.51742580	0.000000025	0.00000	ACEPTADO
<b>PROMEDIO</b>		<b>75.78</b>		<b>1.51758236</b>			
<b>S</b>				<b>0.00014469</b>			

NOTA: Todos los valores de  $Q_{experimental}$  son menores que el valor de  $Q_{critico}$ , por lo tanto en esta muestra se conserva el valor de  $n = 10$ , ya que no se elimina ningún dato de la serie.

Tabla No.30: Cálculo de  $IR$  y prueba de rechazo para muestra dos del vehículo seis.

Muestra 14120602							
LECTURA	T1 (°C)	TEQ.(°C)	T2(°C)	$IR$	$(IR - IR_{prom.})^2$	Q(0.05)=0.466	ESTADO
1	63.5	74.6	90.3	1.51802213	0.000000105		
7	65	74.7	89.1	1.51798485	0.000000082	0.06667	ACEPTADO
5	64.6	75.1	87.1	1.51783575	0.000000019	0.26667	ACEPTADO
4	69.2	75.2	89.8	1.51779847	0.000000010	0.06667	ACEPTADO
10	67.5	75.3	90.3	1.51776120	0.000000004	0.06667	ACEPTADO
3	65.7	75.8	89.6	1.51757482	0.000000015	0.33333	ACEPTADO
6	65.3	75.9	90.8	1.51753755	0.000000026	0.06667	ACEPTADO
9	67.7	75.9	89.9	1.51753755	0.000000026	0.00000	ACEPTADO
2	66.5	76.1	88	1.51746300	0.000000055	0.13333	ACEPTADO
8	65.1	76.1	87.9	1.51746300	0.000000055	0.00000	ACEPTADO
<b>PROMEDIO</b>		<b>75.47</b>		<b>1.51769783</b>			
<b>S</b>				<b>0.00021016</b>			

NOTA: Todos los valores de  $Q_{experimental}$  son menores que el valor de  $Q_{critico}$ , por lo tanto en esta muestra se conserva el valor de  $n = 10$ , ya que no se elimina ningún dato de la serie.

Tabla No.31: comparación de valores experimentales para prueba t y F con valores de tabla.

VEHICULO # 6					
COMPARACION DE MEDIAS:				COMPARACION DE DESVIACIONES ESTANDAR:	
n1=	10			n1=	10
n2=	10			n2=	10
s1=	0.00014469			s1=	0.000144686
s2=	0.00021016			s2=	0.000210163
s=	0.00018042			F <sub>exp</sub> =	2.109893327
<i>IR</i> prom.1=	1.51758236				
<i>IR</i> prom.2=	1.51769783				
OC=	0.05	0.01		OC=	0.05
t <sub>crítico</sub> =	2.1	2.88		F <sub>crítico</sub> =	4.026
t <sub>exp</sub> =	1.43118777				

NOTA: Los valores de **t<sub>experimental</sub>** y **F<sub>experimental</sub>** para el vehículo No. 6 son menores que los valores de **t<sub>crítico</sub>** y **F<sub>crítico</sub>**, por lo que la hipótesis nula planteada no se rechaza para este vehículo con un 5% de confianza.

Tabla No.32: Cálculo de  $IR$  y prueba de rechazo para muestra uno del vehículo siete.

Muestra 14120701							
LECTURA	T1 (°C)	TEQ.(°C)	T2(°C)	$IR$	$(IR - IR_{prom})^2$	Q(0.05)=0.466	ESTADO
4	61.1	75.5	101.9	1.51768673	0.000000177		
5	62.5	75.9	102.7	1.51753763	0.000000074	0.16000	ACEPTADO
7	61.9	76	99.2	1.51750035	0.000000055	0.04000	ACEPTADO
3	62.3	76.1	99.9	1.51746308	0.000000039	0.04000	ACEPTADO
1	61	76.3	104.8	1.51738853	0.000000015	0.08000	ACEPTADO
8	65	76.6	103.8	1.51727670	0.000000000	0.12000	ACEPTADO
6	64.3	77	102.5	1.51712760	0.000000019	0.16000	ACEPTADO
9	61.3	77	100.1	1.51712760	0.000000019	0.00000	ACEPTADO
2	62.1	77.9	102	1.51679213	0.000000224	0.36000	ACEPTADO
10	62.9	78	99.9	1.51675485	0.000000261	0.04000	ACEPTADO
<b>PROMEDIO</b>		<b>76.63</b>		<b>1.51726552</b>			
<b>S</b>				<b>0.00031337</b>			

NOTA: Todos los valores de  $Q_{experimental}$  son menores que el valor de  $Q_{critico}$ , por lo tanto en esta muestra se conserva el valor de  $n = 10$ , ya que no se elimina ningún dato de la serie.

Tabla No.33: Cálculo de  $IR$  y prueba de rechazo para muestra dos del vehículo siete.

Muestra 14120702							
LECTURA	T1 (°C)	TEQ.(°C)	T2(°C)	$IR$	$(IR - IR_{prom.})^2$	Q(0.05)=0.466	ESTADO
1	65.1	75.5	101.1	1.51768673	0.000000440		
2	64.3	76.6	102.1	1.51727670	0.000000064	0.37931	ACEPTADO
3	60	76.7	100	1.51723943	0.000000047	0.03448	ACEPTADO
4	62.2	76.8	100.3	1.51720215	0.000000032	0.03448	ACEPTADO
5	60.1	77.3	101.3	1.51701578	0.000000000	0.17241	ACEPTADO
6	61.4	77.6	101.9	1.51690395	0.000000014	0.10345	ACEPTADO
7	64.9	77.7	100.4	1.51686668	0.000000025	0.03448	ACEPTADO
8	65.7	77.9	99.3	1.51679213	0.000000053	0.06897	ACEPTADO
9	67.7	78.3	96.4	1.51664303	0.000000145	0.13793	ACEPTADO
10	68	78.4	97.2	1.51660575	0.000000174	0.03448	ACEPTADO
<b>PROMEDIO</b>		<b>77.28</b>		<b>1.51702323</b>			
<b>S</b>				<b>0.00033238</b>			

NOTA: Todos los valores de  $Q_{experimental}$  son menores que el valor de  $Q_{critico}$ , por lo tanto en esta muestra se conserva el valor de  $n = 10$ , ya que no se elimina ningún dato de la serie.

Tabla No. 34: comparación de valores experimentales para prueba t y F con valores de tabla.

VEHICULO # 7					
COMPARACION DE MEDIAS:				COMPARACION DE DESVIACIONES ESTANDAR:	
n1=	10				
n2=	10			n2=	10
s1=	0.00031337			s1=	0.000313371
s2=	0.00033238			s2=	0.000332377
s=	0.00032301			F <sub>exp</sub> =	1.124980349
IR prom.1=	1.51726552				
IR prom.2=	1.51702323				
OC=	0.05	0.01		OC=	0.05
t <sub>crítico</sub> =	2.1	2.88		F <sub>crítico</sub> =	4.026
t <sub>exp</sub> =	1.67723708				

NOTA: Los valores de  $t_{\text{experimental}}$  y  $F_{\text{experimental}}$  para el vehículo No. 7 son menores que los valores de  $t_{\text{crítico}}$  y  $F_{\text{crítico}}$ , por lo que la hipótesis nula planteada no se rechaza para este vehículo con un 95% de confianza.

Tabla No. 35: Cálculo de  $IR$  y prueba de rechazo para muestra uno del vehículo ocho.

Muestra 14120801							
LECTURA	T1 (°C)	TEQ.(°C)	T2(°C)	$IR$	$(IR - IR_{prom.})^2$	Q(0.05)=0.466	ESTADO
9	69.8	80	108.3	1.51600935	0.000000512		
7	64.4	81.1	108	1.51559933	0.000000093	0.28205	ACEPTADO
1	70.4	81.3	104.5	1.51552478	0.000000053	0.05128	ACEPTADO
2	65.1	81.8	103.3	1.51533840	0.000000002	0.12821	ACEPTADO
3	64.6	81.8	105.1	1.51533840	0.000000002	0.00000	ACEPTADO
8	67.1	82	109.6	1.51526385	0.000000001	0.05128	ACEPTADO
10	66.8	82	108.4	1.51526385	0.000000001	0.00000	ACEPTADO
4	66.5	82.6	108.6	1.51504020	0.000000064	0.15385	ACEPTADO
5	66.2	82.7	108.6	1.51500293	0.000000085	0.02564	ACEPTADO
6	64.2	83.9	108.6	1.51455563	0.000000545	0.30769	ACEPTADO
<b>PROMEDIO</b>		<b>81.92</b>		<b>1.51529367</b>			
<b>S</b>				<b>0.00038849</b>			

NOTA: Todos los valores de  $Q_{experimental}$  son menores que el valor de  $Q_{critico}$ , por lo tanto en esta muestra se conserva el valor de  $n = 10$ , ya que no se elimina ningún dato de la serie.

Tabla No. 36: Cálculo de  $IR$  y prueba de rechazo para muestra dos del vehículo ocho.

Muestra 14120802							
LECTURA	T1 (°C)	TEQ.(°C)	T2(°C)	$IR$	$(IR - IR_{prom.})^2$	Q(0.05)=0.466	ESTADO
1	63	80	101.3	1.51600935	0.000000221		
2	65	80.1	101.3	1.51597208	0.000000187	0.04000	ACEPTADO
3	62.9	80.8	100.8	1.51571115	0.000000029	0.28000	ACEPTADO
4	63	80.8	101.2	1.51571115	0.000000029	0.00000	ACEPTADO
5	65.8	80.9	105.1	1.51567388	0.000000018	0.04000	ACEPTADO
6	64.6	81	102.8	1.51563660	0.000000009	0.04000	ACEPTADO
7	68.1	81.7	101.6	1.51537568	0.000000027	0.28000	ACEPTADO
8	67.3	82.3	104	1.51515203	0.000000150	0.24000	ACEPTADO
9	64.1	82.5	102.4	1.51507748	0.000000214	0.08000	ACEPTADO
10	68.4	82.5	101.8	1.51507748	0.000000214	0.00000	ACEPTADO
<b>PROMEDIO</b>		<b>81.26</b>		<b>1.51553969</b>			
<b>S</b>				<b>0.00034932</b>			

NOTA: Todos los valores de  $Q_{experimental}$  son menores que el valor de  $Q_{crítico}$ , por lo tanto en esta muestra se conserva el valor de  $n = 10$ , ya que no se elimina ningún dato de la serie.

Tabla No.37: comparación de valores experimentales para prueba t y F con valores de tabla.

VEHICULO # 8					
COMPARACION DE MEDIAS:				COMPARACION DE DESVIACIONES ESTANDAR:	
n1=	10				
n2=	10				
s1=	0.00038849			n1=	10
s2=	0.00034932			n2=	10
s=	0.00036942			s1=	0.000388487
$IR_{prom.1}$ =	1.51529367			s2=	0.000349317
$IR_{prom.2}$ =	1.51553969			$F_{exp}$ =	1.236842105
OC=	0.05	0.01		OC=	0.05
tcrítico=	2.1	2.88		Fcrítico=	4.026
$t_{exp}$ =	1.48910067				

NOTA: Los valores de  $t_{experimental}$  y  $F_{experimental}$  para el vehículo No. 8 son menores que los valores de  $t_{crítico}$  y  $F_{crítico}$ , por lo que la hipótesis nula planteada no se rechaza para este vehículo con un 95% de confianza.

Tabla No.38: Cálculo de  $IR$  y prueba de rechazo para muestra uno del vehículo nuevo.

Muestra 14120901							
LECTURA	T1 (°C)	TEQ.(°C)	T2(°C)	$IR$	$(IR - IR_{prom.})^2$	Q(0.05)=0.466	ESTADO
1	62.9	72.3	86.6	1.51887953	0.000000042		
8	60.6	72.3	86.1	1.51887953	0.000000042	0.00000	ACEPTADO
6	62	72.7	88.8	1.51873043	0.000000003	0.33333	ACEPTADO
7	63.3	72.7	84.5	1.51873043	0.000000003	0.00000	ACEPTADO
4	58.7	72.8	88.2	1.51869315	0.000000000	0.08333	ACEPTADO
5	58.6	72.8	86.4	1.51869315	0.000000000	0.00000	ACEPTADO
3	60.3	73.1	87.1	1.51858133	0.000000009	0.25000	ACEPTADO
10	62.1	73.1	89.7	1.51858133	0.000000009	0.00000	ACEPTADO
9	61.7	73.2	86.7	1.51854405	0.000000017	0.08333	ACEPTADO
2	61	73.5	87	1.51843223	0.000000059	0.25000	ACEPTADO
<b>PROMEDIO</b>		<b>72.85</b>		<b>1.51867451</b>			
<b>S</b>				<b>0.00014302</b>			

NOTA: Todos los valores de  $Q_{experimental}$  son menores que el valor de  $Q_{crítico}$ , por lo tanto en esta muestra se conserva el valor de  $n = 10$ , ya que no se elimina ningún dato de la serie.

Tabla No.39: Cálculo de  $\bar{I}R$  y prueba de rechazo para muestra dos del vehículo nueve.

Muestra 14120902							
LECTURA	T1 (°C)	TEQ.(°C)	T2(°C)	$I\mathcal{R}$	$(I\mathcal{R} - I\mathcal{R}_{prom.})^2$	$Q(0.05)=0.466$	ESTADO
1	55.4	72	90.9	1.51899135	0.000000033		
2	60.6	72	88.9	1.51899135	0.000000033	0.00000	ACEPTADO
8	61.7	72.1	88.5	1.51895408	0.000000021	0.09091	ACEPTADO
5	57.3	72.3	90	1.51887953	0.000000005	0.18182	ACEPTADO
6	59.2	72.4	90.5	1.51884225	0.000000001	0.09091	ACEPTADO
7	57.9	72.5	88.4	1.51880498	0.000000000	0.09091	ACEPTADO
9	57.1	72.6	89.7	1.51876770	0.000000002	0.09091	ACEPTADO
3	61.3	72.9	89.1	1.51865588	0.000000023	0.27273	ACEPTADO
4	57.4	73	89.2	1.51861860	0.000000036	0.09091	ACEPTADO
10	59.6	73.1	90.5	1.51858133	0.000000052	0.09091	ACEPTADO
<b>PROMEDIO</b>		<b>72.49</b>		<b>1.51880870</b>			
<b>S</b>				<b>0.00015162</b>			

NOTA: Todos los valores de  $Q_{experimental}$  son menores que el valor de  $Q_{critico}$ , por lo tanto en esta muestra se conserva el valor de  $n = 10$ , ya que no se elimina ningún dato de la serie.

Tabla No.40 : comparación de valores experimentales para prueba t y F con valores de tabla.

VEHICULO # 9					
COMPARACION DE MEDIAS:				COMPARACION DE DESVIACIONES ESTANDAR:	
n1=	10				
n2=	10				
s1=	0.00014302			n1=	10
s2=	0.00015162			n2=	10
s=	0.00014738			s1=	0.000143022
$IR_{prom.1}$ =	1.51867451			s2=	0.000151616
$IR_{prom.2}$ =	1.5188087			$F_{exp}$ =	1.123773585
OC=	0.05	0.01		OC=	0.05
t <sub>crítico</sub> =	2.1	2.88		F <sub>crítico</sub> =	4.026
t <sub>exp</sub> =	2.03592469				

NOTA: Los valores de  $t_{experimental}$  y  $F_{experimental}$  para el vehículo No. 9 son menores que los valores de  $t_{crítico}$  y  $F_{crítico}$ , por lo que la hipótesis nula planteada no se rechaza para este vehículo con un 95% de confianza.

Tabla No.41 : Cálculo de  $IR$  y prueba de rechazo para muestra uno del vehículo diez.

Muestra 14121001							
LECTURA	T1 (°C)	TEQ.(°C)	T2(°C)	$IR$	$(IR - IR_{prom.})^2$	Q(0.05)=0.466	ESTADO
2	58.9	72	98.6	1.51899135	0.000000057		
5	62.9	72	98.5	1.51899135	0.000000057	0.00000	ACEPTADO
6	59.5	72	99	1.51899135	0.000000057	0.00000	ACEPTADO
7	62.8	72.2	97.5	1.51891680	0.000000027	0.10000	ACEPTADO
8	58.6	72.4	97	1.51884225	0.000000008	0.10000	ACEPTADO
9	58.4	72.5	97.8	1.51880498	0.000000003	0.05000	ACEPTADO
4	61.6	73	97.8	1.51861860	0.000000018	0.25000	ACEPTADO
3	59.1	73.1	97.9	1.51858133	0.000000029	0.05000	ACEPTADO
10	60	73.2	99.9	1.51854405	0.000000044	0.05000	ACEPTADO
1	61	74	99.5	1.51824585	0.000000257	0.40000	ACEPTADO
<b>PROMEDIO</b>		<b>72.64</b>		<b>1.51875279</b>			
<b>S</b>				<b>0.00024862</b>			

NOTA: Todos los valores de  $Q_{experimental}$  son menores que el valor de  $Q_{critico}$ , por lo tanto en esta muestra se conserva el valor de  $n = 10$ , ya que no se elimina ningún dato de la serie.

Tabla No.42 : Cálculo de  $IR$  y prueba de rechazo para muestra dos del vehículo diez.

Muestra 14121002							
LECTURA	T1 (°C)	TEQ.(°C)	T2(°C)	$IR$	$(IR - IR_{prom})^2$	Q(0.05)=0.466	ESTADO
9	66	72	94.3	1.51899135	0.000000174		
1	65.1	72.5	93	1.51880498	0.000000053	0.26316	ACEPTADO
6	64.7	72.9	91.5	1.51865588	0.000000007	0.21053	ACEPTADO
10	63.5	72.9	93	1.51865588	0.000000007	0.00000	ACEPTADO
7	60.6	73	93.5	1.51861860	0.000000002	0.05263	ACEPTADO
2	62.8	73.3	94.5	1.51850678	0.000000005	0.15789	ACEPTADO
3	64.7	73.4	92.9	1.51846950	0.000000011	0.05263	ACEPTADO
8	64.1	73.5	94.1	1.51843223	0.000000020	0.05263	ACEPTADO
4	60	73.8	92.4	1.51832040	0.000000064	0.15789	ACEPTADO
5	65.4	73.9	92.6	1.51828313	0.000000085	0.05263	ACEPTADO
<b>PROMEDIO</b>		<b>73.12</b>		<b>1.51857387</b>			
<b>S</b>				<b>0.00021792</b>			

NOTA: Todos los valores de  $Q_{experimental}$  son menores que el valor de  $Q_{critico}$ , por lo tanto en esta muestra se conserva el valor de  $n = 10$ , ya que no se elimina ningún dato de la serie.

Tabla No.43: comparación de valores experimentales para prueba t y F con valores de tabla.

VEHICULO # 10					
COMPARACION DE MEDIAS:				COMPARACION DE DESVIACIONES ESTANDAR:	
n1=	10				
n2=	10				
s1=	0.00024862			n1=	10
s2=	0.00021792			n2=	10
s=	0.00023377			s1=	0.000248624
$IR_{prom.1}$ =	1.51875279			s2=	0.000217916
$IR_{prom.2}$ =	1.51857387			$F_{exp}$ =	1.301690507
OC=	0.05	0.01		OC=	0.05
t <sub>crítico</sub> =	2.1	2.88		F <sub>crítico</sub> =	4.026
t <sub>exp</sub> =	1.71137768				

NOTA: Los valores de  $t_{experimental}$  y  $F_{experimental}$  para el vehículo No.10 son menores que los valores de  $t_{crítico}$  y  $F_{crítico}$ , por lo que la hipótesis nula planteada no se rechaza para este vehículo con un 95% de confianza.

### Resumen de resultados para muestras de vidrio

Tabla 44. Valores de  $IR$  experimental para muestras de vidrio y pruebas de aceptación y/o rechazo.

Vehículo	$IR$ experimental para muestra 1	$IR$ experimental para muestra 2	Valor de t crítico	Valor de t experimental	Valor de F crítico	Valor de F experimental
1	1.51723570	1.51715742	2.1	0.23393580	4.026	2.203967132
2	1.52050099	1.52038544	2.1	0.64687924	4.026	2.073457249
3	1.51956911	1.51918145	2.1	1.85550004	4.026	1.268271159
4	1.51953391	1.51975922	2.11	1.76089494	4.357	2.648550124
5	1.51761218	1.51744444	2.1	1.06710199	4.026	1.548566879
6	1.51758236	1.51769783	2.1	1.43118777	4.026	2.109893327
7	1.51726552	1.51702323	2.1	1.67723708	4.026	1.124980349
8	1.51529367	1.51553969	2.1	1.48910067	4.026	1.236842105
9	1.51867451	1.51880870	2.1	2.03592469	4.026	1.123773585
10	1.51875279	1.51857387	2.1	1.71137768	4.026	1.301690507

Ver Anexo No. 6: Identificación de muestras por códigos

## INTERPRETACION DE RESULTADOS OBTENIDOS PARA MUESTRAS DE VIDRIO DE VEHÍCULOS.

Con los valores  $m = -0.00037275$  y  $b = 1.54582935$  calculados de los datos de la curva de calibración se calculó el índice de refracción para las temperaturas de equilibrio de cada lectura (**TEQ.**) Luego de obtener el  $IR$  para cada muestra se aplicó la prueba Q, observando que una de las muestras (14120401) presenta un dato anómalo, el cual se elimina para continuar el proceso estadístico aplicando la prueba nuevamente con los datos restantes y cambiando el valor de  $Q_{crítico}$  (0.493) para un valor de  $n = 9$ . Con los valores de  $IR$  resultantes para cada muestra se obtuvo el estadístico de prueba  $t$  y prueba  $F$  para comparación de medias y desviaciones estándar respectivamente, comparando ambas muestras de cada vehículo; los valores se presentan en la tabla No. 44, en la cual se puede observar que todos los vehículos presentan un valor de  $t$  experimental menor al  $t$  crítico = 2.1, al igual que el  $F$  experimental es menor que el  $F$  crítico = 4.026 y 4.357. Estos valores permiten concluir si la hipótesis nula propuesta se acepta o se rechaza. Si tomamos el promedio del cálculo de exactitud para los 5 estándares tenemos una exactitud en términos de porcentaje de un 99.99%.

**CAPÍTULO VI**  
**CONCLUSIONES**

## 6.0 CONCLUSIONES

- 1- Con el análisis estadístico aplicado a los resultados obtenidos de las muestras de vidrio procedentes de parabrisas de vehículos automotores se puede hacer una comparación entre dos muestras que proceden de una misma fuente y comprobar que no existe diferencia significativa a un nivel de confianza del 95%, entre los índices de refracción que presentan dichas muestras; comprobando así que la hipótesis nula propuesta no se rechaza.
- 2- Después de realizar las pruebas no destructivas en un análisis de vidrio, la composición química de éste es un factor determinante para un análisis más completo si se cuenta con los recursos para realizarlo ya que nos permitiría descartar un origen común de dos muestras en caso de presentar iguales índices de refracción y no considerar éste como definitivo.
- 3- El tamaño del fragmento de vidrio seleccionado para realizar la serie de lecturas, influye en la facilidad que puede tener el analista para determinar la temperatura de equilibrio, ocasionando que el error aleatorio afecte el resultado estadístico.
- 4- Con la prueba t y prueba F podemos relacionar una muestra de vidrio de origen desconocido con una de origen conocido, comparando sus índices de refracción y determinar un origen común si la diferencia entre ambas muestras no es mayor del 5%.

- 5- Al aplicar la prueba para contraste de hipótesis, con los datos obtenidos por la investigación realizada y datos de referencia proporcionados por la División Policía Técnica Científica, se comprueba que las dos series de datos no presentan diferencia significativa a un nivel del 95% de confianza y que existe repetibilidad en los datos.
- 6- Los parámetros de validación calculados indican que los datos obtenidos con el método utilizado tiene una exactitud aproximada en términos de porcentaje de un 99.99%, un coeficiente de variación (C.V) menor del 10% lo que indica que la media de los valores es altamente representativa (Ver anexo No. 10) y con un coeficiente de correlación lineal aceptado.
- 7- El método planteado en esta investigación queda validado según los datos obtenidos.

**CAPÍTULO VII**  
**RECOMENDACIONES**

## 7.0 RECOMENDACIONES

- 1- Para el presente método de análisis puede emplearse el diseño estadístico validado en este trabajo para tener datos respaldados por los parámetros de validación aquí calculados.
- 2- Se debe realizar el análisis de  $IR$  posterior a las pruebas no destructivas ya que estas nos permitirían detectar si hay diferencia entre la muestra sospechosa y la muestra de comparación, y así hacer un análisis más corto, ejemplo: una diferencia de color en los fragmentos de ambas muestra nos llevan a la conclusión de que no proceden de la misma fuente y no tendría caso seguir con el análisis usando pruebas más sofisticadas.
- 3- Hacer un lavado con etanol a los fragmentos antes de triturarlos y dejar secar, para eliminar alguna suciedad que afecte el proceso de las lecturas de temperaturas.
- 4- Que los portaobjetos, cubreobjetos utilizados en la preparación de la muestra y lente protector de la platina calefactora; deberán estar limpios y no presentar apariencia empañada a la hora de realizar la corrida de la lectura.
- 5- Asegurarse que el mortero metálico utilizado para triturar las muestras no tenga residuos de moho que puedan adherirse a los fragmentos de vidrio.

- 6- Seleccionar un fragmento de vidrio no muy grande, ni con bordes muy gruesos y utilizar este mismo fragmento para toda la serie de lecturas que se realizará a dicha muestra, para evitar que la diferencia entre los fragmentos sea fuente de error. También debe evitarse la interrupción al analista al momento de realizar las lecturas ya que un descuido en cuestión de segundos ocasiona una variación notable en la determinación de las temperaturas.
- 7- Realizar un proceso de calibración periódicamente usando los estándares de vidrio, para verificar que las condiciones del equipo se mantienen, utilizando como dato de referencia el análisis más reciente.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Alamilla Orellana, F.(2004). *Protocolo de Vidrios*. Capacitación para análisis forense.
2. Almirall J. (1998). *Curso de Análisis de Vidrio. Metodología General Para Análisis de Una Muestra de Vidrio*.
3. Bonilla G. Elementos de Estadística Descriptiva y Probabilidades. Primera edición. Pag. 292-298.
4. Hero Hernández A. (1962) *Fabricación y Trabajo del Vidrio*. Segunda Edición, España, Editorial Sintesis. pag.6 - 7
5. H. J., L. D. Pye, W. C. LaCourse (1972). *Introduction To Glass Science*, Plenum Press. New York-London. Pag. 3
6. Huerta G. Tipos de Vidrio: Disponible en :  
<http://www.google.com/sv/search?hl=es&q=tipos+de+vidrio&lr=>.
7. Internacional Association of Forensic Sciences(1981); Problemas en la Determinación de Índice de Refracción en Fragmentos de Vidrio.
8. Sorto Mirna L, T. T. Tesis para optar a la maestria a estadística aplicada al análisis químico, Cap.3, Pag. 3-16, 3-17.
9. Miller J. C., Millar J. N. (1993). *Estadística Para Química Analítica*. Segunda Edición, Addison-Wesley Iberoamerican, S.A, Estados Unidos.

10. Professional Standards Division of the International Association of Chiefs of Police (1973); Training Key (Llave de entrenamiento), artículo 202, publicado para la Asociación Internacional de Investigación Policial.
11. Raymond E. K. (1965). *Enciclopedia de Tecnología Química*. Tomo XV, Primera Edición en Español, México, Editorial Hispano-Americana, pag.916.
12. Skirda M. A. Forensic Glass Comparisons. Royal Canadian Mounted Police Forensic Laboratory Halifax. Nova Scotia. Canada.
13. Skoog West (2001), *Química Analítica*, Séptima Edición, Mexico, Mc.Graw Hill. pag (164 – 165)
14. Taro Yamane (1979 ), *Estadística*, Tercera Edición, México, Harlas S . A de C. V.
15. United States Pharmacopeial Convention, United States Pharmacopeia XXV and National Formulary XX (2002), Inc. pag.2256 .

## GLOSARIO

**Errores sistemáticos:** Son aquellos que provocan que todos los resultados sean erróneos. Estos errores afectan la exactitud, es decir la proximidad al valor verdadero. <sup>(9)</sup>

**Errores aleatorios:** Son los que provocan que los resultados individuales caigan a ambos lados del valor medio, afectando la precisión o reproducibilidad de un experimento. <sup>(9)</sup>

**Palet:** Tanque de fabricación que contiene una mezcla homogénea. <sup>(4)</sup>

**Rampa de temperatura:** Es el recorrido desde una temperatura inicial hasta una temperatura final y viceversa. <sup>(1)</sup>

**Turismo de gama baja y media:** Se refieren a vehículos fabricados con una calidad de vidrio según el costo que la marca de vehículos requiere. <sup>(1)</sup>

**Índice de refracción:** Es la relación existente entre la velocidad de la luz en el vacío ( $3.0 \times 10^8$  m/seg) y el medio estudiado. <sup>(1)</sup>

**Validación:** Es el proceso establecido para la obtención de pruebas documentadas y demostrativas de que un método de análisis es lo suficientemente fiable y reproducible, para generar el resultado previsto, dentro de intervalos definidos. <sup>(15)</sup>

**Temperatura de equilibrio:** Es aquella en la cual el  $IR$  del vidrio y el aceite se igualan, observando la desaparición del fragmento de vidrio de la línea de visión. <sup>(1)</sup>

**Desviación estándar conjunta:** Es la estimación conjunta de la desviación estándar a partir de las dos desviaciones estándar individuales  $S_1$  y  $S_2$ . <sup>(9)</sup>

**Refracción:** Consiste en el cambio de la dirección de propagación de un haz de luz o radiación al pasar de un medio a otro. <sup>(13)</sup>

**Angulo de incidencia:** Angulo formado entre el rayo incidente y la normal y es denominado como  $\theta_1$ . <sup>(13)</sup>

**Angulo de refracción:** Angulo formado por la normal y el rayo refractado y es denominado como  $\theta_2$ . <sup>(13)</sup>

**ANEXOS**

## ANEXO No. 1

Tabla No. 45 : Lecturas de temperatura recolectadas durante el análisis.

Lecturas/Estándar B - 1	T1	TEQ.	T2
1	37.5	46.2	55.9
2	42	47.5	54.7
3	41.6	46.2	54.7
4	41.2	47.6	54.7
5	43.7	47.9	53.8
6	41.3	46.9	54.5
7	45.0	47.0	49.1
8	40.6	46.8	54.8
9	42.6	47.1	56.8
10	46.0	48.1	49.8
Media		<b>47.13</b>	

## ANEXO No. 2

Tabla No.46 : Lecturas de temperatura recolectadas durante el análisis.

Lecturas/Estándar B - 3	T1	TEQ.	T2
1	46.7	55.6	81.2
2	49.4	60.8	78.4
3	51.9	60.0	79.8
4	52.9	61.9	80.8
5	45.0	60.3	76.8
6	51.6	61.3	75.7
7	48.7	59.4	79.4
8	51.1	62.1	77.3
9	49.3	59.9	82
10	52.2	59.8	80.5
Media		<b>60.1</b>	

### ANEXO No. 3

Tabla No. 47: Lecturas de temperatura recolectadas durante el análisis.

Lecturas/Estándar B - 4	T1	TEQ.	T2
1	63.5	70.2	82.7
2	61.3	71.4	82.0
3	63.5	71.2	81.5
4	62.9	72.3	82.3
5	63.9	69.9	82.2
6	62.8	71.5	81.4
7	62.4	71.3	82.5
8	65.2	70.8	81.4
9	59.8	71.8	82.1
10	62.8	71.3	82.3
Media		<b>71.17</b>	

#### ANEXO No. 4

Tabla No.48: Lecturas de temperatura recolectadas durante el análisis.

Lecturas/Estándar B - 7	T1	TEQ.	T2
1	75.7	86.6	103.0
2	75.9	85.1	105.6
3	77.5	85.8	107.5
4	76.2	90.0	101.1
5	74.2	93.2	102.1
6	70.7	85.6	99.7
7	75.5	86.7	102.0
8	77.1	85.6	99.2
9	75.9	86.6	100.4
10	72.1	86.0	98.4
Media		<b>87.12</b>	

## ANEXO No. 5

Tabla No.49: Lecturas de temperatura recolectadas durante el análisis.

Lecturas/Estándar B - 8	T1	TEQ.	T2
1	76.0	92.6	117.9
2	74.1	89.7	112.6
3	74.1	91.0	111.6
4	75.3	90.9	107.4
5	80.0	92.9	110.2
6	78.9	91.0	112.8
7	75.1	91.6	112.6
8	79.7	90.8	110.6
9	74.6	87.6	112.9
10	79.0	94.8	110.6
Media		<b>91.3</b>	

## ANEXO No. 6

Tabla No. 50: Hoja recolectora de datos de muestras de vidrios provenientes de parabrisas de vehículos automotores.

No. Auto	Marca Y No. Placa	Modelo	Año	No. de VIN*	Código	
					Muestra 1	Muestra 2
1	TOYOTA CORONA P 134-968	X-L	No visible	No visible	14120101 (+)	14120102 (+)
2	HONDA WORLD P 485-931	No visible	1997	1HGCD5680VA184399	14120201 (-)	14120202 (-)
3	HYUNDAI P 486-569	Elantra	1997	KMHJF24M9VU546805	14120301 (-)	14120302 (-)
4	HONDA P 449-225	No visible	No visible	No visible	14120401 (-)	14120402 (-)
5	TOYOTA (microbús) P 363-296	No visible	1984	JT4YR27VOF0012552	14120501 (-)	14120502 (-)
6	HYUNDAI P 425-360	Elantra	2005	KMHYD14N35UO52977	14120601 (+)	14120602 (+)
7	TOYOTA (microbús) P 134-243	No visible	No visible	No visible	14120701 (+)	14120702 (+)

### ANEXO No.6: CONTINUACION

<b>8</b>	DATSUN (taxi) P 274-079	120 Y	No visible	No visible	14120801 (+)	14120802 (+)
<b>9</b>	TOYOTA (doble cabina) P 812- 24	HILUX D-4-D	2005	8AJER32G404003739	14120901 (-)	14120902 (-)
<b>10</b>	HONDA CIVIC P 186-009	No visible	1984	JHMAG4313E5003688	14121001 (-)	14121002 (-)

**\*VIN:** Vehicle Identification Number

**(+):** Vidrio templado.

**(-):** Vidrio laminado

**Nota:** El parámetro clasificado como no visible se asigna a los vehículos que presentan daños físicos que impiden extraer la información.

### ANEXO No. 7

Tabla No. 51: Valores Críticos de F para una prueba de dos colas ( $P = 0.05$ ). (9)

$\nu_1 \backslash \nu_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20
1	647.8	799.5	864.2	899.6	921.8	937.1	948.2	956.7	963.3	968.6	976.7	984.9	993.1
2	38.51	39.00	39.17	39.25	39.30	39.33	39.36	39.37	39.39	39.40	39.41	39.43	39.45
3	17.44	16.04	15.44	15.10	14.88	14.73	14.62	14.54	14.47	14.42	14.34	14.25	14.17
4	12.22	10.65	9.979	9.605	9.364	9.197	9.074	8.980	8.905	8.844	8.751	8.657	8.560
5	10.01	8.434	7.764	7.388	7.146	6.978	6.853	6.757	6.681	6.619	6.525	6.428	6.329
6	8.813	7.260	6.599	6.227	5.988	5.820	5.695	5.600	5.523	5.461	5.366	5.269	5.168
7	8.073	6.542	5.890	5.523	5.285	5.119	4.995	4.899	4.823	4.761	4.666	4.568	4.467
8	7.571	6.059	5.416	5.053	4.817	4.652	4.529	4.433	4.357	4.295	4.200	4.101	3.999
9	7.209	5.715	5.078	4.718	4.484	4.320	4.197	4.102	4.026	3.964	3.868	3.769	3.667
10	6.937	5.456	4.826	4.468	4.236	4.072	3.950	3.855	3.779	3.717	3.621	3.522	3.419
11	6.724	5.256	4.630	4.275	4.044	3.881	3.759	3.664	3.588	3.526	3.430	3.330	3.226
12	6.554	5.096	4.474	4.121	3.891	3.728	3.607	3.512	3.436	3.374	3.277	3.177	3.073
13	6.414	4.965	4.347	3.996	3.767	3.604	3.483	3.388	3.312	3.250	3.153	3.053	2.948
14	6.298	4.857	4.242	3.892	3.663	3.501	3.380	3.285	3.209	3.147	3.050	2.949	2.844
15	6.200	4.765	4.153	3.804	3.576	3.415	3.293	3.199	3.123	3.060	2.963	2.862	2.756
16	6.115	4.687	4.077	3.729	3.502	3.341	3.219	3.125	3.049	2.986	2.889	2.788	2.681
17	6.042	4.619	4.011	3.665	3.438	3.277	3.156	3.061	2.985	2.922	2.825	2.723	2.616
18	5.978	4.560	3.954	3.608	3.382	3.221	3.100	3.005	2.929	2.866	2.769	2.667	2.559
19	5.922	4.508	3.903	3.559	3.333	3.172	3.051	2.956	2.880	2.817	2.720	2.617	2.509
20	5.871	4.461	3.859	3.515	3.289	3.128	3.007	2.913	2.837	2.774	2.676	2.573	2.464

$\nu_1$  = número de grados de libertad del numerador y  $\nu_2$  = número de grados de libertad del denominador.

## ANEXO No. 8

Tabla No.52: Valores Críticos para la distribución t. (9)

Valor de $t$ para un intervalo de confianza de Valor crítico de $ t $ para valores de $P$ de Número de grados de libertad	90%	95%	98%	99%
	0.10	0.05	0.02	0.01
1	6.31	12.71	31.82	63.66
2	2.92	4.30	6.96	9.92
3	2.35	3.18	4.54	5.84
4	2.13	2.78	3.75	4.60
5	2.02	2.57	3.36	4.03
6	1.94	2.45	3.14	3.71
7	1.89	2.36	3.00	3.50
8	1.86	2.31	2.90	3.36
9	1.83	2.26	2.82	3.25
10	1.81	2.23	2.76	3.17
12	1.78	2.18	2.68	3.05
14	1.76	2.14	2.62	2.98
16	1.75	2.12	2.58	2.92
18	1.73	2.10	2.55	2.88
20	1.72	2.09	2.53	2.85
30	1.70	2.04	2.46	2.75
50	1.68	2.01	2.40	2.68
$\infty$	1.64	1.96	2.33	2.58

Los valores críticos de  $|t|$  son adecuados para una prueba de *dos* colas. Para una prueba de *una* cola el valor se toma de la columna para dos veces el valor de  $P$  deseado, por ejemplo, para una prueba de una cola,  $P = 0.005$ , 5 grados de libertad, el valor crítico se lee de la columna  $P = 0.10$  y es igual a 2.02.

## ANEXO No. 9

Tabla No.53: Tabla de la Distribución t-student

<i>df</i>	0.70	0.75	0.80	0.85	1 • • 0.90	0.95	0.975	0.99	0.995
1	0.727	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	0.617	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	0.584	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.451	5.841
4	0.569	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.559	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	0.553	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.549	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.546	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	0.543	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	0.542	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	0.540	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	0.539	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	0.538	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	0.537	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	0.536	0.691	0.866	1.074	1.340	1.753	2.131	2.602	2.947
16	0.535	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	0.534	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	0.534	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	0.533	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	0.533	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	0.532	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	0.532	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	0.532	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	0.531	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	0.531	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	0.531	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	0.531	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	0.530	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	0.530	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	0.530	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
40	0.529	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704
60	0.527	0.679	0.848	1.046	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
120	0.526	0.677	0.845	1.041	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617
•	0.524	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

([http://www.usace.army.mil/inet/usace-docs/eng-manuals/em\\_200\\_1-7/toc.pdf](http://www.usace.army.mil/inet/usace-docs/eng-manuals/em_200_1-7/toc.pdf).)

## ANEXO No.10

Tabla No. 54: Grado de representatividad de la media, para distinto coeficientes de variabilidad. (3)

VALOR DEL COEFICIENTE DE VARIABILIDAD	GRADO EN QUE LA MEDIA REPRESENTA A LA SERIE
De 0 < 10%	Media altamente representativa
De 10 < 20%	Media bastante representativa
De 20 < 30%	Media tiene representatividad
De 30 < 40%	Media cuya representación es dudosa
De 40% o más	Media carente de representatividad

**ANEXO No. 11**

**TABLAS DE REFERENCIA PARA INDICES DE REFRACCION DE VIDRIOS OPTICOS PARA CALIBRACION DE HOT STAGE (ESTANDARES B1, B3, B4, B7, B8).**

# Refractive Index of Optical Glass for Hot Stage Calibration

number  
**B1**

variation of refractive index with temperature and wavelength

nm	C 656.3	C' 643.8	D 589.3	d 587.6	e 546.1	F 486.1	F' 480.0	g 435.8
20	1.52601	1.52650	1.52903	1.52912	1.53157	1.53628	1.53687	1.54193
25	1.52603	1.52652	1.52905	1.52914	1.53159	1.53630	1.53689	1.54196
30	1.52605	1.52654	1.52907	1.52916	1.53162	1.53633	1.53692	1.54198
35	1.52607	1.52656	1.52909	1.52918	1.53164	1.53635	1.53694	1.54201
40	1.52609	1.52658	1.52912	1.52921	1.53166	1.53638	1.53697	1.54204
45	1.52611	1.52660	1.52914	1.52923	1.53168	1.53640	1.53699	1.54206
50	1.52614	1.52663	1.52916	1.52925	1.53170	1.53643	1.53702	1.54209
55	1.52616	1.52665	1.52918	1.52927	1.53173	1.53645	1.53704	1.54212
60	1.52618	1.52667	1.52920	1.52929	1.53175	1.53648	1.53707	1.54214
65	1.52620	1.52669	1.52922	1.52931	1.53177	1.53650	1.53709	1.54217
70	1.52622	1.52671	1.52925	1.52934	1.53179	1.53652	1.53711	1.54219
75	1.52624	1.52673	1.52927	1.52936	1.53182	1.53655	1.53714	1.54222
80	1.52626	1.52675	1.52929	1.52938	1.53184	1.53657	1.53716	1.54225
85	1.52628	1.52677	1.52931	1.52940	1.53186	1.53660	1.53719	1.54227
90	1.52630	1.52679	1.52933	1.52942	1.53188	1.53662	1.53721	1.54230
95	1.52632	1.52681	1.52935	1.52944	1.53191	1.53665	1.53724	1.54233
100	1.52635	1.52684	1.52937	1.52946	1.53193	1.53667	1.53726	1.54235
105	1.52637	1.52686	1.52940	1.52949	1.53195	1.53670	1.53729	1.54238
110	1.52639	1.52688	1.52942	1.52951	1.53197	1.53672	1.53731	1.54241
115	1.52641	1.52690	1.52944	1.52953	1.53200	1.53675	1.53734	1.54243
120	1.52643	1.52692	1.52946	1.52955	1.53202	1.53677	1.53736	1.54246

density (g/cm<sup>3</sup>) = 2.55

# Refractive Index of Optical Glass for Hot Stage Calibration

glass  
number  
**B3**

variation of refractive index with temperature and wavelength

nm	C 656.3	C' 643.8	D 589.3	d 587.6	e 546.1	F 486.1	F' 480.0	g 435.8
°C								
20	1.51984	1.52026	1.52243	1.52251	1.52460	1.52862	1.52912	1.53339
25	1.51985	1.52027	1.52244	1.52252	1.52461	1.52863	1.52913	1.53340
30	1.51985	1.52027	1.52245	1.52253	1.52462	1.52864	1.52914	1.53341
35	1.51986	1.52028	1.52245	1.52253	1.52463	1.52865	1.52915	1.53343
40	1.51987	1.52029	1.52246	1.52254	1.52463	1.52866	1.52916	1.53344
45	1.51987	1.52029	1.52247	1.52255	1.52464	1.52867	1.52917	1.53345
50	1.51988	1.52030	1.52248	1.52256	1.52465	1.52868	1.52918	1.53346
55	1.51989	1.52031	1.52249	1.52257	1.52466	1.52869	1.52919	1.53347
60	1.51990	1.52032	1.52249	1.52257	1.52467	1.52870	1.52920	1.53349
65	1.51990	1.52032	1.52250	1.52258	1.52468	1.52871	1.52921	1.53350
70	1.51991	1.52033	1.52251	1.52259	1.52469	1.52873	1.52923	1.53351
75	1.51992	1.52034	1.52252	1.52260	1.52469	1.52874	1.52924	1.53352
80	1.51992	1.52034	1.52253	1.52261	1.52470	1.52875	1.52925	1.53353
85	1.51993	1.52035	1.52253	1.52261	1.52471	1.52876	1.52926	1.53355
90	1.51994	1.52036	1.52254	1.52262	1.52472	1.52877	1.52927	1.53356
95	1.51994	1.52036	1.52255	1.52263	1.52473	1.52878	1.52928	1.53357
100	1.51995	1.52037	1.52256	1.52264	1.52474	1.52879	1.52929	1.53358
105	1.51996	1.52038	1.52257	1.52265	1.52474	1.52880	1.52930	1.53359
110	1.51997	1.52039	1.52257	1.52265	1.52475	1.52881	1.52931	1.53361
115	1.51997	1.52039	1.52258	1.52266	1.52476	1.52882	1.52932	1.53362
120	1.51998	1.52040	1.52259	1.52267	1.52477	1.52883	1.52933	1.53363

density (g/cm<sup>3</sup>) = 2.59

# Refractive Index of Optical Glass for Hot Stage Calibration

glass  
number  
**B4**

variation of refractive index with temperature and wavelength

nm	C 656.3	C' 643.8	D 589.3	d 587.6	e 546.1	F 486.1	F' 480.0	g 435.8
°C								
20	1.51590	1.51632	1.51843	1.51851	1.52055	1.52446	1.52495	1.52910
25	1.51591	1.51633	1.51844	1.51852	1.52056	1.52448	1.52497	1.52912
30	1.51592	1.51634	1.51846	1.51854	1.52058	1.52449	1.52498	1.52913
35	1.51594	1.51636	1.51847	1.51855	1.52059	1.52450	1.52499	1.52915
40	1.51595	1.51637	1.51848	1.51856	1.52060	1.52452	1.52501	1.52917
45	1.51596	1.51638	1.51849	1.51857	1.52062	1.52454	1.52503	1.52918
50	1.51597	1.51639	1.51851	1.51859	1.52063	1.52455	1.52504	1.52920
55	1.51599	1.51641	1.51852	1.51860	1.52064	1.52457	1.52506	1.52922
60	1.51600	1.51642	1.51853	1.51861	1.52066	1.52458	1.52507	1.52923
65	1.51601	1.51643	1.51854	1.51862	1.52067	1.52460	1.52509	1.52925
70	1.51602	1.51644	1.51856	1.51864	1.52069	1.52461	1.52510	1.52927
75	1.51604	1.51646	1.51857	1.51865	1.52070	1.52463	1.52512	1.52929
80	1.51605	1.51647	1.51858	1.51866	1.52071	1.52465	1.52514	1.52931
85	1.51606	1.51648	1.51860	1.51868	1.52073	1.52466	1.52515	1.52932
90	1.51608	1.51650	1.51861	1.51869	1.52074	1.52468	1.52517	1.52934
95	1.51609	1.51651	1.51863	1.51871	1.52076	1.52470	1.52519	1.52936
100	1.51610	1.51652	1.51864	1.51872	1.52077	1.52471	1.52520	1.52938
105	1.51612	1.51654	1.51865	1.51873	1.52079	1.52473	1.52522	1.52940
110	1.51613	1.51655	1.51867	1.51875	1.52080	1.52475	1.52524	1.52942
115	1.51615	1.51657	1.51868	1.51876	1.52082	1.52476	1.52525	1.52944
120	1.51616	1.51658	1.51870	1.51878	1.52083	1.52478	1.52527	1.52946

density (g/cm<sup>3</sup>) = 2.61

# Refractive Index of Optical Glass for Hot Stage Calibration

glass  
number

B7

variation of refractive index with temperature and wavelength

nm	C 656.3	C' 643.8	D 589.3	d 587.6	e 546.1	F 486.1	F' 480.0	g 435.8
°C			-					
20	1.51171	1.51217	1.51447	1.51455	1.51679	1.52110	1.52164	1.52622
25	1.51173	1.51219	1.51449	1.51457	1.51681	1.52112	1.52166	1.52624
30	1.51174	1.51220	1.51450	1.51458	1.51683	1.52114	1.52168	1.52626
35	1.51176	1.51222	1.51452	1.51460	1.51684	1.52116	1.52170	1.52629
40	1.51177	1.51223	1.51454	1.51462	1.51686	1.52118	1.52172	1.52631
45	1.51179	1.51225	1.51456	1.51464	1.51688	1.52120	1.52174	1.52633
50	1.51181	1.51227	1.51457	1.51465	1.51690	1.52122	1.52176	1.52635
55	1.51182	1.51228	1.51459	1.51467	1.51692	1.52124	1.52178	1.52637
60	1.51184	1.51230	1.51461	1.51469	1.51693	1.52126	1.52180	1.52640
65	1.51185	1.51231	1.51462	1.51470	1.51695	1.52128	1.52182	1.52642
70	1.51187	1.51233	1.51464	1.51472	1.51697	1.52130	1.52184	1.52644
75	1.51189	1.51235	1.51466	1.51474	1.51699	1.52132	1.52186	1.52646
80	1.51190	1.51236	1.51467	1.51475	1.51701	1.52134	1.52188	1.52648
85	1.51192	1.51238	1.51469	1.51477	1.51702	1.52136	1.52190	1.52651
90	1.51193	1.51239	1.51471	1.51479	1.51704	1.52138	1.52192	1.52653
95	1.51195	1.51241	1.51472	1.51480	1.51706	1.52140	1.52194	1.52655
100	1.51197	1.51243	1.51474	1.51482	1.51708	1.52142	1.52196	1.52657
105	1.51198	1.51244	1.51476	1.51484	1.51710	1.52144	1.52198	1.52659
110	1.51199	1.51246	1.51478	1.51486	1.51711	1.52146	1.52200	1.52662
115	1.51201	1.51247	1.51479	1.51487	1.51713	1.52148	1.52202	1.52664
120	1.51203	1.51249	1.51481	1.51489	1.51715	1.52150	1.52204	1.52666

density (g/cm<sup>3</sup>) = 2.56

# Refractive Index of Optical Glass for Hot Stage Calibration

Glass  
number  
**B8**

variation of refractive index with temperature and wavelength

nm	C 656.3	C' 643.8	D 589.3	d 587.6	e 546.1	F 486.1	F' 480.0	g 435.8
20	1.50904	1.50945	1.51155	1.51162	1.51364	1.51751	1.51799	1.52210
25	1.50905	1.50946	1.51156	1.51163	1.51365	1.51752	1.51800	1.52211
30	1.50905	1.50946	1.51157	1.51164	1.51366	1.51753	1.51801	1.52212
35	1.50906	1.50947	1.51157	1.51164	1.51367	1.51754	1.51802	1.52213
40	1.50907	1.50948	1.51158	1.51165	1.51367	1.51755	1.51803	1.52215
45	1.50907	1.50948	1.51159	1.51166	1.51368	1.51756	1.51804	1.52216
50	1.50908	1.50949	1.51160	1.51167	1.51369	1.51757	1.51805	1.52217
55	1.50909	1.50950	1.51160	1.51167	1.51370	1.51758	1.51806	1.52218
60	1.50909	1.50950	1.51161	1.51168	1.51371	1.51759	1.51807	1.52219
65	1.50910	1.50951	1.51162	1.51169	1.51372	1.51760	1.51808	1.52221
70	1.50911	1.50952	1.51163	1.51170	1.51373	1.51761	1.51809	1.52222
75	1.50912	1.50953	1.51164	1.51171	1.51374	1.51763	1.51811	1.52223
80	1.50912	1.50953	1.51165	1.51172	1.51375	1.51764	1.51812	1.52224
85	1.50913	1.50954	1.51166	1.51173	1.51376	1.51765	1.51813	1.52226
90	1.50914	1.50955	1.51166	1.51173	1.51377	1.51766	1.51814	1.52227
95	1.50915	1.50956	1.51167	1.51174	1.51378	1.51767	1.51815	1.52228
100	1.50916	1.50957	1.51168	1.51175	1.51379	1.51768	1.51816	1.52230
105	1.50916	1.50957	1.51169	1.51176	1.51380	1.51769	1.51817	1.52231
110	1.50917	1.50958	1.51170	1.51177	1.51381	1.51771	1.51819	1.52232
115	1.50918	1.50959	1.51171	1.51178	1.51382	1.51772	1.51820	1.52234
120	1.50919	1.50960	1.51172	1.51179	1.51383	1.51773	1.51821	1.52235

density (g/cm<sup>3</sup>) = 2.53

## ANEXO No. 12



Figura No.6: Toma de muestra de vidrio del parabrisa de un vehículo en Shangayo.

## ANEXO No. 13



Figura No. 7: Equipo utilizado para la determinación de temperaturas de equilibrio.

## ANEXO No.14



Figura No. 8: Análisis de vidrio realizado en el área de físico químico de la DPTC.

**ANEXO No.15**

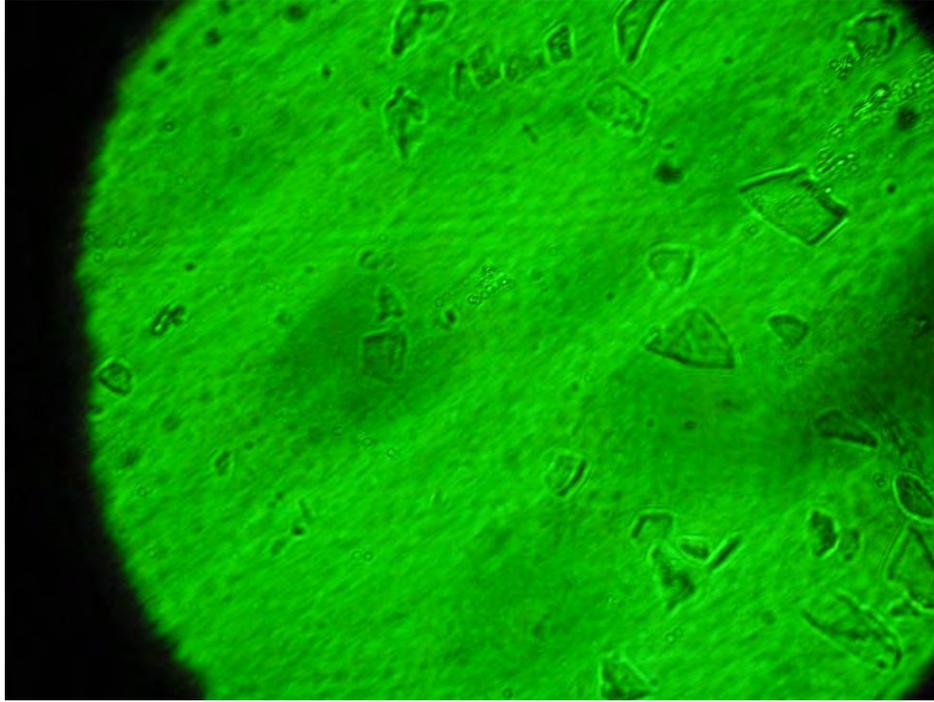
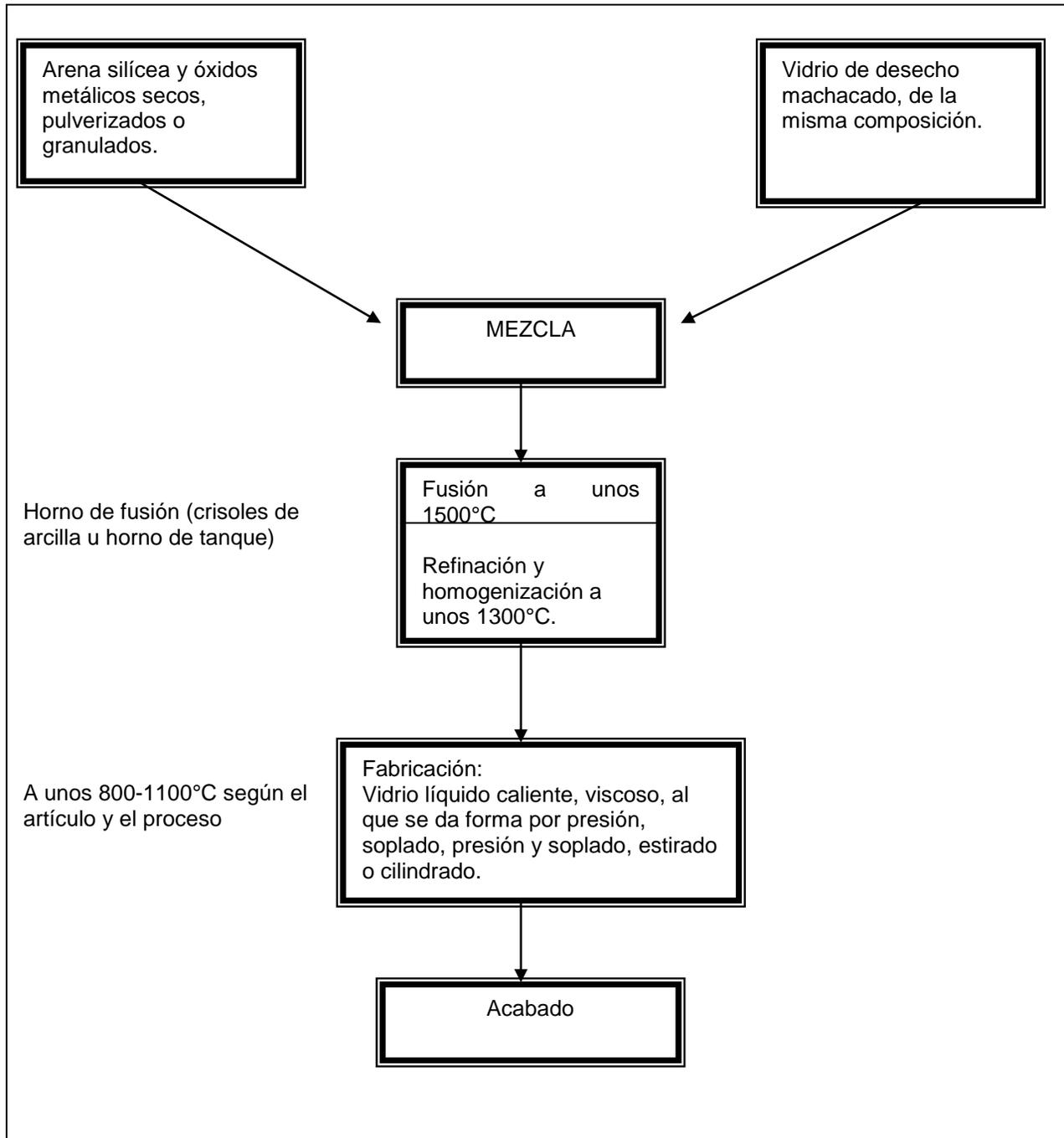


Figura No. 9: Fragmento de vidrio observado a través del microscopio.

## ANEXO No. 16



FUENTE: Elaboración propia en base a información obtenida de Enciclopedia de Tecnología Química (Raymond E. Kirk). (11)

Figura No. 10: Fabricación del Vidrio.

## ANEXO No. 17

Tabla No. 55: Valores críticos de Q ( P = 0.05 ) (13).

Valores críticos para el cociente de rechazo Q			
Q <sub>crit.</sub> (rechazo si Q <sub>exp</sub> > Q <sub>crit</sub> )			
Número de observaciones	90% de confianza	95% de confianza	99% de confianza
3	0.941	0.970	0.994
4	0.765	0.829	0.926
5	0.642	0.710	0.821
6	0.560	0.625	0.740
7	0.507	0.568	0.680
8	0.468	0.526	0.634
9	0.437	0.493	0.598
10	0.412	0.466	0.568

## ANEXO No. 18

### MATERIALES UTILIZADOS:

Martillo pequeño

Tenaza pequeña

Pinzas metálicas

Cajas metálicas ( dimensión aproximada de 6 cms)

Tirro

Viñetas

Guantes

Lentes protectores

Equipo marca METTLER modelo FP 82HT, con HOT – STAGE ( para determinar  $I_R$ )