

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



“PROPUESTA PARA LA APLICACIÓN DEL SISTEMA DE COORDENADAS
DE COLOR CIELAB EN EL CONTROL DE LA CROMATICIDAD DEL VIDRO
FLOTADO”

Realizado por:

Br: María Nicolina De Los Angeles Mannello Salas

Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como requisito parcial
para optar al Título de:
INGENIERO QUÍMICO

Puerto La Cruz, marzo de 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



“PROPUESTA PARA LA APLICACIÓN DEL SISTEMA DE COORDENADAS
DE COLOR CIELAB EN EL CONTROL DE LA CROMATICIDAD DEL VIDRO
FLOTADO”

ASESORES

Ing.Quím. Ronald Arias

Asesor Académico

Lic.Quím. Vanessa Ayestarán

Asesor industrial

Puerto La Cruz, marzo de 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



“PROPUESTA PARA LA APLICACIÓN DEL SISTEMA DE COORDENADAS
DE COLOR CIELAB EN EL CONTROL DE LA CROMATICIDAD DEL VIDRO
FLOTADO”

JURADO

Ing.Quím. Ronald Arias
Asesor Académico

Ing.Quím. Héctor Silva, MSc
Jurado Principal

Ing.Quím. Frank Parra
Jurado Principal

Puerto La Cruz, marzo de 2010

RESOLUCIÓN

De acuerdo al Artículo 41 del Reglamento de Trabajos de Grado: “Los trabajos de grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”

DEDICATORIA

A mi *Señor* todo poderoso por acompañarme cada día que lo necesite por demostrarme que nada era imposible a su lado, por darme cada respuesta que le pedí y regalarme esta luz al final de un largo camino en el cual no me faltó nada gracias a él.

A mi madre *Rosita*, por darme el privilegio de ser su hija con esto me quedo corta para darle las gracias, tu apoyo ha sido único y con el llegar hasta aquí fue más fácil, se que desde el principio fueron noches largas así que te agradezco no haber perdido las esperanzas de ver realizado este sueño. A mi padre Héctor por su constante atención y darme con su esfuerzo lo que necesite para seguir adelante sin nunca dudar de mi.

A mi hermano *Héctor D' Jesús*, te adoro trino, gracias porque entre tanto dolor de cabeza me ayudaste a reírme de ello. Sigue adelante, vales demasiado y sé que lograras lo mejor.

A mi *familia, tías, primos y abuela "mamaíta"* por esperarme en casa a cada regreso para reír y reír, no se imaginan cuantas fuerzas me daba para volver y seguir adelante, son una familia maravillosa. Los quiero mucho.

A mi manada: *Grace, Tania, Luisana, Karla, Giselle, Jenasis, Jesmir*, porque como siempre les he dicho fueron y serán la mejor familia que mi Dios me pudo regalar fuera de mi hogar. No hay palabras para agradecerles todas las alegrías que me dieron, gracias por acompañarme en tantas noches de desvelos, en tantos miedos, disgustos, lágrimas, cumpleaños, abrazos. Ruego por que sigan en mi vida porque son totalmente especiales. Las adoro niñas.

A ti *Eliud Moisés* por haber tomado mi mano al principio de este camino, porque nadie me aconsejó con tanta paciencia como tú, porque solo tú tienes idea de cuantas lagrimas fueron. Por haberte mantenido a mi lado a pesar de la distancia, por haberte mantenido con vida y darle vida a mi vida. TE AMO y así será siempre. Gracias.

A la Universidad de Oriente y a cada profesor que se dedica a conocer a su estudiante y permite adquirir su conocimiento.

A mí, por no desistir ante los días difíciles, por salir cada mañana a luchar por lo que tanto deseaba.

Mil Gracias!!!

Nicolina Mannello

AGRADECIMIENTOS

A mi Dios, mi señor, por mantenerse a mi lado y brindarme días donde todo tenía razón de ser.

A mis padres, por darme su grandioso apoyo y no dudar de mí.

A mi primo Dido, por haberme ayudado a encaminarme en lo que en un momento fue un sueño, gracias primo.

A la profesora Dersy Lugo, por haberme mostrado la existencia de este camino, usted me dejó en manos de las mejores personas para dar los primeros pasos. Gracias.

A mi tía Francelia, por permitirme entrar en su casa y brindarme un hogar para trascorrir y culminar esta etapa de mi vida, gracias tía.

A Lucia Maselli, mi mena porque toda la vida hemos sido primas pero en esta etapa de mi vida te convertiste en una grandiosa y verdadera amiga, gracias por cada palabra de aliento y motivación. Gracias te quiero mucho.

A mis amigas de toda la vida Regmi y Daniela, porque sin las amistades de corazón no se logran grandes momentos como estos, gracias por su compañía, sé que nos faltan muchas etapas por compartir juntas. Las quiero!

A la Universidad de Oriente por brindarme los conocimientos necesarios para llegar a este punto y poder llevar un título con verdadero honor.

A mi Escuela De Ingeniería Química donde pase largos días y conocí tantas personas especiales, grandes profesores y amigos.

A mi tutor académico Ronald Arias, por ser mi guía como profesor y de una manera desinteresada ayudarme a desarrollar de manera notable esta tesis, siempre estaré agradecida.

A Guardián de Venezuela, en especial al Ing. Fernando Candor y al Ing. Carlos Uray por haber creído en mí. A todo el personal que en la planta labora, a los operadores que en cada inducción me dieron los mejores conocimientos y siempre con mucho carisma, amabilidad y respeto. A mi tutora empresarial Vanessa Ayestaran, por su dedicación, paciencia y orientación.

A todos aquellos que aportaron de manera directa e indirecta que este sueño se convirtiera en realidad, muchísimas gracias y éxitos...

Nicolina Mannello

INDICE GENERAL

| | |
|--|------|
| RESOLUCIÓN | iv |
| DEDICATORIA | v |
| AGRADECIMIENTOS | vii |
| INDICE GENERAL | ix |
| INDICE DE TABLAS | xii |
| INDICE DE FIGURAS..... | xiv |
| RESUMEN | xvii |
| CAPITULO I | 18 |
| INTRODUCCION | 18 |
| 1.1 Reseña histórica de la empresa | 18 |
| 1.2 Planteamiento del problema..... | 18 |
| 1.3 Objetivos | 20 |
| 1.3.1 Objetivo general..... | 20 |
| 1.3.2 Objetivos específicos | 20 |
| CAPITULO II | 21 |
| MARCO TEORICO..... | 21 |
| 2.1 Antecedentes | 21 |
| 2.2 Aspectos generales del vidrio | 22 |
| 2.2.1 El vidrio | 22 |
| 2.2.2 Composición del vidrio..... | 23 |
| 2.2.2.1 Componentes mayores | 23 |
| 2.2.2.2 Componentes menores | 24 |
| 2.3 Proceso de producción del vidrio flotado | 25 |
| 2.4 Propiedades ópticas del vidrio | 26 |
| 2.5 El espectrofotómetro | 28 |
| 2.5.1 Espectrofotómetro ultravioleta- visible..... | 28 |

| | |
|---|----|
| 2.6 La colorimetria..... | 29 |
| 2.7 Sistema de color CIE XYZ | 30 |
| 2.8 Sistema de color CIE L*, A*, B* (CIELAB) | 32 |
| 2.9 Elipses MAC ADAM..... | 34 |
| 2.10 Programa LABMEXICO-VENEZUELA | 35 |
| CAPITULO III..... | 37 |
| DESARROLLO DEL TRABAJO | 37 |
| 3.1 Obtención de las propiedades ópticas del vidrio de color de los años 2008 y 2009..... | 37 |
| 3.1.1 Recolección de muestras..... | 37 |
| 3.1.2 Procedimiento para la determinación de las propiedades ópticas del vidrio | 37 |
| 3.2 Establecimiento del rango de referencia de las coordenadas CIELAB, en función de las consignas de los valores MAC ADAM | 42 |
| 3.2.1 Muestra de cálculos..... | 49 |
| 3.3 Determinación de la influencia de la variacion del espesor utilizado como referencia en los resultados de transmisión en el vidrio de color..... | 51 |
| 3.3.1 Muestra de cálculos..... | 53 |
| 3.4 Explicación del uso de los valores de las coordendas cielab (l*,a*y b*), para el control y seguimiento de la cromaticidad del vidrio | 53 |
| CAPÍTULO IV..... | 57 |
| DISCUSION DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES..... | 57 |
| 4.1 Tendencias de las propiedades opticas del vidrio de color de los años 2008 y 2009..... | 57 |
| 4.1.1 Tendencias de la coordenada a* | 57 |
| 4.1.2 Tendencias de la coordenada b* | 59 |
| 4.1.3 Tendencias de la coordenada L* | 61 |
| 4.1.4 Tendencias de la coordenada x | 63 |
| 4.1.5 Tendencias de la coordenada “y” | 65 |

| | |
|---|--------------------------------------|
| 4.1.6 Tendencias de la coordenada A-Az | 67 |
| 4.1.7 Tendencias de la coordenada R-V | 69 |
| 4.1.8 Tendencias de la unidad Mac Adam..... | 71 |
| 4.1.9 Tendencias de la unidad Mac Adam y la coordenada a*..... | 73 |
| 4.1.10 Tendencias de la unidad Mac Adam y la coordenada b*..... | 75 |
| 4.1.11 Tendencias de las coordenadas correspondientes a la cromaticidad | 77 |
| 4.2 Rango de referencia de las coordenadas cielab en función de las consignas de los valores mac adam..... | 80 |
| 4.3 Influencia de la variación del espesor utilizado como referencia en los resultados de transmisión en el vidrio de color | 82 |
| 4.4 Uso de los valores de las coordendas cielab (l^* , a^* y b^*), para el control y seguimiento de la cromaticidad del vidrio | 84 |
| 4.5 Conclusiones | 86 |
| 4.6 Recomendaciones | 87 |
| BIBLIOGRAFÍA | 88 |
| ANEXOS | ¡Error! Marcador no definido. |
| METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO..... | 90 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 3.1 Propiedades ópticas del vidrio color gris y espesor de referencia de 5,66mm..... | 39 |
| Tabla 3.2 Propiedades ópticas del vidrio color gris y espesor de referencia de 6,00mm..... | 39 |
| Tabla 3.3 Propiedades ópticas del vidrio color bronce y espesor de referencia de 5,66mm..... | 40 |
| Tabla 3.4 Propiedades ópticas del vidrio color bronce y espesor de referencia de 6,00mm..... | 40 |
| Tabla 3.5 Propiedades ópticas del vidrio color euro bronce y espesor de referencia de 5,66mm..... | 41 |
| Tabla 3.6 Propiedades ópticas del vidrio color euro bronce y espesor de referencia de 6,00mm..... | 41 |
| Tabla 3.7 Propiedades ópticas del vidrio color gris correspondientes a un intervalo de Mac Adam de 0-2,5..... | 43 |
| Tabla 3.7 Propiedades ópticas del vidrio color gris correspondientes a un intervalo de Mac Adam de 0-2,5 (continuación) | 44 |
| Tabla 3.7 Propiedades ópticas del vidrio color gris correspondientes a un intervalo de Mac Adam de 0-2,5 (continuación) | 45 |
| Tabla 3.8 Propiedades ópticas del vidrio color gris correspondientes a un intervalo de Mac Adam de 2,6-3,5..... | 46 |
| Tabla 3.9 Propiedades ópticas del vidrio color bronce correspondientes a un intervalo de Mac Adam de 0-2,5..... | 46 |
| Tabla 3.10 Propiedades ópticas del vidrio color bronce correspondientes a un intervalo de Mac Adam de 2,6-3,5..... | 47 |
| Tabla 3.11 Propiedades ópticas del vidrio color euro bronce correspondientes a un intervalo de Mac Adam de 0-2,5..... | 48 |

| | |
|--|----|
| Tabla 3.12 Propiedades ópticas del vidrio color euro bronce correspondientes a un intervalo de Mac Adam de 2,6-3,5 | 49 |
| Tabla 3.13 Transmisión del vidrio color gris, espesor de referencia de 5,66 mm y 6,00 mm..... | 51 |
| Tabla 3.14 Transmisión del vidrio color bronce, espesor de referencia de 5,66 mm y 6,00 mm | 52 |
| Tabla 3.15 Transmisión del vidrio color euro bronce, espesor de referencia de 5,66 mm y 6,00 mm | 52 |
| Tabla 3.16 Relación de las coordenadas CIELAB con los colorantes utilizados en la formulación ^[3] | 53 |
| Tabla 3.17 Relación de la unidad Mac Adam con la especificación de calidad del vidrio ^[3] | 54 |
| Tabla 4.1 Rango de referencia de las coordenadas CIELAB en función de la consigna de 0-2,5 de Mac Adam..... | 81 |
| Tabla 4.2 Rango de referencia de las coordenadas CIELAB en función de la consigna de 2,6-3,5 de Mac Adam..... | 81 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 2.1 Proceso de producción de vidrio flotado. ^[7] | 27 |
| Figura 2.2 Espectro electromagnético. ^[9] | 29 |
| Figura 2.3 Descriptores perceptuales del color. ^[13] | 30 |
| Figura 2.4 Diagrama de cromaticidad del CIE. ^[15] | 33 |
| Figura 2.5 Espacio tridimensional y bidimensional CIELAB. ^[14] | 34 |
| Figura 2.6 Espacio tridimensional CIELAB. ^[14] | 34 |
| Figura 2.7 Elipses de Mac Adam en el diagrama cromático. ^[18] | 36 |
| Figura 3.1 Diagrama de la determinación de las propiedades ópticas del vidrio..... | 38 |
| Figura 4.1 Tendencia de la coordenada a* para vidrio color gris | 58 |
| Figura 4.2 Tendencia de la coordenada a* para vidrio color bronce | 58 |
| Figura 4.3 Tendencia de la coordenada a* para vidrio color euro bronce | 59 |
| Figura 4.4 Tendencia de la coordenada b* para el vidrio color gris | 60 |
| Figura 4.5 Tendencia de la coordenada b* para el vidrio color bronce | 60 |
| Figura 4.6 Tendencia de la coordenada b* para el vidrio color euro bronce | 61 |
| Figura 4.7 Tendencia de la coordenada L* para el vidrio color gris | 62 |
| Figura 4.8 Tendencia de la coordenada L* para el vidrio color bronce | 62 |
| Figura 4.9 Tendencia de la coordenada L* para el vidrio color euro bronce | 63 |
| Figura 4.10 Tendencia de la coordenada x para el vidrio color gris | 64 |
| Figura 4.11 Tendencia de la coordenada x para el vidrio color bronce | 64 |
| Figura 4.12 Tendencia de la coordenada x para el vidrio color euro bronce | 65 |
| Figura 4.13 Tendencia de la coordenada “y” para el vidrio color gris | 66 |
| Figura 4.14 Tendencia de la coordenada “y” para el vidrio color bronce | 66 |
| Figura 4.15 Tendencia de la coordenada “y” para el vidrio color euro bronce | 67 |
| Figura 4.16 Tendencia de la coordenada A-Az para el vidrio color gris | 68 |
| Figura 4.17 Tendencia de la coordenada A-Az para el vidrio color bronce | 68 |
| Figura 4.18 Tendencia de la coordenada A-Az para el vidrio color euro bronce | 69 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.19 Tendencia de la coordenada R-V para el vidrio color gris | 70 |
| Figura 4.20 Tendencia de la coordenada R-V para el vidrio color bronce | 70 |
| Figura 4.21 Tendencia de la coordenada R-V para el vidrio color euro bronce | 71 |
| Figura 4.22 Tendencia de la unidad Mac Adam para el vidrio color gris | 72 |
| Figura 4.23 Tendencia de la unidad Mac Adam para el vidrio color bronce..... | 72 |
| Figura 4.24 Tendencia de la unidad Mac Adam para el vidrio color euro bronce.... | 73 |
| Figura 4.25 Tendencia de los valores de la unidad Mac Adam y la coordenada a* para vidrio color gris | 74 |
| Figura 4.26 Tendencia de los valores de la unidad Mac Adam y la coordenada a* para vidrio color bronce | 74 |
| Figura 4.27 Tendencia de los valores de la unidad Mac Adam y la coordenada a* para vidrio color euro bronce | 75 |
| Figura 4.28 Tendencia de los valores de la unidad Mac Adam y la coordenada b* para vidrio color gris | 75 |
| Figura 4.29 Tendencia de los valores de la unidad Mac Adam y la coordenada b* para vidrio color bronce | 76 |
| Figura 4.30 Tendencia de los valores de la unidad Mac Adam y la coordenada b* para vidrio color euro bronce | 76 |
| Figura 4.31 Tendencia de las coordenadas correspondientes a la cromaticidad..... | 77 |
| Figura 4.32 Tendencia de las coordenadas correspondientes a la cromaticidad..... | 78 |
| Figura 4.33 Tendencia de las coordenadas correspondientes a la cromaticidad Rojo- Verde para el vidrio color euro bronce | 78 |
| Figura 4.34 Tendencia de las coordenadas correspondientes a la cromaticidad..... | 79 |
| Figura 4.35 Tendencia de las coordenadas correspondientes a la cromaticidad Amarillo-Azul para el vidrio color bronce..... | 79 |
| Figura 4.36 Tendencia de las coordenadas correspondientes a la cromaticidad Amarillo -Azul para el vidrio color euro bronce..... | 80 |
| Figura 4.37 Tendencia del porcentaje de transmisión para el vidrio color gris | 82 |
| Figura 4.38 Tendencia del porcentaje de transmisión para el vidrio color bronce ... | 83 |

Figura 4.39 Tendencia del porcentaje de transmisión para el vidrio color euro

bronce 83

RESUMEN

El desarrollo del presente trabajo, constituye el proyecto diseñado a la empresa Guardián de Venezuela para la aplicación de sistema de coordenadas de color CIELAB en el control de la cromaticidad del vidrio flotado con el fin de que ésta pase a formar parte del conjunto de empresas filiales que utilizan este sistema, logrando así compartir información para comparar o explorar mercados. Por tal motivo se obtuvieron mediante muestras estudiadas valores de las propiedades ópticas del vidrio, como lo son: transmisión, coordenadas x , y , a^* , b^* , L^* y valores de Mac Adam, utilizando 5,66 mm y 6 mm como espesores de referencia; todo esto con el uso de un espectrofotómetro U-V. Esta actividad fue realizada bajo normativas internas exigidas por la empresa, éstas fueron: norma API 1104, ASME B31.3, B31.4 y B 31.8. Con todo esto se logró llevar a cabo satisfactoriamente el establecimiento de los rangos de operación del sistema CIELAB, concluyendo que el vidrio de color bronce presentó los valores de luminosidad más altos, seguido por el euro y el de mayor oscuridad fué el vidrio color gris. Se determinó la influencia del cambio de espesor de referencia utilizado en la obtención de los valores de transmisión del vidrio, encontrándose el porcentaje de desviación por el orden de 1 a 2% y se explicó cómo se controla o modifica la cromaticidad del vidrio en función de los datos de las coordenadas establecidas.

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 Reseña histórica de la empresa

Guardián de Venezuela es una empresa de capital privado, instalada en la ciudad de Maturín, estado Monagas – Venezuela, fundada a finales del año 1990. Empresa filial de *Guardian Industries*, fundada en el año 1932, con más de 35 años en el mercado del vidrio flotado. Cuenta con más de 19.000 empleados alrededor del mundo y su actividad abarca los cinco continentes, incluyendo 26 plantas de producción de vidrio flotado, así como también centros de producción de espejos, vidrio grabado, templado y vidrios con características especiales de reflexión de luz, producción de fibra de vidrio y sus derivados; ramo en el que Guardián está posicionada como la número uno a nivel mundial. También *Guardian Industries* cuenta con una división de productos para la construcción de partes y piezas para la industria del automóvil.

En América Latina, *Guardian Industries* cuenta con cuatro plantas de producción de vidrio flotado, dos en Brasil “Guardián Do Brasil”, una en México “Guardián México”, y otra en Venezuela “Guardián de Venezuela”. Contando esta última con más de 250 trabajadores y con capacidad de producción de 450 toneladas métricas diarias de vidrio plano flotado, de la más alta calidad.

1.2 Planteamiento del problema

Guardian de Venezuela produce vidrio plano de color claro, bronce y gris, para éstos dos últimos es necesario un control de la cromaticidad haciéndose uso

del espacio de color CIE XYZ 1931; a diferencia del resto de las empresas *Guardian Industries* que emplean el sistema de color CIELAB propuesto en el año 1976 por la Commission Internationale d'Eclairage CIE (Comisión Internacional de Iluminación). Además de esto, en Venezuela, para los cálculos de las coordenadas de color se utiliza un espesor del vidrio de referencia diferente a las otras sucursales de plantas de vidrio flotado.

Todo esto lleva por ende, a la necesidad de analizar que tanto varían los valores de coordenadas de color en los dos sistemas, CIE XYZ y CIELAB y la diferencia con respecto al espesor de referencia utilizado.

Al utilizar un sistema de referencia diferente al manejado por las otras plantas, se genera un retraso y dificultad a la hora de compartir información, bien sea para comparar o explorar mercados, ya que no tienen correspondencia directa entre ellos.

En el vidrio, las propiedades ópticas son los principales parámetros para su elaboración y completa satisfacción del cliente. Lo cual conlleva a la necesidad de estar a nivel de los procesos de estudio más avanzados que permitan mantener la calidad. Para la empresa, el vidrio de color representa aproximadamente un 55% de su producción, incrementando esto la necesidad de optimizar todos aquellos aspectos que impacten en su fabricación.

Se propone el uso del sistema CIELAB porque es un estándar global que abarca la gama de color más importante y permite comunicaciones consistentes, lo cual es de vital importancia para la expansión de la reproducción de color. En este sistema se describen todos los colores visibles al ojo humano, lo que se ve es lo que se obtiene y eso es exactamente lo que se quiere en el manejo de las propiedades del vidrio; dicho sistema se define a partir de coordenadas denominadas $L^*a^*b^*$ con las

cuales se establece el espacio cilíndrico que contiene los tres atributos psico-físicos básicos del color (luminosidad, saturación y tonalidad).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Proponer la aplicación del sistema de coordenadas de color CIELAB en el control de la cromaticidad del vidrio flotado.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Obtener las propiedades ópticas del vidrio de color de los años 2008 y 2009.
2. Establecer el rango de referencia de las coordenadas CIELAB, en función de las consignas de los valores de Mac Adam.
3. Determinar la influencia de la variación del espesor utilizado como referencia, en los resultados de transmisión en el vidrio de color
4. Explicar el uso de los valores de las coordenadas CIELAB (L^*a^* y b^*), para el control y seguimiento de la cromaticidad del vidrio.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes

Algunos de los trabajos de investigación desarrollados anteriormente y que guardan cierta similitud con el trabajo a desarrollar son:

Ayestarán^[1], en 2006, realizó la determinación de cobalto, cromo, níquel y selenio en vidrio flotado, mediante espectroscopía de absorción atómica de llama (FAAS), se estudio también el efecto que tiene la presencia de HCl en las señales de absorbancia, ya que este ácido fue el utilizado para la disolución de las muestras. Analizó muestras de vidrio flotado de color claro, bronce y gris provenientes de la empresa Guardian de Venezuela, logrando dicha determinación mediante la regresión lineal aplicada a las curvas de calibración sencilla de patrones de cada analito y concluyendo que la presencia de ácido clorhídrico no produce ningún efecto significativo en las señales de absorbancia de los elementos.

Pérez y colaboradores^[2], en 2003, realizaron la caracterización colorimétrica y clasificación del aceite de oliva virgen de la cuenca mediterránea hispano-marroquí mediante medidas por reflexión del color de 200 muestras de aceite de oliva virgen de las zonas de producción sur de España y zona norte de Marruecos. Los resultados obtenidos mostraron que, en general, los aceites marroquíes presentaron con respecto a los españoles, tonalidades más verdosas mediante el uso del sistema de espacio CIELAB y en comparación con la caracterización visual.

2.2 Aspectos generales del vidrio

2.2.1 El vidrio

El vidrio es un cuerpo amorfo y frágil que resulta del enfriamiento progresivo de una cantidad de óxidos, después de haberlos fundidos (1500 °C), en proporciones y temperaturas adecuadas ^[3]. El vidrio es una sustancia amorfa porque no es un sólido ni un líquido, sino que se halla en un estado vítreo en el que las unidades moleculares, aunque están dispuestas de forma desordenada, tienen suficiente cohesión para presentar rigidez mecánica. El vidrio se enfría hasta solidificarse sin que se produzca cristalización; el calentamiento puede devolverle su forma líquida. De aquí surge otra definición según la cual el vidrio es un líquido sobreenfriado; de altísima viscosidad a temperatura ambiente por lo que parece sólido. A temperatura ambiente, el vidrio se comporta estructuralmente como un líquido congelado, dicho de esta forma, es un líquido que se enfría tan rápido que es imposible que se formen cristales. Cuando el vidrio se enfría lentamente se forman cristales de vidrio, fenómeno que se conoce como desvitrificación. Suele ser transparente, pero también puede ser traslúcido u opaco. Su color varía según los ingredientes empleados en su fabricación.

El vidrio se fabrica a partir de una mezcla compleja de compuestos vitrificantes, como sílice, fundentes como los álcalis, y estabilizantes, como la cal. El componente más importante es el dióxido de silicio en forma de arena. Para fabricar el vidrio común se añaden carbonato sódico y piedra caliza (carbonato de calcio).

La amplia gama de aplicaciones del vidrio ha hecho que se desarrollen numerosos tipos distintos: envases (botellas, frascos, platos), vidrios de precisión (vidrios ópticos), vidrios planos (estirados, flotados) entre otros. ^[4]

2.2.2 Composición del vidrio

2.2.2.1 Componentes mayores

Llamados así porque su proporción en la mezcla, para la fabricación del vidrio es representativa, ellos son:

Arena sílice: está compuesta por 99% mínimo de sílice (SiO_2), es el mayor componente en la fabricación del vidrio, formando parte de él en un margen de 70 a 73%. Consiste esencialmente en granos de cuarzo molidos, a la medida de malla necesaria, que facilitan así su fusión (punto de fusión). Las impurezas que contiene son alúmina e hierro.^[3]

Caliza (CaCO_3): usada para balancear el CaO que aporta la dolomita y ajustar en la fórmula la cantidad deseada. La función del CaO es aumentar la fluidez en la fusión y las propiedades mecánicas del vidrio, además de proporcionarle a la mezcla la consistencia y dureza. Punto de fusión $2.572\text{ }^\circ\text{C}$.^[3]

Sulfato de Sodio: subproducto en la producción de H_2SO_4 o producto natural de algunas salmueras. Contiene 43% de Na_2O necesario en la elaboración de vidrio. El uso de sulfato en la fabricación del vidrio es para ayudar a la refinación, prevenir la formación de “Silica Scum”, permitiendo también que penetre más calor para desalojar las burbujas, y al mismo tiempo reducirse a sulfito de efectos del carbón, también acelera la fusión de la sílice. Funciona como un refinador eliminando impurezas presentes en la mezcla. Punto de fusión $884\text{ }^\circ\text{C}$.^[3]

Soda Ash Denso (Na_2CO_3): es un material granulado blanco, que absorbe humedad del ambiente (higroscópico), es fundente por excelencia que se agrega a la mezcla para disminuir su punto de fusión.^[5]

Chatarra de vidrio (cullet): la chatarra de vidrio por ser 100% reciclable en la proporción adecuada mejora la formación de la mezcla. La chatarra proviene del vidrio sobrante de la producción, no es natural y entra en la producción del vidrio como un difusor de calor. Por ser vidrio ya procesado, tiene un punto de fusión más bajo que el resto del material, y es por ello que la chatarra se funde primero, penetrando con su calor por todas las partículas de los demás materiales, ayudando en el aumento de la temperatura de las mismas con mayor rapidez. ^[5]

Carbón: cumple la función de reducir el sulfato de sodio (Na_2SO_4) a sulfito de sodio (Na_2SO_3) para acelerar la fusión de la arena sílice, el carbón estabiliza el estado de oxidación de la mezcla. También actúa como colorante al agregarse en un ligero exceso, dando vidrio color ámbar. ^[5]

Dolomita (carbonato doble de calcio y magnesio = $\text{CaOMgO}_2\text{CO}_3$): principal proveedor de magnesio en el vidrio, que tiene por objeto bajar la velocidad y temperatura de desvitrificación. También suministra la mayor parte del calcio en el vidrio. La dolomita actúa como estabilizador, proporcionándole al vidrio resistencia química al ataque atmosférico, ya que la acción del Mg y Ca, reducen la solubilidad del vidrio en presencia de los óxidos alcalinos (Na_2O). Su punto de fusión es de $2.800\text{ }^\circ\text{C}$. ^[5]

Nitrato de sodio: es un anhidro blanco, granulado e higroscópico. Se usa solo en vidrio de color y actúa sobre los colorantes. Es un fundente potente y oxidante. ^[5]

2.2.2.2 Componentes menores

Básicamente lo componen algunos elementos colorantes que se agregan a la mezcla de vidrio en menor proporción según el tipo de vidrio que se quiera obtener. Entre ellos se encuentran ^[5]:

Selenio: le da al vidrio tonos amarillos y rosados.

Óxido de cobalto: proporciona un color azul fuerte.

Óxido de níquel: da colores purpuras, su tendencia es similar a la del selenio.

Óxido de hierro: puede dar tonos ámbar o verde.

Óxido de cromo: le proporciona al vidrio tonos amarillos y verdosos.

2.3 Proceso de producción del vidrio flotado

Las materias primas son cargadas en el horno a través de unos silos donde se pesan y se mezclan, para luego pasar al proceso de fundición. Este proceso se da en el horno, el cual se calienta con quemadores de gas o petróleo. Las llamas de los quemadores deben alcanzar una temperatura suficiente y para ello, el aire de combustión se calienta en unos regeneradores construidos con ladrillos refractarios antes de que llegue a los quemadores. El horno tiene dos regeneradores cuyas funciones cambian cada veinte minutos: uno se calienta por contacto con los gases calientes mientras que el otro proporciona el calor acumulado al aire de combustión. La mezcla se funde (zona de fusión) a unos 1.600°C. El vidrio fundido pasa por una brasa donde se afina y luego va al baño de estaño, donde flota (de aquí viene el término “vidrio flotado”), dicho baño se encuentra a una temperatura de 1.200°C y en una atmosfera de nitrógeno (N₂) e Hidrógeno (H₂) para evitar la oxidación del estaño; la relación de hidrógeno y nitrógeno es 1:4.

El vidrio que es altamente viscoso y el estaño fundido que es muy fluido no se mezclan debido a la diferencia de densidad entre ambos, ya que no existen fuerzas inter ni intramoleculares entre el vidrio y el estaño. La superficie de contacto entre

estos dos materiales es perfectamente plana, permitiendo así que se forme la hoja (lámina) de vidrio.

El vidrio deja el baño de estaño a unos 800 °C y pasa a una zona de enfriamiento (arca de recocido) donde se va enfriando progresivamente hasta alcanzar la temperatura ambiente. Después pasa a una cinta que avanza sobre rodillos donde se va refrescando hasta que llega a unos cortadores, para luego apilar las láminas y almacenarlas.^[6] La figura 2.1 muestra el proceso.

2.4 Propiedades ópticas del vidrio

A la hora de seleccionar un vidrio para un determinado dispositivo es fundamental conocer sus propiedades ópticas, no sólo en el intervalo visible, sino también en la zona ultravioleta y en el infrarrojo. Existen vidrios de diferentes composiciones; aunque la mayoría de ellos son transparentes en el visible, tienen un comportamiento diferente en la zona ultravioleta e infrarroja del espectro. La primera medida que se realiza para caracterizar ópticamente un vidrio es su espectro de absorción o transmisión. La absorción se mide determinando la disminución de potencia experimentada por un haz de radiación como resultado de las interacciones con las especies absorbentes situadas en la trayectoria de dicho haz.

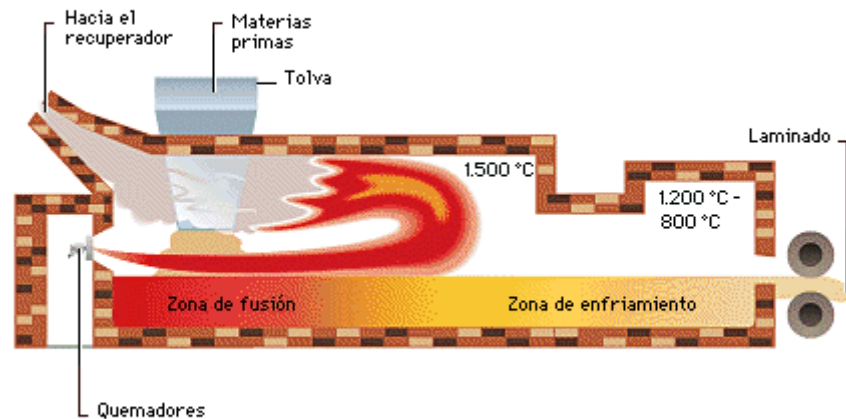


Figura 2.1 Proceso de producción de vidrio flotado.^[7]

De acá se deduce la ley de Beer:

$$\log P_0/P = \epsilon bc = A \quad (\text{Ec.2.1})$$

El término ϵ en esta ecuación es una constante de proporcionalidad denominada *absortividad molar*, e implica que la longitud del camino óptico, b , se expresa en centímetros y c en moles por litro. El logaritmo (en base 10) de la relación entre potencia incidente y la potencia transmitida se denomina *absorbancia* a la que se le da el símbolo A . La absorbancia aumentará evidentemente cuando aumente tanto b como c . Un término importante relacionado con la absorción de radiación es la *transmitancia*, T , que se define como:

$$T = P/P_0 \quad (\text{Ec.2.2})$$

La transmitancia, que es la fracción de la radiación incidente transmitida por la solución, se expresa frecuentemente como un porcentaje. La Transmitancia está relacionada con la absorbancia, por la siguiente expresión^[8]:

$$A = -\log T = \log 1/T \quad (\text{Ec. 2.3})$$

2.5 El espectrofotómetro

Un espectrofotómetro es un instrumento usado en la física óptica que sirve para medir, en función de la longitud de onda, la relación entre valores de una misma magnitud fotométrica relativos a dos haces de radiaciones. Este instrumento tiene la capacidad de proyectar un haz de luz monocromática a través de una muestra y medir la cantidad de luz que es absorbida por dicha muestra.

Esto permite:

1. Dar información sobre la naturaleza de la sustancia en la muestra
2. Indicar indirectamente que cantidad de la sustancia que nos interesa está presente en la muestra

2.5.1 Espectrofotómetro ultravioleta- visible

La espectrofotometría ultravioleta-visible usa haces de radiación del espectro electromagnético, en el rango UV de 80 a 400 nm, principalmente de 200 a 400 nm y en el de la luz visible de 400 a 700 nm, por lo que es de gran utilidad para caracterizar los materiales en la región ultravioleta y visible del espectro.

Al campo de luz uv de 200 a 400 nm se le conoce también como rango de uv cercano, la espectrofotometría visible solamente usa el rango del campo electromagnético de la luz visible, de 400 a 700 nm, como se muestra en la figura 2.2. Todas las sustancias pueden absorber energía radiante. El vidrio, que parece ser

completamente transparente, absorbe longitudes de onda que pertenecen al espectro visible.^[9]

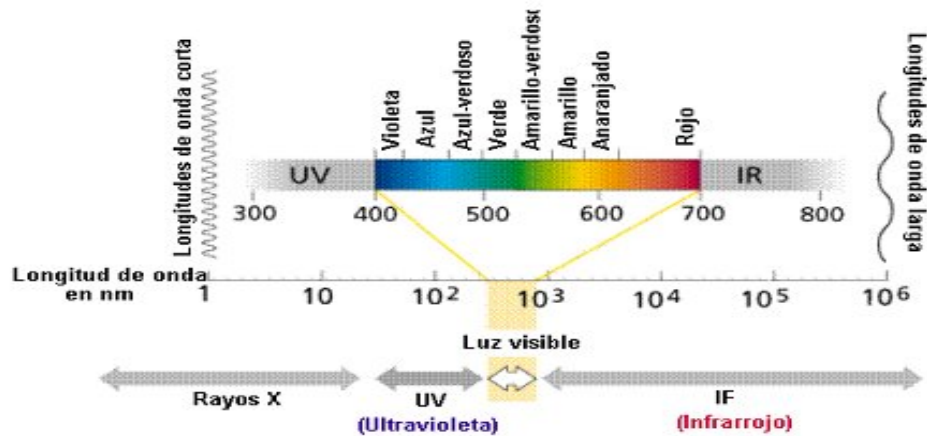


Figura 2.2 Espectro electromagnético.^[9]

2.6 La colorimetría

Ciencia que estudia el color y cuyo objetivo es expresar los colores y sus atributos perceptuales mediante números, ya que existe la necesidad de estandarizarlos para poder clasificarlos y reproducirlos.^[10]

Debe notarse que el color es una característica subjetiva, pues sólo existe en el ojo y en el cerebro del observador humano, no siendo una característica propia de un objeto. Los objetos devuelven la luz que no absorben hacia su entorno y el campo visual interpreta las radiaciones electromagnéticas emitidas. Los fotorreceptores del ojo humano son los conos de la retina, de los que existen diferentes tipos, con sensibilidades diferentes a las distintas partes del espectro luminoso.^[11]

Los descriptores perceptuales del color son:

Tono o matiz: es el término utilizado para la característica "popularmente" llamada color. Es el color mismo. Es el factor que permite describir al color en términos de longitudes de onda de la luz (sistema en el que se basa el Sistema CIE). En condiciones óptimas, el ojo puede distinguir alrededor de doscientos tonos diferentes.

Saturación: indica la medida de la pureza de un color. Cuanto más saturado esté un color, más intenso y vivo aparece. Cuando un color pierde saturación, se va aproximando al gris neutro.

Luminosidad o brillo: es la medida de la claridad u oscuridad de un color; se corresponde con la escala de grises del color dado.

No se debe confundir luminosidad con intensidad de un color. Aunque sea menos visible, un rosado apagado (correspondiente al rojo con baja saturación) es más luminoso que el rojo intenso (muy saturado),^[12] como se observa en la figura 2.3.

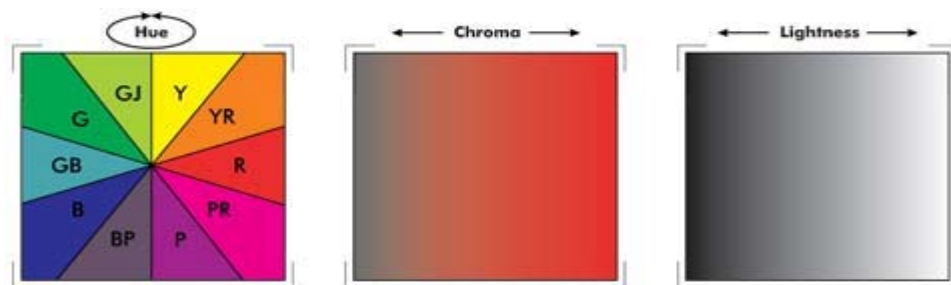


Figura 2.3 Descriptores perceptuales del color.^[13]

2.7 Sistema de color CIE XYZ

Debido a la gran cantidad de colores, los nombres para los distintos tonos se harían muy ambiguos si no se describen con absoluta precisión. Términos tales

como claro, medio, pálido, etc, serían los utilizados para su identificación, lo que resulta incorrecto. Para poder trabajar con color se crearon varios sistemas.

El sistema CIE se basa en las pautas físicas de longitud de onda, pureza e intensidad luminosa, que representan variables específicas y universales. También llamado Sistema ICI, se basa en datos de medición, con los cuales los colores pueden ser conseguidos mezclando las proporciones adecuadas de los tres colores primarios aditivos: rojo, verde y azul. Para asegurar una exactitud completa, todos los factores implicados en la obtención de las mediciones están estrictamente estandarizados. ^[12]

El sistema XYZ está basado en la respuesta de los tres receptores de color del ojo, y ya que esto difiere un poco de persona a persona, se ha definido como “observador estándar” a la respuesta espectral correspondiente aproximadamente a un promedio de la población muestreada por la CIE. Para mostrar el modelo espacial de los tres colores, la CIE crea un triángulo cromático basado en las coordenadas XYZ, el cual posteriormente fue sustituido por el diagrama de dos dimensiones tal como se muestra en la figura 2.4. El cambio del sistema tridimensional al bidimensional provocó que en el nuevo modelo no se pudiera leer la tercera coordenada de color (Z), lo cual se corrigió haciendo uso de magnitudes relativas y de donde se deduce que solo son suficientes dos de los valores colorimétricos relativos para trabajar con el diagrama.

Las magnitudes relativas fueron definidas así:

$$x = X / (X + Y + Z). \quad (\text{Ec.2.4})$$

$$y = Y / (X + Y + Z). \quad (\text{Ec.2.5})$$

$$z = Z / (X + Y + Z). \quad (\text{Ec.2.6})$$

Donde:

$$x + y + z = 1. \quad (\text{Ec.2.7})$$

El valor z de cualquier color deseado puede ser obtenido substrayendo las coordenadas de cromaticidad x e y de 1:

$$1 - x - y = z. \quad (\text{Ec.2.8})$$

Sumando la brillantez al color, un color no es definido totalmente por intermedio de su cromaticidad (x e y). También se necesita especificar un coeficiente de brillantez. El color es sólo descripto en su totalidad si este contiene los valores x e y más el coeficiente de brillantez Y .^[14]

Para expresar un color según este sistema, se tiene en cuenta lo siguiente: cuanto más puro es un color (mayor saturación), más cerca estará del límite externo del diagrama; en cambio, cuanto más bajo sea su grado de saturación (más diluido en gris), más cercana será su posición con respecto al punto neutro.

En el Diagrama CIE un color dado aparece indicado en relación con todos los demás colores, sin embargo, al ser sólo una representación bidimensional de color, este tipo de diagrama únicamente indica dos de las cualidades de un color: el tono y la saturación. El tono está especificado en función de la longitud de onda dominante. Para encontrar ésta, el punto de posición del color en el diagrama es unido con el punto neutro mediante una línea recta. Esta línea es entonces prolongada hasta que corta la línea en forma de herradura que limita el diagrama. La longitud de onda representada por este punto de intersección de las dos líneas es la longitud de onda dominante para el color en cuestión.^[12]

2.8 Sistema de color CIE L*, A*, B* (CIELAB)

El CIE L*a*b* (CIELAB) es el modelo cromático usado normalmente para describir todos los colores que puede percibir el ojo humano. Fue desarrollado

específicamente con este propósito por CIE. Los tres parámetros en el modelo representan la luminosidad de color (L^* , $L^*=0$ rendimientos negro y $L^*=100$ indica blanca), su posición entre rojo y verde (a^* , valores negativos indican verde mientras valores positivos indican rojo) y su posición entre amarillo y azul (b^* , valores negativos indican azul y valores positivos indican amarillo), como se muestra en la figura 2.5 y 2.6.

El propósito principal es producir un espacio de color que sea más "perceptivamente lineal" que otros modelos de color. Perceptivamente lineal significa que un cambio de la misma cantidad en un valor de color debe producir un cambio casi de la misma importancia visual. Lo anterior puede mejorar la reproducción de tonos cuando se almacenan colores en valores de precisión limitada. [16]

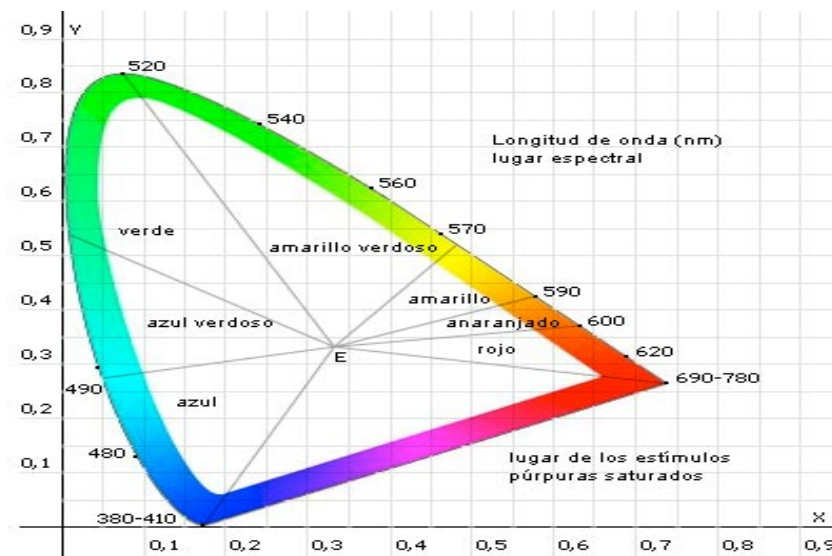


Figura 2.4 Diagrama de cromaticidad del CIE. [15]

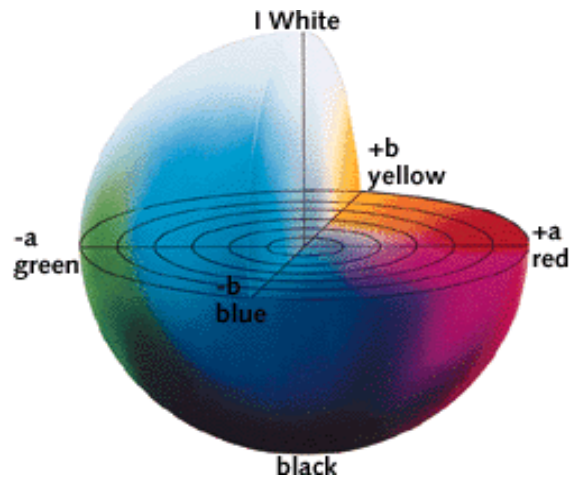


Figura 2.5 Espacio tridimensional y bidimensional CIELAB. ^[14]

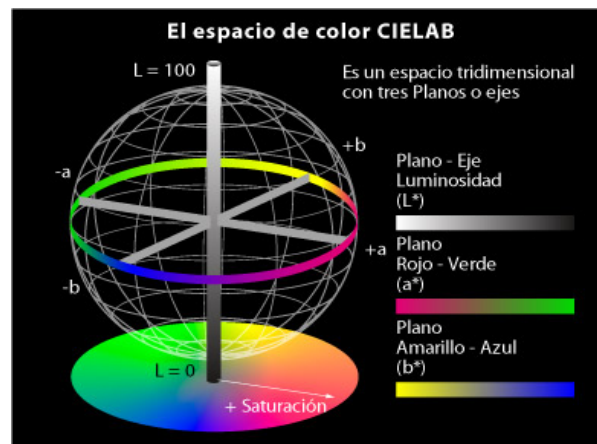


Figura 2.6 Espacio tridimensional CIELAB. ^[14].

2.9 Elipses MAC ADAM

La capacidad para distinguir entre longitudes de onda próximas no es constante a lo largo del espacio cromático y la capacidad de discriminación puede representarse mediante las llamadas elipses de Mac Adam. Estas elipses representan áreas del diagrama cromático de forma que todos los puntos dentro de una elipse corresponden a colores que no pueden discriminarse unos de otros ^[5], como se muestra en la figura 2.7.

Mac Adam creó un experimento en el que un observador capacitado podía ver dos colores diferentes. Uno de los colores (color de prueba) se encontraba fijo, pero el otro era regulable por el observador, a este se le pidió que ajustara el color hasta la altura del color de prueba. Los resultados, por supuesto, no fueron perfectos, ya que el ojo humano, como cualquier otro instrumento, tiene una precisión limitada. Se constató por Mac Adam, que todos los intentos realizados por el observador se localizaron en una elipse en el diagrama de cromaticidad CIE 1931.^[17]

Todas las elipses no tienen el mismo tamaño: nuestra discriminación al color es mejor para longitudes de onda próximas a 490 nm donde las elipses son menores que en la región del 540 nm. El 1960 el CIE definió un nuevo sistema de coordenadas basado en el sistema XYZ con el objetivo de que las elipses quedaran representadas en círculos del mismo tamaño independientemente de su posición.^[5]

2.10 Programa LABMEXICO-VENEZUELA

Paquete computacional utilizado en el control de la cromaticidad del vidrio, del cual se obtienen las coordenadas de color de los diferentes sistemas como lo son el CIE XYZ y el CIELAB. Utiliza como datos los valores de transmisión del vidrio a diferentes longitudes de onda (obtenidos mediante el escaneo previo de la muestra), color de la muestra, espesor de la misma y de referencia. Este análisis se realiza constantemente para inspeccionar que el color del vidrio que se este produciendo sea el más exacto.

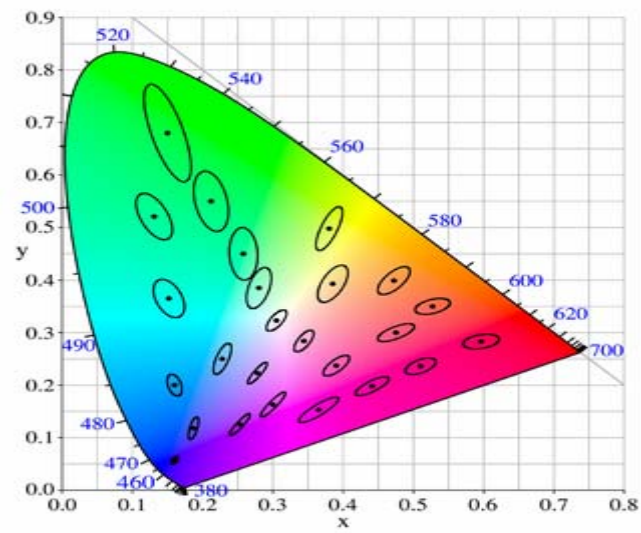


Figura 2.7 Elipses de Mac Adam en el diagrama cromático. [18]

CAPITULO III

DESARROLLO DEL TRABAJO

3.1 Obtención de las propiedades ópticas del vidrio de color de los años 2008 y 2009

Para la obtención de las propiedades ópticas del vidrio, se analizaron muestras de éste mediante un espectrofotómetro U-V, para lo cual fue necesario el adiestramiento e inducción sobre el uso de este equipo, a través de los manuales existentes.

3.1.1 Recolección de muestras

La población de este proyecto resultó accesible, definida por el autor Fideas G. Arias (2003) así, “también denominada población muestreada, es la población finita de la población objetivo a la que realmente se tiene acceso y de la cual se extrae una muestra representativa”^[20]. La muestra representativa fue tomada al azar simple, procedimiento en el cual todos los elementos tuvieron la misma probabilidad de ser seleccionados.

Para el vidrio de color gris fueron tomadas 95 muestras y para los vidrios de color bronce y euro bronce, 40 y 30 respectivamente. Esta diferencia en la cantidad de las muestras se debe a que la producción anual de vidrio gris es mayor en comparación con los otros dos colores.

3.1.2 Procedimiento para la determinación de las propiedades ópticas del vidrio

En la figura 3.1 se muestra el procedimiento para la obtención de las propiedades ópticas de vidrio mediante la utilización de espectrofotómetro U-V y el

programa LabMex-Ven. Cada muestra a la cual se le realizó la prueba de color se debió limpiar detenidamente con líquido limpia vidrio; antes de la utilización del espectrofotómetro se realizó la calibración en blanco del equipo para posteriormente poder colocar la muestra en la cubeta e iniciar el proceso de escaneo. Los valores de transmisión a diferentes longitudes de ondas obtenidos mediante el escaneo fueron trasladados al programa LabMex-Ven al igual que los datos de la muestra, los cuales sirvieron para obtener las tendencias de las propiedades ópticas que se reportan en el capítulo IV.

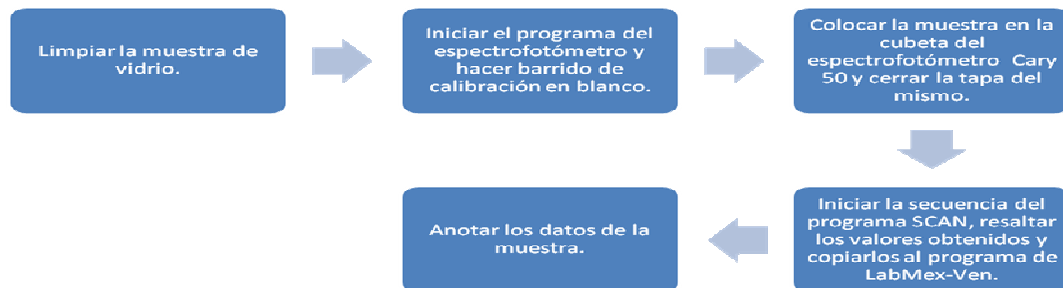


Figura 3.1 Diagrama de la determinación de las propiedades ópticas del vidrio

Los resultados de las muestras se observan en las siguientes tabla, por ser muy extensas solo se presenta parte de ellas, en su totalidad se recogen en los anexos A, desde de la tabla A.1 hasta la tabla A.6.

Tabla 3.1 Propiedades ópticas del vidrio color gris y espesor de referencia de 5,66mm

| Fecha de la muestra | Espesor (mm) | Mac Adam | R-V | A-Az | x | y | %T | a* | b* | L* |
|---------------------|--------------|----------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 17/09/2008 | 4,94 | 1,89 | -0,76 | 0,76 | 0,3065 | 0,3135 | 43,40 | -0,40 | -1,27 | 71,83 |
| 18/09/2008 | 5,90 | 2,29 | 0,79 | 1,70 | 0,3082 | 0,3147 | 43,55 | -0,18 | -0,69 | 71,93 |
| 19/09/2008 | 7,85 | 2,96 | 1,64 | 1,91 | 0,3089 | 0,3149 | 43,40 | 0,05 | -0,56 | 71,83 |
| 20/09/2008 | 7,94 | 2,42 | 1,33 | 1,65 | 0,3084 | 0,3144 | 43,63 | 0,03 | -0,73 | 71,98 |
| 21/09/2008 | 7,91 | 1,03 | -0,06 | 0,87 | 0,3070 | 0,3135 | 44,00 | -0,18 | -1,22 | 72,23 |
| 22/09/2008 | 7,76 | 1,98 | -1,68 | -0,44 | 0,3050 | 0,3116 | 44,88 | -0,28 | -2,04 | 72,82 |
| 23/09/2008 | 7,92 | 2,15 | -1,89 | -0,32 | 0,3050 | 0,3119 | 44,90 | -0,39 | -1,96 | 72,83 |
| 24/09/2008 | 7,75 | 3,17 | -2,43 | -0,46 | 0,3046 | 0,3118 | 45,50 | -0,53 | -2,05 | 73,22 |
| 25/09/2008 | 9,98 | 2,87 | -1,70 | -0,17 | 0,3052 | 0,3121 | 45,69 | -0,37 | -1,88 | 73,35 |
| 26/09/2008 | 9,85 | 1,91 | -1,56 | -0,09 | 0,3053 | 0,3122 | 44,97 | -0,36 | -1,83 | 72,87 |

Tabla 3.2 Propiedades ópticas del vidrio color gris y espesor de referencia de 6,00mm

| Fecha de la muestra | Espesor (mm) | Mac Adam | R-V | A-Az | x | y | %T | a* | b* | L* |
|---------------------|--------------|----------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 17/09/2008 | 4,94 | 4,86 | -0,62 | 0,61 | 0,3064 | 0,3132 | 41, 48 | -0,31 | -1,33 | 70,51 |
| 18/09/2008 | 5,90 | 4,81 | 0,80 | 1,58 | 0,3082 | 0,3146 | 41. 67 | -0,14 | -0,71 | 70,65 |
| 19/09/2008 | 7,85 | 5,18 | 1,12 | 1,75 | 0,3085 | 0,3148 | 41,51 | -0,09 | -0,59 | 70,53 |
| 20/09/2008 | 7,94 | 4,63 | 0,61 | 1,54 | 0,3080 | 0,3146 | 41,76 | -0,20 | -0,73 | 70,71 |
| 21/09/2008 | 7,91 | 3,81 | 0,07 | 0,71 | 0,3069 | 0,3132 | 42,09 | -0,09 | -1,28 | 70,94 |
| 22/09/2008 | 7,76 | 3,15 | -2,16 | -0,63 | 0,3045 | 0,3114 | 43,00 | -0,39 | -2,14 | 71,56 |
| 23/09/2008 | 7,92 | 3,52 | -2,18 | -0,40 | 0,3043 | 0,3121 | 43,08 | -0,72 | -1,98 | 71,61 |
| 24/09/2008 | 7,75 | 3,03 | -2,75 | 0,58 | 0,3042 | 0,3117 | 43,65 | -0,62 | -2,10 | 72,00 |
| 25/09/2008 | 9,98 | 2,44 | -2,26 | -0,36 | 0,3047 | 0,3119 | 43,81 | -0,52 | -1,97 | 72,10 |
| 26/09/2008 | 9,85 | 2,75 | -1,87 | -0,21 | 0,3050 | 0,3121 | 43,13 | -0,44 | -1,87 | 71,65 |

Tabla 3.3 Propiedades ópticas del vidrio color bronce y espesor de referencia de 5,66mm

| Fecha de la muestra | Espesor (mm) | Mac Adam | R-V | A-Az | x | y | %T | a* | b* | L* |
|---------------------|--------------|----------|-------|-------|--------|--------|-------|------|------|-------|
| 13/04/2009 | 5,87 | 0,54 | 0,44 | -0,32 | 0,3260 | 0,3276 | 52,99 | 1,97 | 5,89 | 77,87 |
| 13/04/2009 | 5,87 | 2,28 | 1,79 | 0,01 | 0,3270 | 0,3277 | 52,02 | 2,33 | 6,04 | 77,29 |
| 14/04/2009 | 5,87 | 0,73 | 0,03 | -0,62 | 0,3255 | 0,3272 | 53,24 | 1,92 | 5,72 | 78,02 |
| 14/04/2009 | 5,88 | 0,81 | 0 | -0,58 | 0,3255 | 0,3273 | 53,37 | 1,90 | 5,75 | 78,09 |
| 15/04/2009 | 7,88 | 2,20 | -0,87 | -1,02 | 0,3247 | 0,3269 | 54,15 | 1,74 | 5,53 | 78,55 |
| 15/04/2009 | 7,91 | 2,73 | -1,57 | -1,15 | 0,3242 | 0,3269 | 54,28 | 1,54 | 5,47 | 78,63 |
| 16/04/2009 | 7,86 | 2,03 | -0,99 | -0,90 | 0,3247 | 0,3271 | 54,02 | 1,66 | 5,50 | 78,48 |
| 16/04/2009 | 7,88 | 1,48 | -0,86 | -0,42 | 0,3252 | 0,3278 | 53,76 | 1,55 | 5,88 | 78,32 |
| 17/04/2009 | 7,93 | 1,40 | -0,49 | -0,58 | 0,3253 | 0,3274 | 53,78 | 1,73 | 5,78 | 78,34 |
| 17/04/2009 | 7,85 | 0,80 | 0,02 | -0,32 | 0,3257 | 0,3277 | 53,48 | 1,82 | 5,92 | 78,16 |

Tabla 3.4 Propiedades ópticas del vidrio color bronce y espesor de referencia de 6,00mm

| Fecha de la muestra | Espesor (mm) | Mac Adam | R-V | A-Az | x | y | %T | a* | b* | L* |
|---------------------|--------------|----------|-------|-------|--------|--------|-------|------|------|-------|
| 13/04/2009 | 5,87 | 2,95 | 1,43 | 0,22 | 0,3270 | 0,3281 | 51,26 | 2,13 | 6,15 | 76,84 |
| 13/04/2009 | 5,87 | 4,64 | 2,33 | 0,62 | 0,3279 | 0,3285 | 50,33 | 2,32 | 6,36 | 76,27 |
| 14/04/2009 | 5,87 | 2,50 | 1,11 | -0,14 | 0,3265 | 0,3276 | 51,48 | 2,14 | 5,93 | 76,97 |
| 14/04/2009 | 5,88 | 2,20 | 0,93 | -0,03 | 0,3265 | 0,3279 | 51,65 | 2,04 | 6,02 | 77,07 |
| 15/04/2009 | 7,88 | 0,89 | -0,26 | -0,42 | 0,3255 | 0,3276 | 52,50 | 1,75 | 5,82 | 77,58 |
| 15/04/2009 | 7,91 | 1,03 | -0,67 | -0,55 | 0,3252 | 0,3275 | 52,62 | 1,65 | 5,75 | 77,65 |
| 16/04/2009 | 7,86 | 1,05 | -0,27 | -0,34 | 0,3255 | 0,3277 | 52,35 | 1,72 | 5,86 | 77,49 |
| 16/04/2009 | 7,88 | 1,44 | 0,30 | 0,14 | 0,3263 | 0,3284 | 52,06 | 1,76 | 6,15 | 77,32 |
| 17/04/2009 | 7,93 | 1,44 | 0,46 | 0 | 0,3262 | 0,3271 | 52,08 | 1,86 | 6,05 | 77,33 |
| 17/04/2009 | 7,85 | 2,00 | 0,82 | 0,33 | 0,3267 | 0,3285 | 51,80 | 1,88 | 6,25 | 77,16 |

Tabla 3.5 Propiedades ópticas del vidrio color euro bronce y espesor de referencia de 5,66mm

| Fecha de la muestra | Espesor (mm) | Mac Adam | R-V | A-Az | x | y | %T | a* | b* | L* |
|---------------------|--------------|----------|-------|-------|--------|--------|-------|------|------|-------|
| 07/04/2009 | 3,95 | 0,52 | -0,20 | -0,48 | 0,3289 | 0,3289 | 49,63 | 2,58 | 6,59 | 75,84 |
| 07/04/2009 | 3,98 | 0,82 | -0,08 | -0,59 | 0,3288 | 0,3286 | 49,23 | 2,65 | 6,50 | 75,60 |
| 08/04/2009 | 4,00 | 2,64 | -0,71 | -0,97 | 0,3289 | 0,3283 | 51,09 | 2,57 | 6,38 | 76,74 |
| 08/04/2009 | 3,86 | 2,24 | -1,27 | -1,07 | 0,3278 | 0,3283 | 50,56 | 2,41 | 6,29 | 76,41 |
| 09/04/2009 | 3,91 | 3,87 | -1,06 | -1,52 | 0,3276 | 0,3275 | 51,76 | 2,64 | 6,08 | 77,14 |
| 10/04/2009 | 4,87 | 3,59 | -1,58 | -1,59 | 0,3273 | 0,3276 | 51,38 | 2,47 | 6,03 | 76,91 |
| 10/04/2009 | 4,95 | 3,74 | -1,59 | -1,52 | 0,3273 | 0,3277 | 51,53 | 2,45 | 6,08 | 77,00 |
| 11/04/2009 | 4,73 | 3,29 | -1,30 | -1,54 | 0,3274 | 0,3276 | 51,25 | 2,55 | 6,05 | 76,83 |
| 11/04/2009 | 4,88 | 3,09 | -1,24 | -1,39 | 0,3276 | 0,3278 | 51,16 | 2,52 | 6,13 | 76,78 |
| 12/04/2009 | 4,90 | 2,97 | -0,96 | -1,41 | 0,3277 | 0,3277 | 51,14 | 2,63 | 6,11 | 76,77 |

Tabla 3.6 Propiedades ópticas del vidrio color euro bronce y espesor de referencia de 6,00mm

| Fecha de la muestra | Espesor (mm) | Mac Adam | R-V | A-Az | x | y | %T | a* | b* | L* |
|---------------------|--------------|----------|-------|-------|--------|--------|-------|------|------|-------|
| 07/04/2009 | 3,95 | 2,80 | 0,66 | 0,24 | 0,3300 | 0,3298 | 47,86 | 2,63 | 6,94 | 74,74 |
| 07/04/2009 | 3,98 | 3,39 | 0,62 | 0,10 | 0,3298 | 0,3296 | 47,46 | 2,65 | 6,84 | 74,49 |
| 08/04/2009 | 4,00 | 0,73 | 0,49 | -0,31 | 0,3294 | 0,3289 | 49,30 | 2,76 | 6,67 | 75,64 |
| 08/04/2009 | 3,86 | 1,39 | -0,13 | -0,48 | 0,3289 | 0,3288 | 48,76 | 2,59 | 6,55 | 75,30 |
| 09/04/2009 | 3,91 | 1,10 | -0,14 | -0,84 | 0,3286 | 0,3283 | 50,03 | 2,72 | 6,39 | 76,09 |
| 10/04/2009 | 4,87 | 0,99 | -0,47 | -0,86 | 0,3284 | 0,3283 | 49,67 | 2,60 | 6,36 | 75,87 |
| 10/04/2009 | 4,95 | 0,88 | -0,12 | -0,82 | 0,3286 | 0,3283 | 49,78 | 2,71 | 6,39 | 75,94 |
| 11/04/2009 | 4,73 | 0,90 | -0,03 | -0,88 | 0,3286 | 0,3282 | 49,47 | 2,76 | 6,33 | 75,74 |
| 11/04/2009 | 4,88 | 0,77 | -0,17 | -0,70 | 0,3287 | 0,3285 | 49,41 | 2,65 | 6,44 | 75,71 |
| 12/04/2009 | 4,90 | 0,82 | 0,27 | -0,72 | 0,3289 | 0,3283 | 49,40 | 2,81 | 6,42 | 75,70 |

3.2 Establecimiento del rango de referencia de las coordenadas CIELAB, en función de las consignas de los valores MAC ADAM

Para cumplir con este objetivo se procedió a tomar de las tablas de las propiedades ópticas del vidrio aquellos resultados de las coordenadas, a^* , b^* , L^* correspondientes a valores de Mac Adam en intervalos de 0-2,5 y 2,6-3,5; al total de los valores de las coordenadas se le aplicó la media aritmética y la desviación estándar, con lo que se establecieron los rangos de cada coordenada que permitirán operar bajo especificaciones aceptables y obtener la mayor calidad en el producto.

Tabla 3.7 Propiedades ópticas del vidrio color gris correspondientes a un intervalo de Mac Adam de 0-2,5

| Fecha | Espesor (mm) | Mac Adam | a* | b* | L* |
|--------------|---------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|
| 17/09/2008 | 4,94 | 1,89 | -0,40 | -1,27 | 71,83 |
| 18/09/2008 | 5,90 | 2,29 | -0,18 | -0,69 | 71,93 |
| 20/09/2008 | 7,94 | 2,42 | 0,03 | -0,73 | 71,98 |
| 21/09/2008 | 7,91 | 1,03 | -0,18 | -1,22 | 72,23 |
| 22/09/2008 | 7,76 | 1,98 | -0,28 | -2,04 | 72,82 |
| 23/09/2008 | 7,92 | 2,15 | -0,39 | -1,96 | 72,83 |
| 26/09/2008 | 9,85 | 1,91 | -0,36 | -1,83 | 72,87 |
| 01/10/2008 | 5,90 | 2,32 | -0,14 | -2,38 | 72,04 |
| 02/10/2008 | 4,91 | 2,50 | -0,13 | -2,53 | 72,16 |
| 04/10/2008 | 3,94 | 2,08 | 0,02 | -2,49 | 72,14 |
| 05/10/2008 | 3,96 | 1,76 | 0,16 | -2,43 | 72,06 |
| 06/10/2008 | 3,92 | 2,06 | 0,07 | -2,47 | 72,03 |
| 07/10/2008 | 3,18 | 2,02 | 0,08 | -2,53 | 72,17 |
| 08/10/2008 | 2,97 | 1,86 | 0,07 | -2,50 | 72,46 |
| 09/10/2008 | 2,88 | 1,71 | 0,12 | -2,48 | 72,34 |
| 10/10/2008 | 2,87 | 1,08 | 0,17 | -2,20 | 72,22 |
| 11/10/2008 | 2,91 | 1,48 | 0,17 | -2,36 | 72,17 |
| 12/10/2008 | 3,87 | 1,24 | 0,16 | -2,13 | 72,06 |
| 13/10/2008 | 3,91 | 0,89 | 0,25 | -2,22 | 72,54 |
| 14/10/2008 | 3,93 | 0,73 | 0,11 | -1,99 | 72,60 |
| 15/10/2008 | 3,89 | 0,98 | -0,05 | -1,98 | 72,40 |
| 16/10/2008 | 3,82 | 0,74 | 0,03 | -1,86 | 72,64 |
| 17/10/2008 | 3,86 | 1,39 | 0,20 | -1,61 | 72,94 |
| 18/10/2008 | 3,86 | 1,21 | 0,22 | -1,34 | 72,54 |
| 19/10/2008 | 3,85 | 2,37 | 0,34 | -0,96 | 72,20 |
| 23/10/2008 | 5,88 | 1,10 | -0,19 | -1,69 | 72,16 |
| 24/10/2008 | 5,86 | 1,62 | -0,35 | -1,57 | 72,00 |

Tabla 3.7 Propiedades ópticas del vidrio color gris correspondientes a un intervalo de Mac Adam de 0-2,5 (continuación)

| | | | | | |
|------------|-------|------|-------|-------|-------|
| 25/10/2008 | 5,80 | 1,90 | -0,33 | -1,73 | 71,90 |
| 26/10/2008 | 7,83 | 2,23 | -0,14 | -1,96 | 71,69 |
| 27/10/2008 | 7,85 | 1,84 | -0,13 | -1,98 | 71,88 |
| 28/10/2008 | 7,85 | 1,93 | 0,04 | -2,01 | 71,73 |
| 30/10/2008 | 7,79 | 1,63 | -0,07 | -1,82 | 71,86 |
| 01/11/2008 | 7,81 | 1,75 | 0,01 | -1,67 | 71,75 |
| 02/11/2008 | 10,00 | 0,51 | -0,06 | -1,66 | 72,34 |
| 03/11/2008 | 9,62 | 1,62 | -0,20 | -1,93 | 72,06 |
| 04/11/2008 | 9,89 | 1,83 | -0,11 | -2,21 | 72,10 |
| 06/11/2008 | 7,86 | 2,40 | -0,20 | -2,35 | 72,04 |
| 07/11/2008 | 7,87 | 2,04 | -0,08 | -2,35 | 72,10 |
| 08/11/2008 | 7,71 | 0,66 | -0,02 | -1,85 | 72,40 |
| 09/11/2008 | 7,70 | 0,76 | -0,03 | -1,81 | 72,26 |
| 10/11/2008 | 7,79 | 0,63 | -0,12 | -1,55 | 72,31 |
| 11/11/2008 | 7,68 | 0,90 | -0,18 | -1,26 | 72,30 |
| 12/11/2008 | 7,78 | 1,11 | -0,19 | -1,23 | 72,17 |
| 13/11/2008 | 7,79 | 0,71 | -0,17 | -1,37 | 72,38 |
| 14/11/2008 | 5,94 | 0,64 | -0,16 | -1,51 | 72,50 |
| 15/11/2008 | 5,87 | 0,75 | -0,22 | -1,44 | 72,46 |
| 16/11/2008 | 5,89 | 0,91 | 0,06 | -1,47 | 72,72 |
| 17/11/2008 | 4,92 | 0,95 | 0,04 | -1,43 | 72,72 |
| 18/11/2008 | 5,81 | 1,52 | -0,12 | -1,24 | 72,93 |
| 21/02/2009 | 5,79 | 1,60 | 0,42 | -2,67 | 72,45 |
| 22/02/2009 | 7,91 | 2,37 | 0,27 | -2,82 | 72,77 |
| 22/02/2009 | 7,95 | 1,28 | 0,58 | -2,48 | 72,66 |
| 22/02/2009 | 7,70 | 1,45 | 0,71 | -2,24 | 72,04 |
| 23/02/2009 | 7,80 | 1,63 | 0,80 | -2,24 | 72,02 |
| 23/02/2009 | 7,80 | 1,27 | 0,54 | -2,55 | 72,54 |
| 24/02/2009 | 7,95 | 0,83 | 0,54 | -2,21 | 72,52 |
| 24/02/2009 | 7,79 | 1,61 | 0,76 | -2,05 | 72,74 |

Tabla 3.7 Propiedades ópticas del vidrio color gris correspondientes a un intervalo de Mac Adam de 0-2,5 (continuación)

| | | | | | |
|------------|------|------|-------|-------|-------|
| 25/02/2009 | 7,89 | 1,25 | 0,72 | -2,08 | 72,52 |
| 06/03/2009 | 7,76 | 2,48 | 0,53 | -1,21 | 71,92 |
| 08/03/2009 | 7,93 | 2,35 | 0,45 | -1,07 | 72,50 |
| 09/03/2009 | 7,72 | 2,11 | 0,34 | -1,05 | 72,50 |
| 11/03/2009 | 9,57 | 2,23 | 0,26 | -0,92 | 72,26 |
| 11/03/2009 | 9,58 | 2,36 | 0,23 | -0,84 | 72,59 |
| 12/03/2009 | 9,80 | 1,84 | 0,20 | -1,04 | 72,60 |
| 12/03/2009 | 7,72 | 1,68 | 0,05 | -1,19 | 72,91 |
| 13/03/2009 | 7,96 | 0,44 | 0,10 | -1,57 | 72,51 |
| 13/03/2009 | 7,89 | 0,81 | 0 | -1,38 | 72,62 |
| 14/03/2009 | 7,93 | 0,24 | 0,09 | -1,69 | 72,36 |
| 14/03/2009 | 7,89 | 0,56 | -0,08 | -1,70 | 72,43 |
| 14/03/2009 | 7,94 | 0,39 | 0,09 | -1,76 | 72,30 |
| 15/03/2009 | 7,94 | 0,29 | 0,06 | -1,64 | 72,36 |
| 15/03/2009 | 7,95 | 0,59 | 0,02 | -1,66 | 72,22 |
| 15/03/2009 | 7,91 | 0,49 | -0,03 | -1,62 | 72,31 |
| 16/03/2009 | 7,81 | 0,53 | -0,02 | -1,78 | 72,39 |
| 18/03/2009 | 7,96 | 1,13 | 0,20 | -1,35 | 72,29 |
| 19/03/2009 | 7,92 | 1,26 | 0,23 | -1,32 | 72,30 |
| 20/03/2009 | 7,89 | 0,96 | -0,04 | -1,40 | 72,14 |

Tabla 3.8 Propiedades ópticas del vidrio color gris correspondientes a un intervalo de Mac Adam de 2,6-3,5

| Fecha de la muestra | Espesor (mm) | Mac Adam | a* | b* | L* |
|----------------------------|---------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|
| 19/09/2008 | 7,85 | 2,96 | 0,05 | -0,56 | 71,83 |
| 24/09/2008 | 7,75 | 3,17 | -0,53 | -2,05 | 73,22 |
| 25/09/2008 | 9,98 | 2,87 | -0,37 | -1,88 | 73,35 |
| 28/09/2008 | 7,74 | 3,11 | 0,14 | -1,66 | 71,19 |
| 29/09/2008 | 7,81 | 2,93 | 0,24 | -1,56 | 71,29 |
| 30/09/2008 | 5,87 | 2,98 | 0,18 | -1,86 | 71,24 |
| 20/10/2008 | 4,86 | 2,93 | 0,26 | -0,73 | 71,89 |
| 21/10/2008 | 5,91 | 3,48 | 0,34 | -0,59 | 71,78 |
| 22/10/2008 | 5,94 | 2,63 | 0,20 | -0,82 | 71,90 |
| 05/11/2008 | 7,86 | 2,64 | -0,22 | -2,48 | 72,12 |

Tabla 3.9 Propiedades ópticas del vidrio color bronce correspondientes a un intervalo de Mac Adam de 0-2,5

| Fecha de la muestra | Espesor (mm) | Mac Adam | a* | b* | L* |
|----------------------------|---------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|
| 13/04/2009 | 5,87 | 0,54 | 1,97 | 5,89 | 77,87 |
| 13/04/2009 | 5,87 | 2,28 | 2,33 | 6,04 | 77,29 |
| 14/04/2009 | 5,87 | 0,73 | 1,92 | 5,72 | 78,02 |
| 14/04/2009 | 5,88 | 0,81 | 1,90 | 5,75 | 78,09 |
| 15/04/2009 | 7,88 | 2,20 | 1,74 | 5,53 | 78,55 |
| 16/04/2009 | 7,86 | 2,03 | 1,66 | 5,50 | 78,48 |
| 16/04/2009 | 7,88 | 1,48 | 1,55 | 5,88 | 78,32 |
| 17/04/2009 | 7,93 | 1,40 | 1,73 | 5,78 | 78,34 |
| 17/04/2009 | 7,85 | 0,80 | 1,82 | 5,92 | 78,16 |
| 18/04/2009 | 7,87 | 1,90 | 2,18 | 6,20 | 77,46 |
| 18/04/2009 | 7,87 | 1,13 | 2,01 | 6,20 | 77,72 |

Tabla 3.10 Propiedades ópticas del vidrio color bronce correspondientes a un intervalo de Mac Adam de 2,6-3,5

| Fecha de la muestra | Espesor (mm) | Mac Adam | a* | b* | L* |
|----------------------------|---------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|
| 15/04/2009 | 7,91 | 2,73 | 1,54 | 5,47 | 78,63 |
| 21/07/2009 | 5,88 | 3,24 | 2,77 | 5,92 | 77,26 |
| 22/07/2009 | 5,92 | 3,35 | 2,82 | 5,95 | 77,31 |
| 22/07/2009 | 5,85 | 3,34 | 2,72 | 6,03 | 77,19 |
| 23/07/2009 | 4,92 | 3,10 | 2,91 | 5,68 | 77,46 |
| 23/07/2009 | 4,95 | 3,41 | 2,74 | 5,94 | 77,10 |
| 24/07/2009 | 4,93 | 2,81 | 2,81 | 5,79 | 77,71 |
| 24/07/2009 | 4,90 | 3,13 | 2,99 | 5,64 | 77,82 |
| 25/07/2009 | 4,85 | 3,36 | 2,88 | 5,87 | 77,34 |
| 27/07/2009 | 2,90 | 3,50 | 2,83 | 6,11 | 77,41 |

Tabla 3.11 Propiedades ópticas del vidrio color euro bronce correspondientes a un intervalo de Mac Adam de 0-2,5

| Fecha de la muestra | Espesor (mm) | Mac Adam | a* | b* | L* |
|----------------------------|---------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|
| 07/04/2009 | 3,95 | 0,52 | 2,58 | 6,59 | 75,84 |
| 07/04/2009 | 3,98 | 0,82 | 2,65 | 6,50 | 75,60 |
| 08/04/2009 | 3,86 | 2,24 | 2,41 | 6,29 | 76,41 |
| 10/07/2009 | 3,89 | 2,02 | 3,09 | 5,73 | 76,06 |
| 11/07/2009 | 3,87 | 2,19 | 3,40 | 5,63 | 75,90 |
| 11/07/2009 | 3,86 | 2,41 | 3,41 | 5,61 | 76,15 |
| 12/07/2009 | 3,93 | 2,15 | 3,41 | 6,02 | 76,16 |
| 12/07/2009 | 3,89 | 2,17 | 3,41 | 5,84 | 76,11 |
| 13/07/2009 | 4,91 | 2,19 | 3,28 | 6,14 | 76,35 |
| 13/07/2009 | 5,86 | 1,72 | 3,25 | 6,34 | 76,03 |
| 14/07/2009 | 7,95 | 2,45 | 2,89 | 6,20 | 76,64 |
| 14/07/2009 | 7,86 | 2,17 | 2,81 | 6,19 | 76,51 |
| 15/07/2009 | 7,79 | 1,92 | 2,75 | 6,07 | 76,28 |
| 15/07/2009 | 7,88 | 2,48 | 2,75 | 5,96 | 76,48 |
| 19/07/2009 | 7,88 | 2,51 | 2,83 | 6,13 | 76,63 |
| 19/07/2009 | 7,86 | 2,35 | 2,86 | 6,13 | 76,57 |

Tabla 3.12 Propiedades ópticas del vidrio color euro bronce correspondientes a un intervalo de Mac Adam de 2,6-3,5

| Fecha de la muestra | Espesor (mm) | Mac Adam | a* | b* | L* |
|---------------------|--------------|----------|------|------|-------|
| 08/04/2009 | 4,00 | 2,64 | 2,57 | 6,38 | 76,74 |
| 11/04/2009 | 4,73 | 3,29 | 2,55 | 6,05 | 76,83 |
| 11/04/2009 | 4,88 | 3,09 | 2,52 | 6,13 | 76,78 |
| 12/04/2009 | 4,90 | 2,97 | 2,63 | 6,11 | 76,77 |
| 10/07/2009 | 3,95 | 2,76 | 3,15 | 5,83 | 76,60 |
| 16/07/2009 | 7,87 | 3,13 | 2,70 | 5,70 | 76,57 |
| 16/07/2009 | 7,87 | 3,20 | 2,70 | 5,82 | 76,71 |
| 17/07/2009 | 7,82 | 3,00 | 2,76 | 5,81 | 76,63 |
| 17/07/2009 | 10,00 | 2,94 | 2,76 | 5,83 | 76,61 |
| 18/07/2009 | 9,92 | 3,21 | 2,68 | 5,86 | 76,73 |
| 18/07/2009 | 9,97 | 3,02 | 2,78 | 5,79 | 76,63 |

3.2.1 Muestra de cálculos

Para la coordenada a* se tomaron los valores de la tabla 3.7, con ellos se hizo el cálculo de la media aritmética lo cual implicó realizar previamente la sumatoria total, arrojando un valor de 5,19, éste se dividió entre un total de 77 valores dando como resultado por la ecuación 3.1:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (\text{Ec.3.1})$$

$$\bar{a} = \frac{\sum a_i}{n}$$

$$\bar{a} = \frac{5,19}{77} = 0,07$$

Para la desviación estándar se realizó previamente el cálculo del cuadrado de cada medición de a^* menos la media aritmética, correspondiente al numerador de la ecuación.3.2

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (\text{Ec.3.2})$$

Para el primer valor de la tabla 3.7 se tiene que:

$$(a_i - \bar{a})^2 = (-0,4 - 0,07)^2 = 0,14$$

De igual forma se realizó para todos los demás valores y se calculó la sumatoria total.

$$\sum(a_i - \bar{a})^2 = 5,62$$

Entonces para la ecuación 3.2 se tiene que:

$$\sigma = \sqrt{\frac{5,62}{77-1}} = 0,27$$

Finalmente se tiene que aproximadamente el 99% de los datos están comprendidos entre:

$$a^* = 0,07 \pm 3 \times 0,27$$

$$a^* = 0,07 \pm 0,81$$

De manera análoga se realizaron los respectivos cálculos para obtener los rangos de a^* , b^* y L^* para los tres tipos de colores estudiados y los resultados se presentan en la tabla 4.1 y tabla 4.2.

3.3 Determinación de la influencia de la variación del espesor utilizado como referencia en los resultados de transmisión en el vidrio de color

El programa LabMex-Ven utiliza para los cálculos de la transmisión dos valores de espesor, el espesor de la muestra que dependerá del grosor de la placa de vidrio que se esté produciendo en la planta y el espesor de referencia que es el espesor con el cual el programa realiza la corrección. Para determinar cómo llegó a influir la variación del espesor de referencia en los resultados de transmisión, cada muestra de vidrio fue sometida al espectrofotómetro con dos valores de éste espesor: 5,66 mm y 6,00 mm.

Las tablas mostradas a continuación reflejan los resultados obtenidos de transmisión, especificando el color en estudio y el espesor de la muestra; observándose notoriamente mayores valores para las lecturas realizadas bajo el espesor de referencia de 5,66 mm.

Tabla 3.13 Transmisión del vidrio color gris, espesor de referencia de 5,66 mm y 6,00 mm

| Fecha de la muestra | Espesor (mm) | %T_{5,66} | %T_{6,00} |
|----------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| 17/09/2008 | 4,94 | 43,40 | 41,48 |
| 18/09/2008 | 5,90 | 43,55 | 41,67 |
| 19/09/2008 | 7,85 | 43,40 | 41,51 |
| 20/09/2008 | 7,94 | 43,63 | 41,76 |
| 21/09/2008 | 7,91 | 44,00 | 42,09 |
| 22/09/2008 | 7,76 | 44,88 | 43 |
| 23/09/2008 | 7,92 | 44,90 | 43,08 |
| 24/09/2008 | 7,75 | 45,50 | 43,65 |
| 25/09/2008 | 9,98 | 45,69 | 43,81 |
| 26/09/2008 | 9,85 | 44,97 | 43,13 |

Tabla 3.14 Transmisión del vidrio color bronce, espesor de referencia de 5,66 mm y 6,00 mm

| Fecha de la muestra | Espesor (mm) | %T_{5,66} | %T_{6,00} |
|----------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| 13/04/2009 | 5,87 | 52,99 | 51,26 |
| 13/04/2009 | 5,87 | 52,02 | 50,33 |
| 14/04/2009 | 5,87 | 53,24 | 51,48 |
| 14/04/2009 | 5,88 | 53,37 | 51,65 |
| 15/04/2009 | 7,88 | 54,15 | 52,5 |

Tabla3.15 Transmisión del vidrio color euro bronce, espesor de referencia de 5,66 mm y 6,00 mm

| Fecha de la muestra | Espesor (mm) | %T_{5,66} | %T_{6,00} |
|----------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| 07/04/2009 | 3,95 | 49,63 | 47,86 |
| 07/04/2009 | 3,98 | 49,23 | 47,46 |
| 08/04/2009 | 4 | 51,09 | 49,3 |
| 08/04/2009 | 3,86 | 50,56 | 48,76 |
| 09/04/2009 | 3,91 | 51,76 | 50,03 |
| 10/04/2009 | 4,87 | 51,38 | 49,67 |
| 10/04/2009 | 4,95 | 51,53 | 49,78 |
| 11/04/2009 | 4,73 | 51,25 | 49,47 |
| 11/04/2009 | 4,88 | 51,16 | 49,41 |
| 12/04/2009 | 4,90 | 51,14 | 49,4 |

3.3.1 Muestra de cálculos

Con el conjunto de valores recopilados de transmisión se calculó del porcentaje de desviación existente entre los resultados obtenidos bajo cada espesor de referencia, se hizo uso de la siguiente ecuación:

$$\Delta T = T_{5,66} - T_{6,00} \quad (\text{Ec.3.3})$$

Para el primer valor de la tabla 3.13, se tiene que:

$$\Delta T = 43.40 - 41.48 = 1.92\%$$

Los valores restantes de las muestras y los resultados de desviación se reflejan desde la tabla A.7 hasta la A.9 de la sección de anexos, donde se aprecia que todos los valores de ΔT se encontraron en el orden de 1 al 2%

3.4 Explicación del uso de los valores de las coordenadas CIELAB (L^* , a^* y b^*), para el control y seguimiento de la cromaticidad del vidrio

Las variables del sistema CIELAB son una herramienta muy importante para la realización de los cambios o ajustes del color durante una corrida, lo cual se consigue a través de cambios en la fórmula del vidrio. La interpretación directa de los parámetros se pueden observar en la tabla 3.16

Tabla 3.16 Relación de las coordenadas CIELAB con los colorantes utilizados en la formulación^[3]

| Coordenada | Valor (+) | Valor (-) |
|------------|-----------------------|------------------------|
| a^* | ROJO: Óxido de Níquel | VERDE: Óxido de Hierro |
| b^* | AMARILLO: Selenio | AZUL: Oxido de Cobalto |

Tabla 3.17 Relación de la unidad Mac Adam con la especificación de calidad del vidrio ^[3]

| Calidad | Mirror | Select | Arquitectural |
|-----------------|---------------|---------------|----------------------|
| Mac Adam | 0-2,5 | 2,6-3,5 | 3,6-5 |

Como fue especificado en el capítulo 2 los ejes del sistema CIELAB se indican con los nombre L^* , a^* , b^* y representan respectivamente luminosidad, tonalidad de rojo a verde y tonalidad de amarillo a azul, como se mostró en la figura 2.6; por experiencia se sabe que el rojo nunca contiene componentes verdes y el azul no contiene componentes amarillos.

En el caso de encontrarse con valores positivos de a^* se estará en presencia de mayor cantidad de óxido de níquel que de óxido de hierro y un valor negativo de b^* significa mayor cantidad de óxido de cobalto que de selenio. Esto sirve de guía al momento de hacer los cálculos en los movimientos de la cantidad de cada colorante para mantener o cambiar el color del vidrio.

Los valores necesarios para un ajuste de color son:

- Transmisión
- Coordenada a^*
- Coordenada b^*
- Mac Adam

Se deben evaluar los parámetros descritos anteriormente para preciar que se desea hacer:

- Oscurecer ó aclarar el vidrio
- Bajar las Mac Adam
- Ajustar las coordenadas a^* y/o b^*

Estas decisiones se toman de acuerdo a los parámetros de calidad, en el caso el color gris se tiene que el valor de su trasmisión debe oscilar el rango de 43,30% a 45.30%, en función a lo establecido por la planta para un vidrio de calidad “Mirror”^[3]. Así como también se debe considerar para el movimiento de las Mac Adams los rangos mostrados en la tabla 3.17.

Para poder realizar un ajuste o cambio de color en el vidrio se debe considerar^[3]:

- Las coordenadas se deben tener en equilibrio, lo que representa que sus valores deben estar lo más cercano a 0 “cero”.
- No mover más de 2 ppm de un colorante y no más de 4 ppm en total por cambio de fórmula, para evitar la pérdida del color.
- Esperar 3 días entre cada movimiento, ya que éste es el tiempo que tarde en verse el cambio en el color de vidrio.
- El añadir un colorante hace un efecto que es inversamente proporcional a la trasmisión, el quitarlo da el sentido contrario. Una trasmisión de 0% provee de un vidrio oscuro y una de 100% da como resultado un vidrio claro.

Para entender mejor este procedimiento, se explica el caso de la muestra de fecha 24/09/2008 presentada en la tabla 3.1 del vidrio color gris cuyas propiedades ópticas fueron:

- Trasmisión: 45,50%
- Coordenada a*: -0,53
- Coordenada b*: -2,05
- Mac Adam: 3,17

Para este caso se observa que la transmisión (según el rango del valor de la transmisión para el color gris) se encuentra 0,20% fuera de rango, lo que indica que es necesario aclarar el vidrio, lográndose esto disminuyendo la cantidad de colorantes; los valores negativos de las coordenadas a^* y b^* indica presencia de mayor cantidad de óxido de hierro y de óxido de cobalto, haciendo necesario el retiro de ambas materias primas para llevar los valores más aproximados a cero. Y por último una Mac Adam de 3,17 posiciona al vidrio dentro de la calidad “Select” lo cual implica la necesidad de bajar este valor para entrar a una calidad mas óptima como lo es el “Mirror”.

CAPÍTULO IV

DISCUSION DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Finalizada la recolección de los valores necesarios para el desarrollo de esta investigación, así como los procedimientos establecidos por las normas y/o documentos referidos a este estudio, se procedió a la discusión y análisis de resultados en relación a los objetivos previamente propuestos al inicio de este trabajo, los cuales se cumplieron de manera exitosa como se explica a continuación.

4.1 Tendencias de las propiedades opticas del vidrio de color de los años 2008 y 2009

Las gráficas presentadas a continuación fueron hechas con los diferentes valores de cada coordenada de color, siendo el “número de muestras” al que se refiere el eje horizontal a la cantidad de ejemplares estudiadas, siendo para el color gris, bronce y euro bronce de 95,40 y 30 respectivamente; dichas gráficas se realizaron con el fin de poder visualizar el comportamiento de las tendencia de cada color de acuerdo al espesor de referencia utilizado.

4.1.1 Tendencias de la coordenada a*

La coordenada a* representa el intervalo rojo- verde del sistema CIELAB

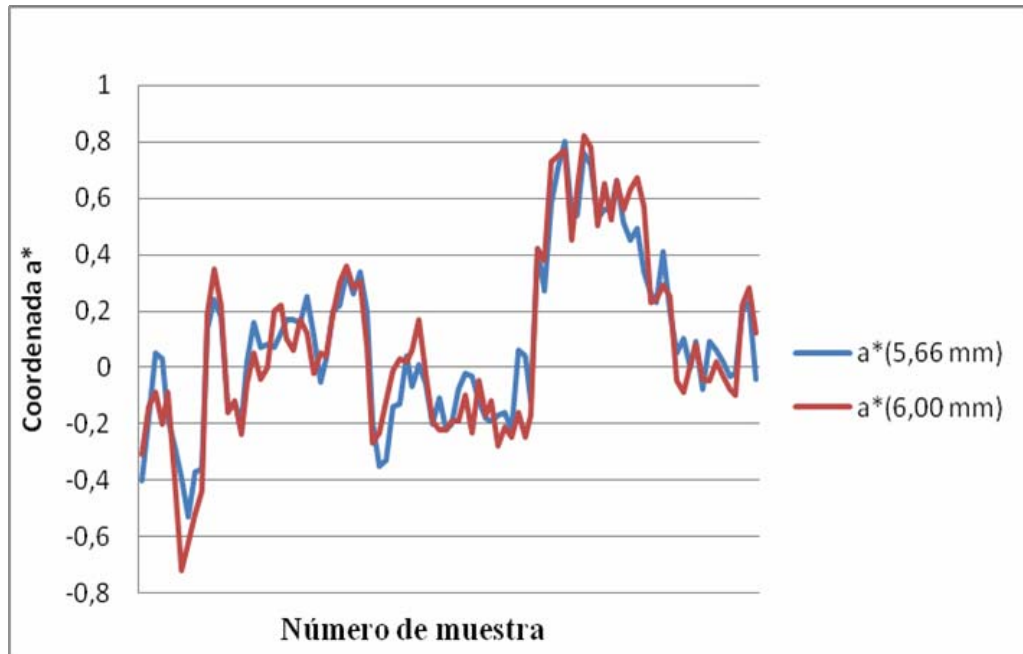


Figura 4.1 Tendencia de la coordenada a^* para vidrio color gris

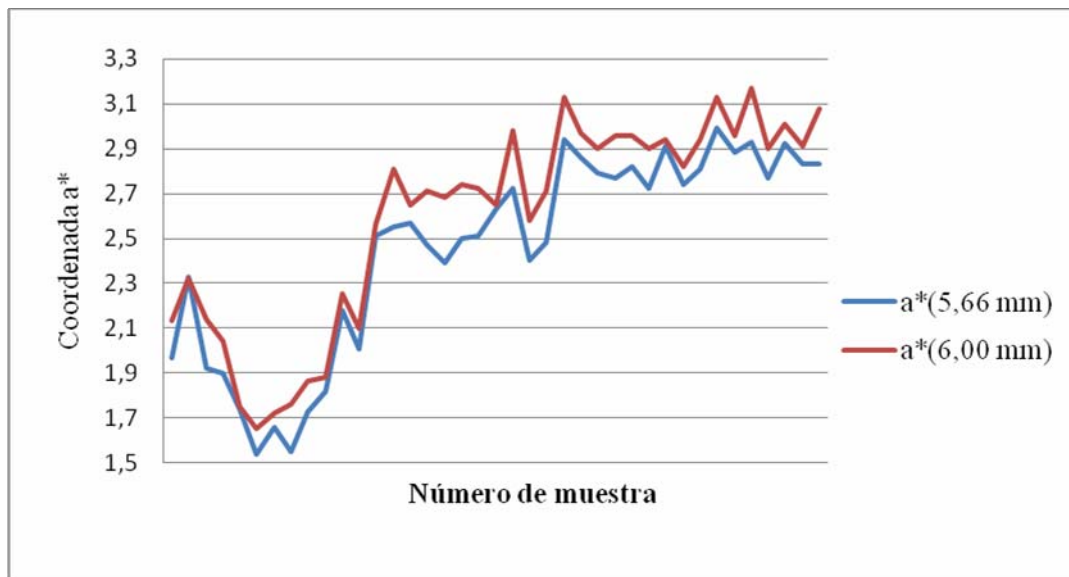


Figura 4.2 Tendencia de la coordenada a^* para vidrio color bronce

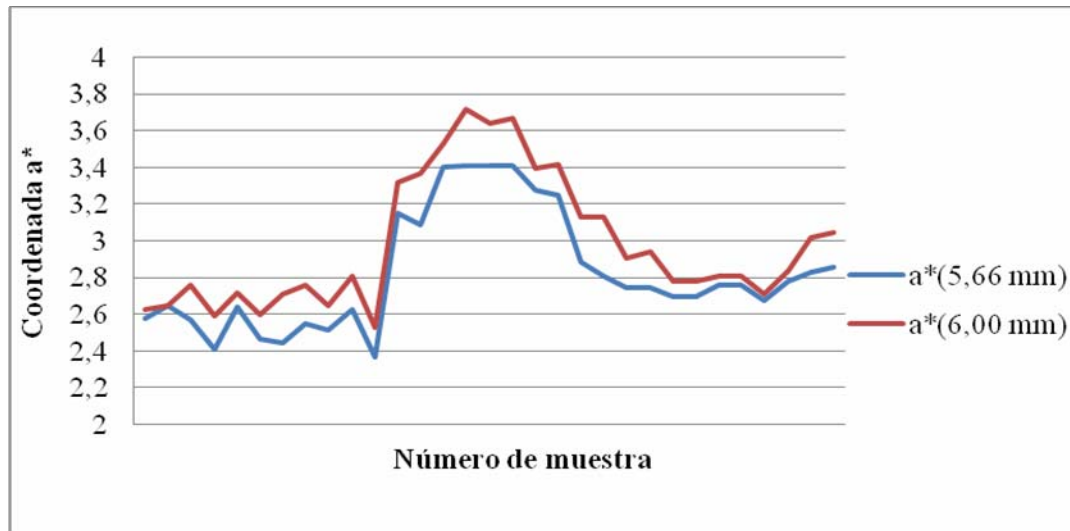


Figura 4.3 Tendencia de la coordenada a* para vidrio color euro bronce

Los valores utilizados para la elaboración de las figuras 4.1, 4.2 y 4.3 fueron tomados desde la tabla A.1 hasta la tabla A.6 de la sección de anexos. Cada gráfica presenta una similitud en la orientación de sus líneas para cada espesor de referencia y el color gris presenta una casi superposición de sus datos que indica que habrá poca variación en esta coordenada de color.

4.1.2 Tendencias de la coordenada b*

La coordenada b* representa el intervalo amarillo-azul del sistema CIELAB

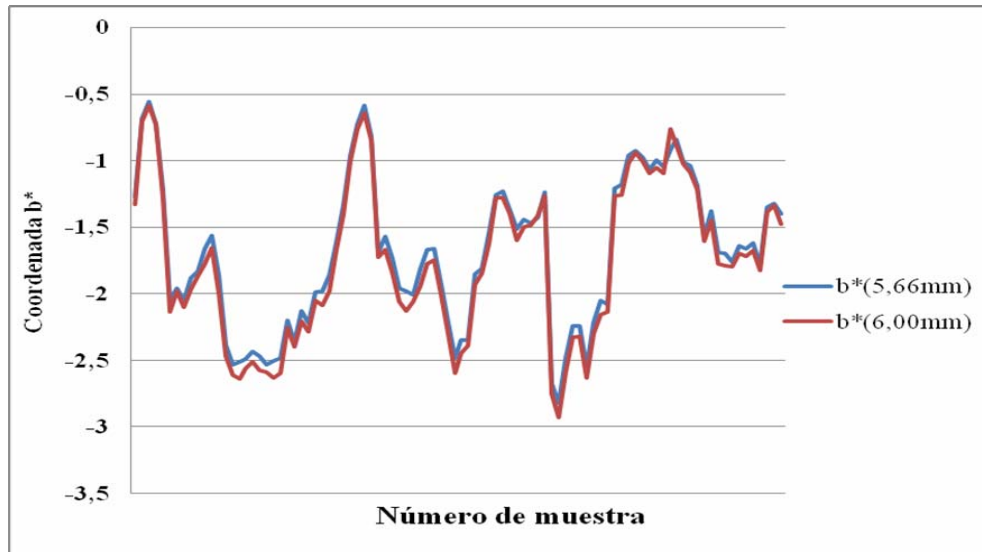


Figura 4.4 Tendencia de la coordenada b^* para el vidrio color gris

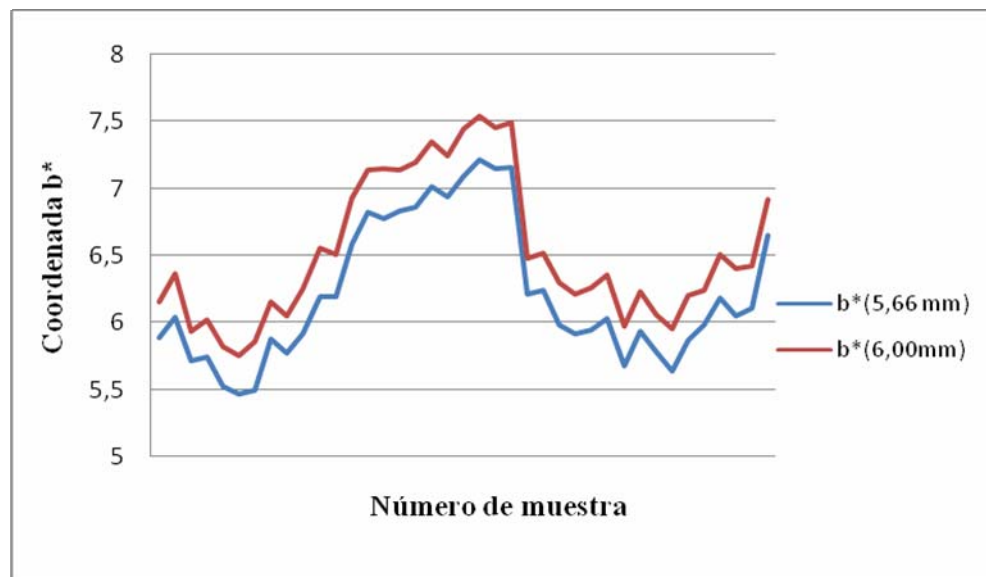


Figura 4.5 Tendencia de la coordenada b^* para el vidrio color bronce

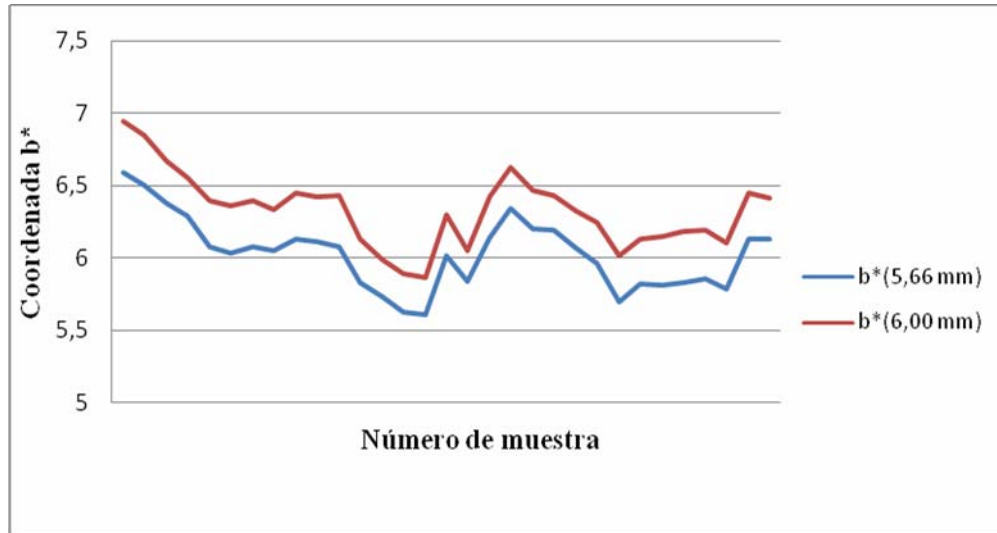


Figura 4.6 Tendencia de la coordenada b^* para el vidrio color euro bronce

Los valores utilizados para la elaboración de las figuras 4.4, 4.5 y 4.6 se tomaron desde la tabla A.1 hasta la tabla A.6 de la sección de anexos. La gráfica para el vidrio gris muestra que las líneas de tendencia se superponen casi en su totalidad a diferencia de las gráficas 4.5 y 4.6 que presentan una orientación similar en sus líneas y desviación entre ellas. Esto permite concluir que los resultados menos afectados por el cambio de espesor de referencia serán los del vidrio de color gris, pudiéndose atribuir esto al hecho que el color gris es completamente puro.

4.1.3 Tendencias de la coordenada L^*

La coordenada L^* representa la luminosidad en el sistema CIELAB

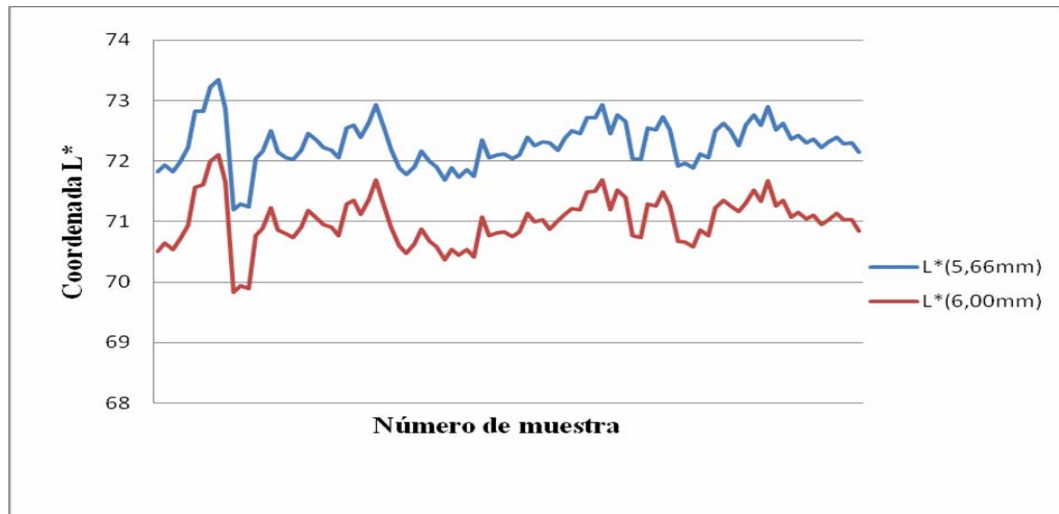


Figura 4.7 Tendencia de la coordenada L* para el vidrio color gris

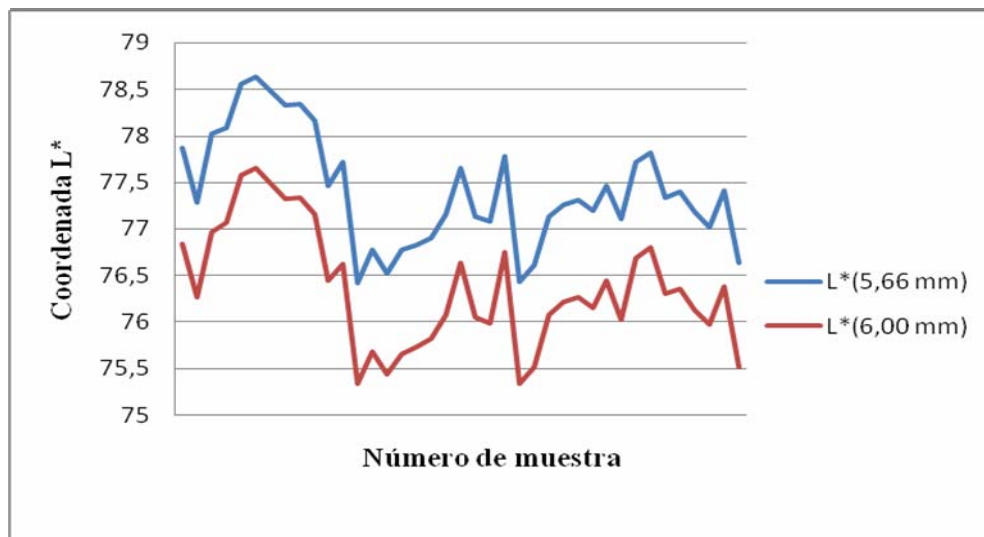


Figura 4.8 Tendencia de la coordenada L* para el vidrio color bronce

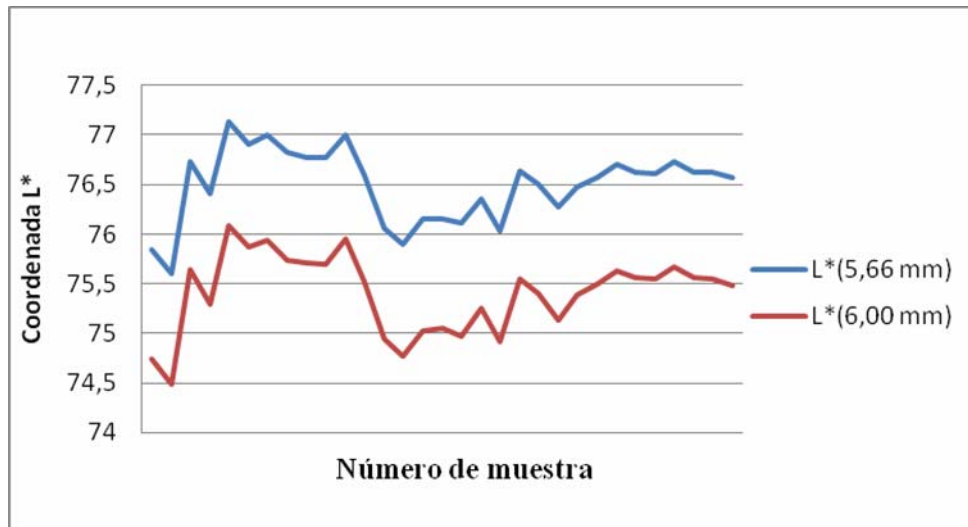


Figura 4.9 Tendencia de la coordenada L* para el vidrio color euro bronce

Los datos utilizados para la elaboración de las figuras 4.7, 4.8 y 4.9 se tomaron desde la tabla A.1 hasta la tabla A.6 de la sección de anexos. A diferencia de las gráficas para las coordenadas a^* y b^* no se nota superposición en las líneas pero si una misma orientación entre ellas; la coordenada L^* que representa la luminosidad se encuentra relacionada con el cambio de espesor de referencia.

4.1.4 Tendencias de la coordenada x

La coordenada x representa el valor colorimétrico correspondiente al rojo del sistema CIE XYZ

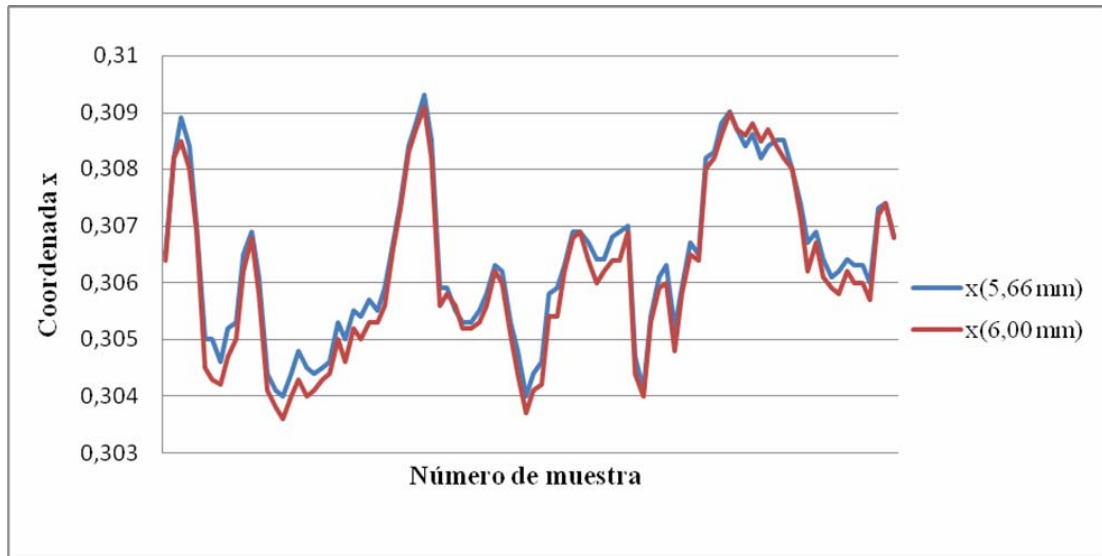


Figura 4.10 Tendencia de la coordenada x para el vidrio color gris

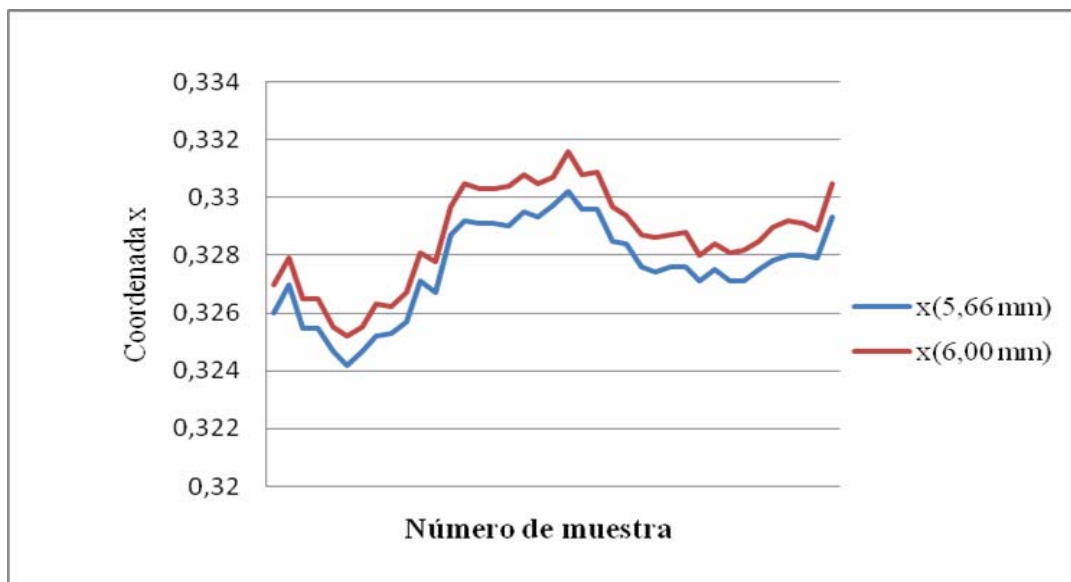


Figura 4.11 Tendencia de la coordenada x para el vidrio color bronce

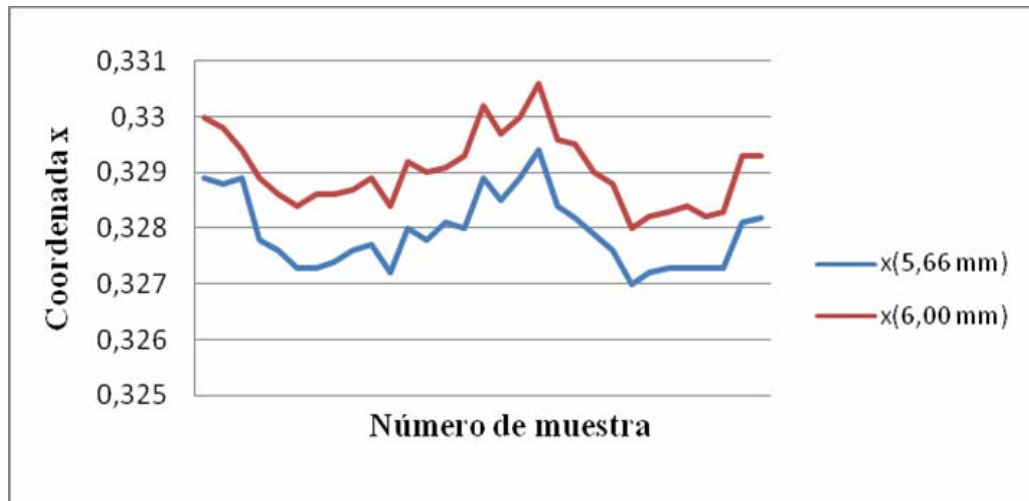


Figura 4.12 Tendencia de la coordenada x para el vidrio color euro bronce

Los valores utilizados para la elaboración de las figuras 4.10, 4.11 y 4.12 se tomaron desde la tabla la tabla A.1 hasta la tabla A.6 de la sección de anexos. En estas graficas se siguió notando gran superposición de las líneas de tendencia en cuanto al color gris se refiere, con desviaciones pero una misma orientación para el vidrio color bronce y euro bronce.

4.1.5 Tendencias de la coordenada “y”

La coordenada “y” representa el valor colorimétrico correspondiente al verde del sistema CIE XYZ

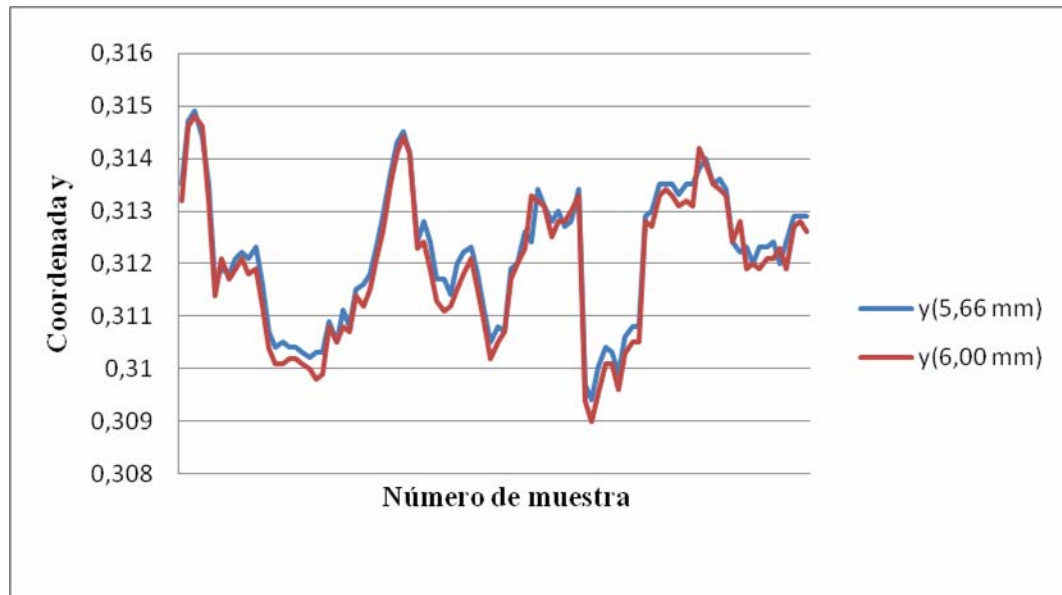


Figura 4.13 Tendencia de la coordenada “y” para el vidrio color gris

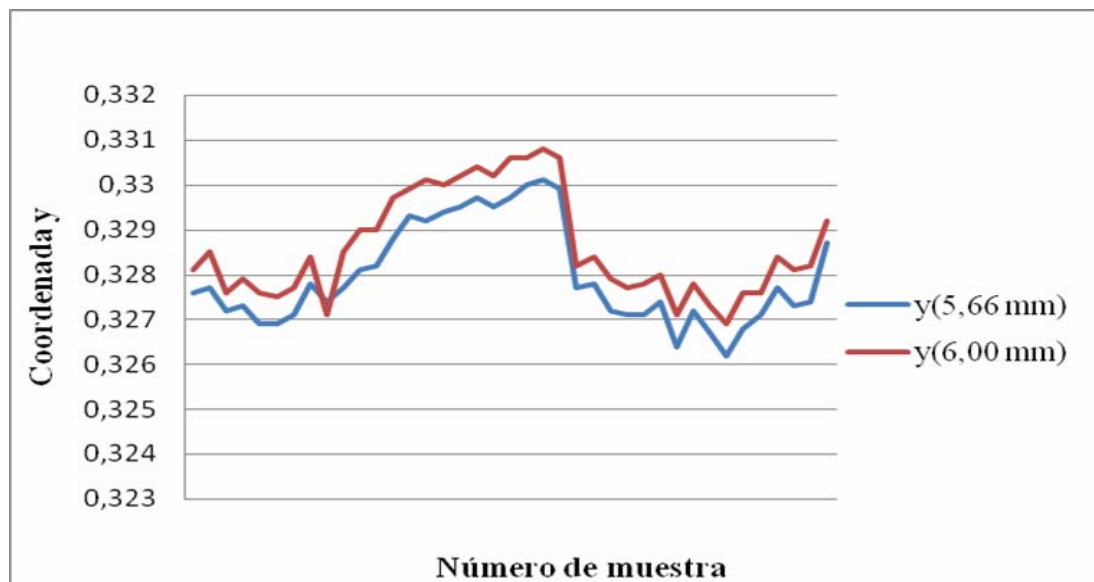


Figura 4.14 Tendencia de la coordenada “y” para el vidrio color bronce

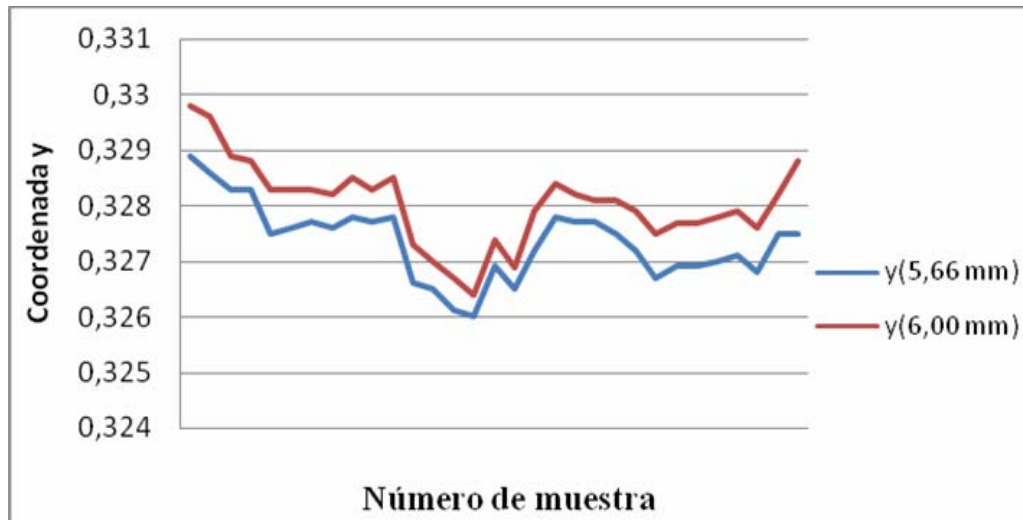


Figura 4.15 Tendencia de la coordenada “y” para el vidrio color euro bronce

Los valores utilizados para la elaboración de las figuras 4.13, 4.14 y 4.15 se tomaron desde la tabla A.1 hasta la tabla A.6 de la sección de anexos. Las graficas reflejan desviaciones mínimas para los vidrios de color bronce y euro bronce a diferencia del vidrio de color gris que proporciona resultados con uniformidad y poca desviación en las tendencias de sus líneas.

4.1.6 Tendencias de la coordenada A-Az

La coordenada A-Az representa la posición del color en la línea del Amarillo-Azul, cifra que debe estar equilibrada, es decir, lo más cercana a cero “0” para evitar desvíos en el color, por ende es utilizada principalmente en el ajuste de la tonalidad durante una corrida. Los valores para la elaboración de las figuras 4.16, 4.17 y 4.18 se tomaron desde la tabla A.1 hasta la tabla A.6 de la sección de anexos.

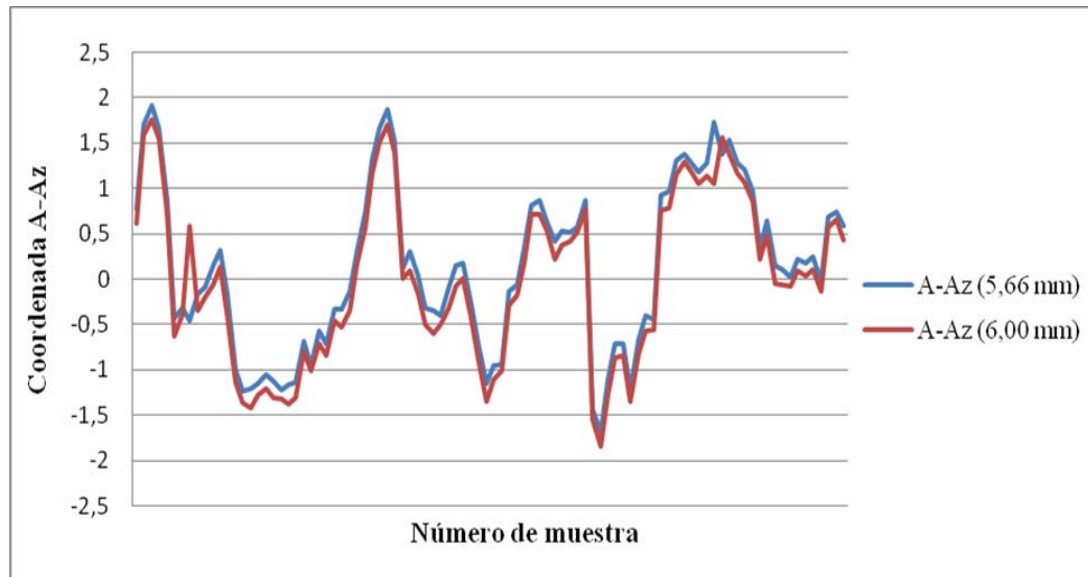


Figura 4.16 Tendencia de la coordenada A-Az para el vidrio color gris

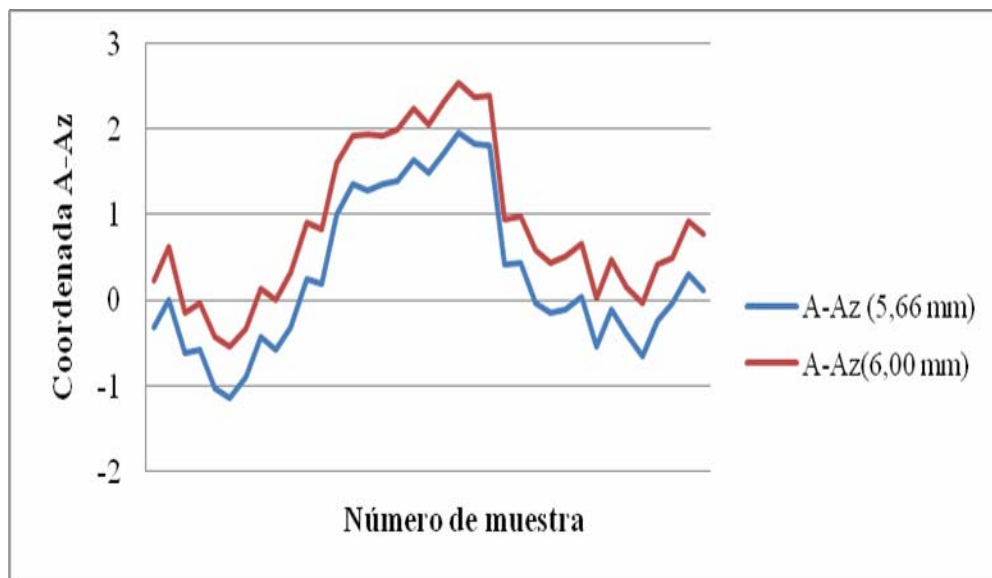


Figura 4.17 Tendencia de la coordenada A-Az para el vidrio color bronce

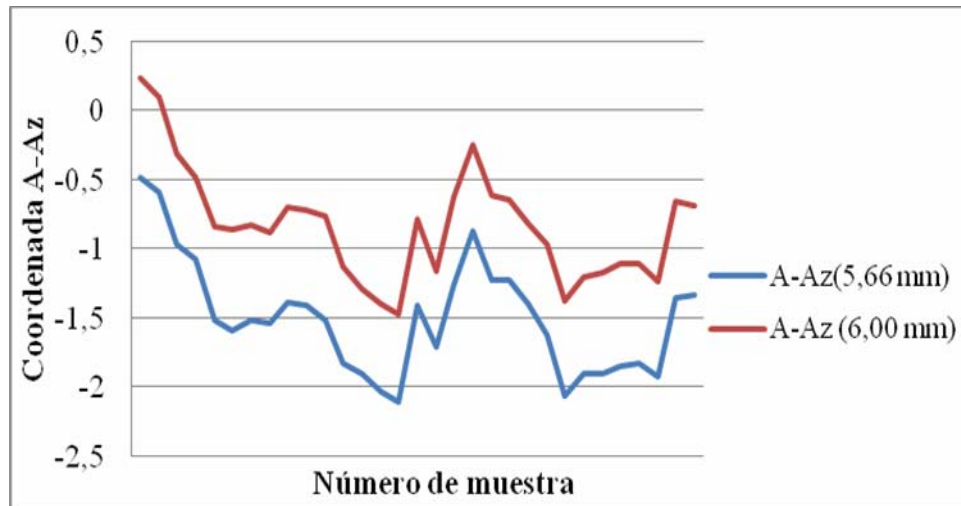


Figura 4.18 Tendencia de la coordenada A-Az para el vidrio color euro bronce

4.1.7 Tendencias de la coordenada R-V

La coordenada R-V representa la posición del color en la línea del Rojo-Verde, cifra que debe estar equilibrada, es decir, lo más cercana a cero “0” para evitar desvíos en el color, por ende es utilizada principalmente en el ajuste de la tonalidad durante una corrida. Los valores para la elaboración de las figuras 4.19, 4.20 y 4.21 se tomaron desde la tabla A.1 hasta la tabla A.6 de la sección de anexos.

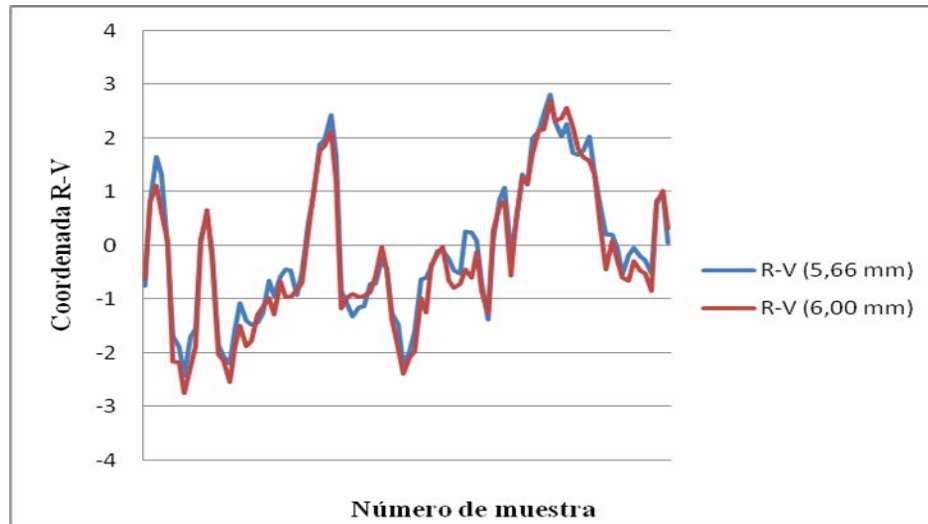


Figura 4.19 Tendencia de la coordenada R-V para el vidrio color gris

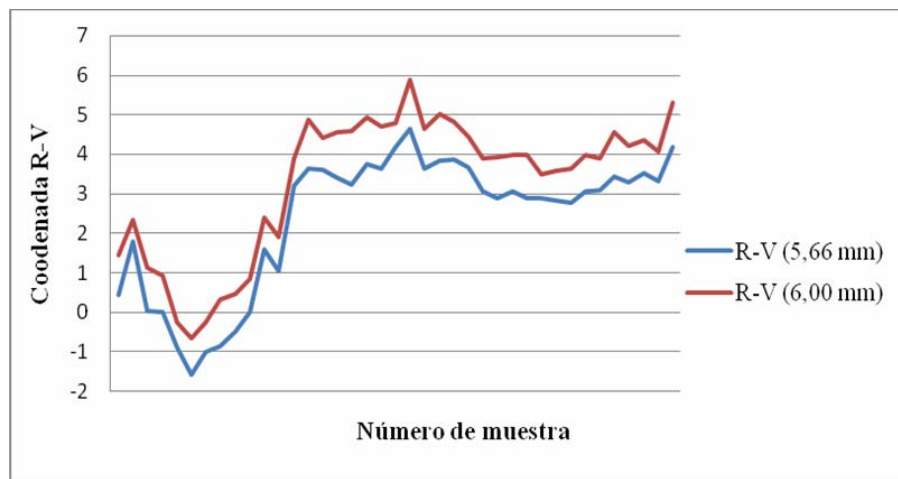


Figura 4.20 Tendencia de la coordenada R-V para el vidrio color bronce

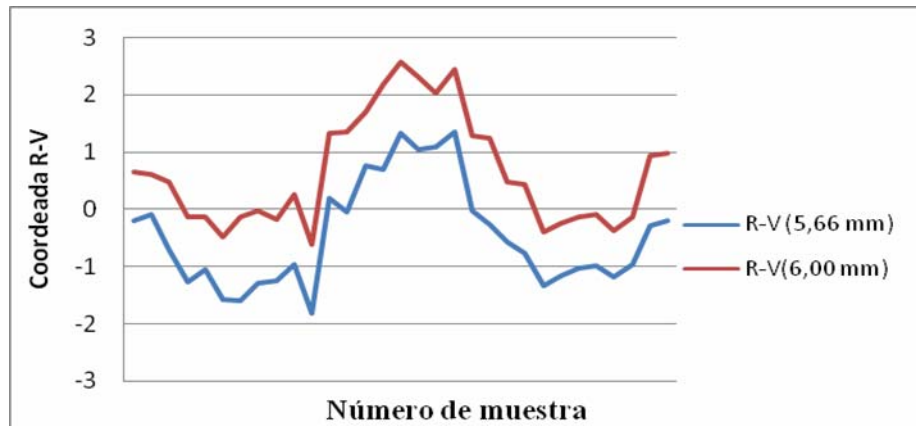


Figura 4.21 Tendencia de la coordenada R-V para el vidrio color euro bronce

En la figura 4.17 y figura 4.19 se puede notar que las coordenadas de A-Az y R-V para el color gris no será influenciado por el cambio de espesor, esto se refleja al estar superpuestas las líneas casi en su totalidad, el color bronce y euro bronce siguen manteniendo una notoria desviación entre sus líneas.

4.1.8 Tendencias de la unidad Mac Adam

Las siguientes gráficas son para visualizar la orientación de las líneas del valor de referencial Mac Adam bajo los dos espesores de referencia estudiados

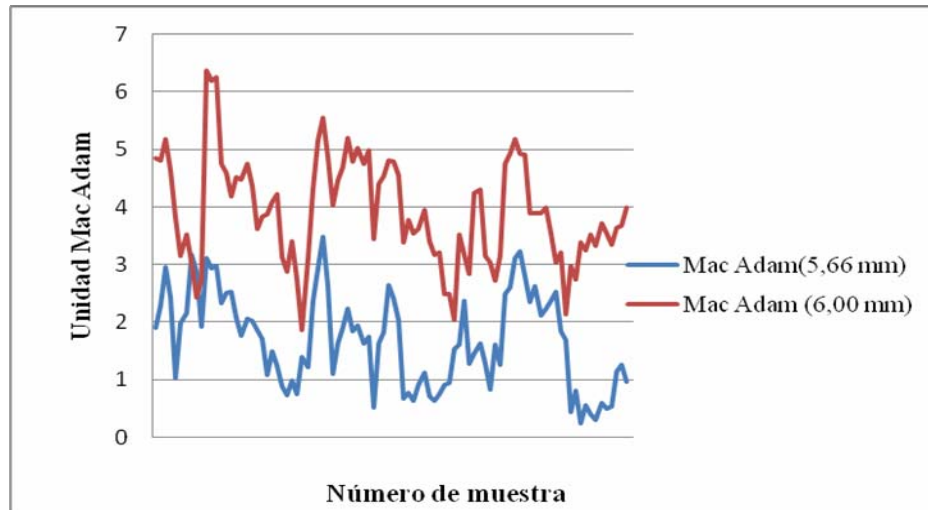


Figura 4.22 Tendencia de la unidad Mac Adam para el vidrio color gris

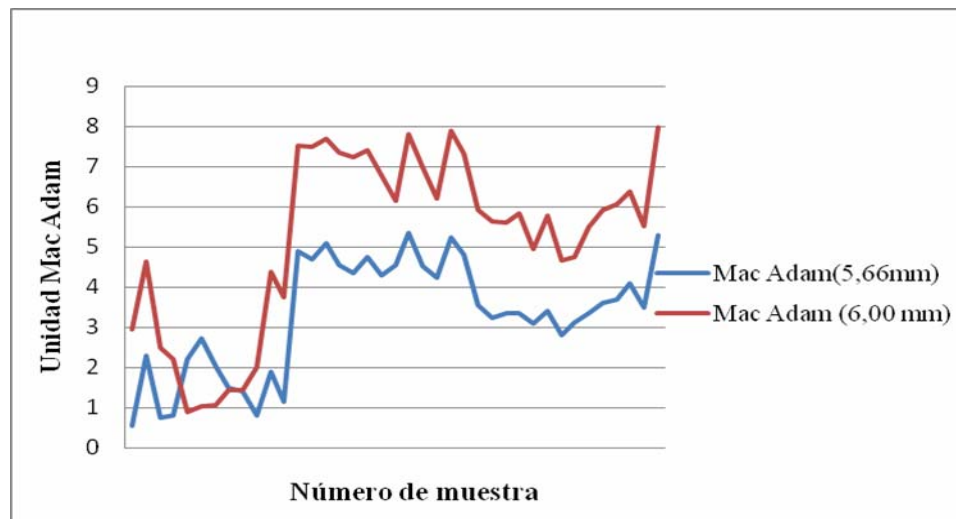
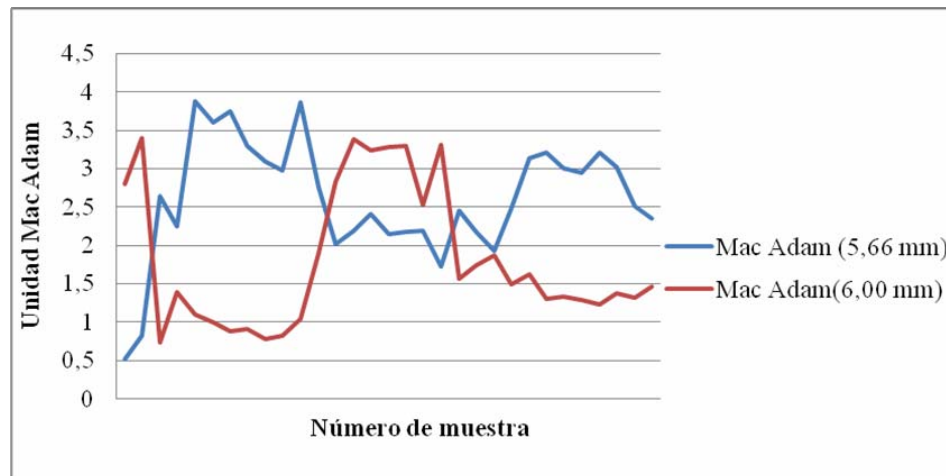


Figura 4.23 Tendencia de la unidad Mac Adam para el vidrio color bronce



**Figura 4.24 Tendencia de la unidad Mac Adam para el vidrio color euro
bronce**

Las graficas anteriores prueban que existe diferencias entre el valor adquirido por cada muestra a lo largo de cada medida hecha variando el espesor de referencia, es decir, las líneas no se superponen pero la del color gris y color bronce si mantiene una misma orientación. Entonces éste valor referencial se encuentra influenciado con el cambio de espesor de referencia, es por para lo que a Guardián de Venezuela bajo el sistema de referencia de 5,66mm indica Mac Adam de calidad para otros empresas de Guardián que laboran bajo el espesor de referencia de 6,00mm el vidrio estaría fuera de especificación; se puede observar un porcentaje de desviación de 2-2,5%.

4.1.9 Tendencias de la unidad Mac Adam y la coordenada a*

Las siguientes gráficas se realizaron para notar la variación de la unidad Mac Adam con respecto a la coordenada a* del sistema CIELAB

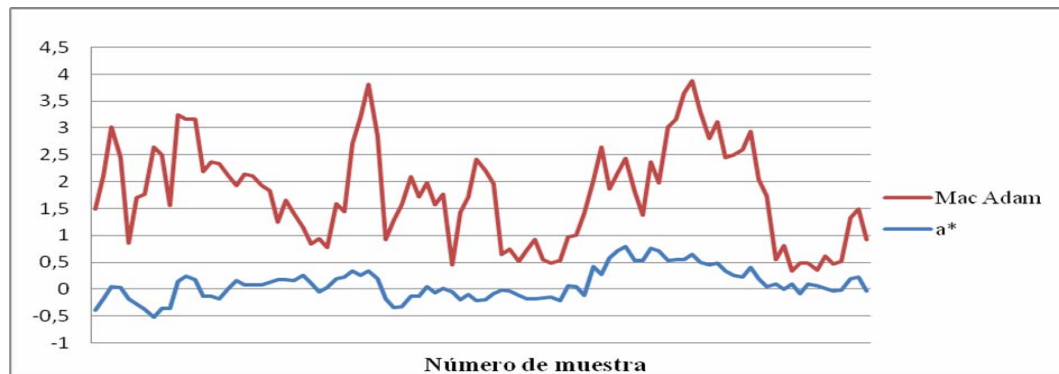


Figura 4.25 Tendencia de los valores de la unidad Mac Adam y la coordenada a^* para vidrio color gris

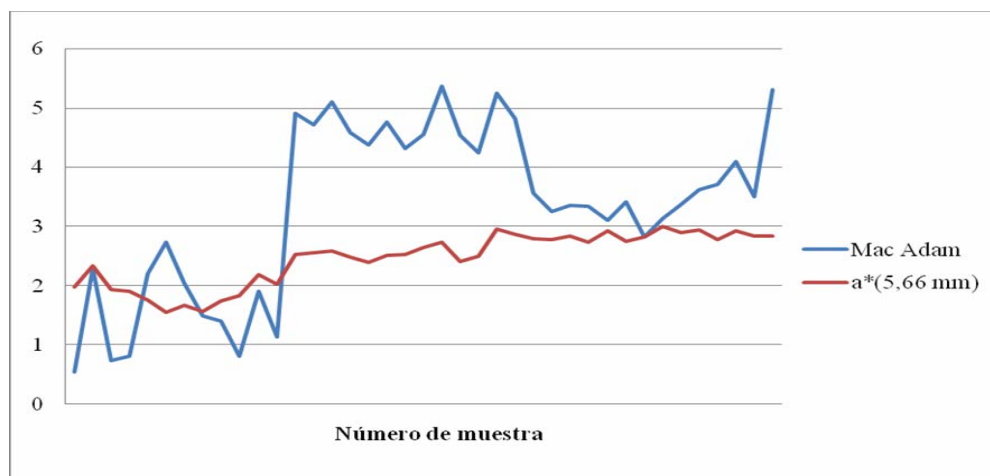


Figura 4.26 Tendencia de los valores de la unidad Mac Adam y la coordenada a^* para vidrio color bronce

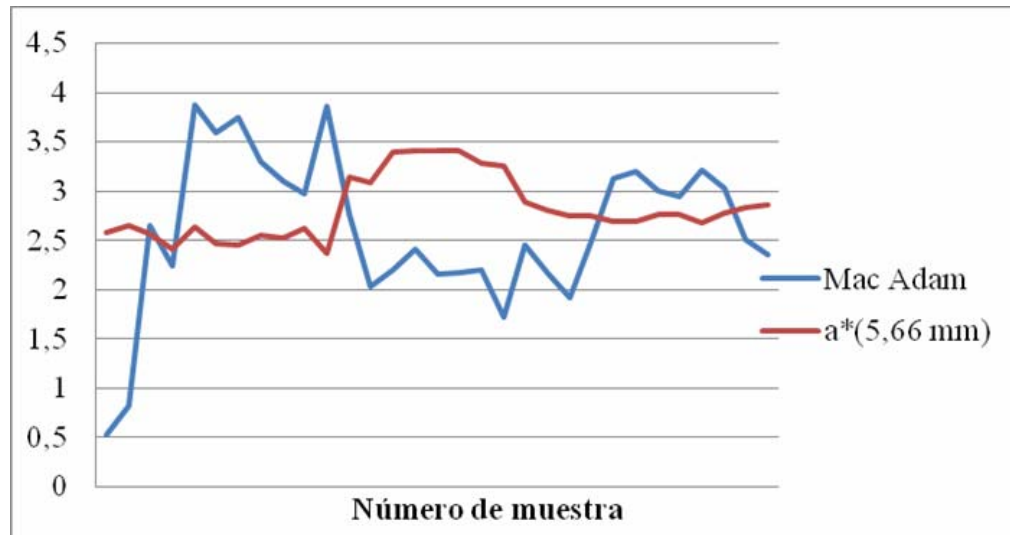


Figura 4.27 Tendencia de los valores de la unidad Mac Adam y la coordenada a^* para vidrio color euro bronce

4.1.10 Tendencias de la unidad Mac Adam y la coordenada b^*

Las siguientes gráficas se realizaron para notar la variación de la unidad Mac Adam con respecto a la coordenada b^* del sistema CIELAB

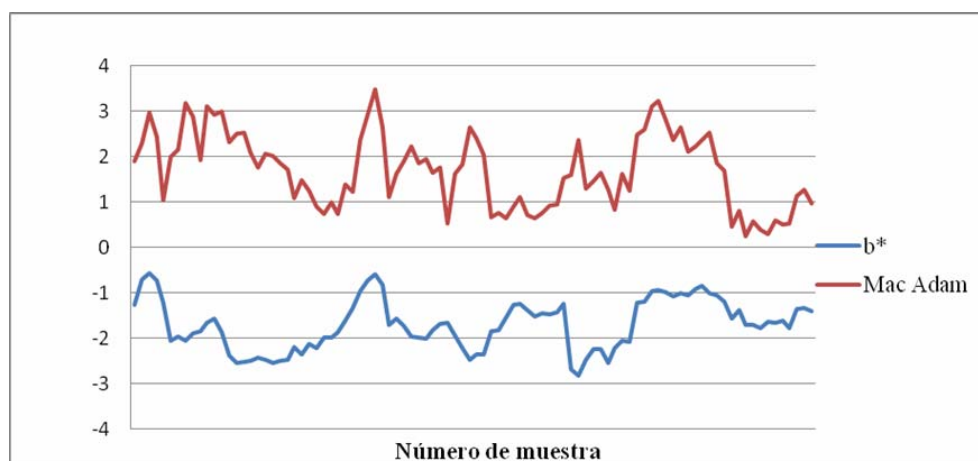


Figura 4.28 Tendencia de los valores de la unidad Mac Adam y la coordenada b^* para vidrio color gris

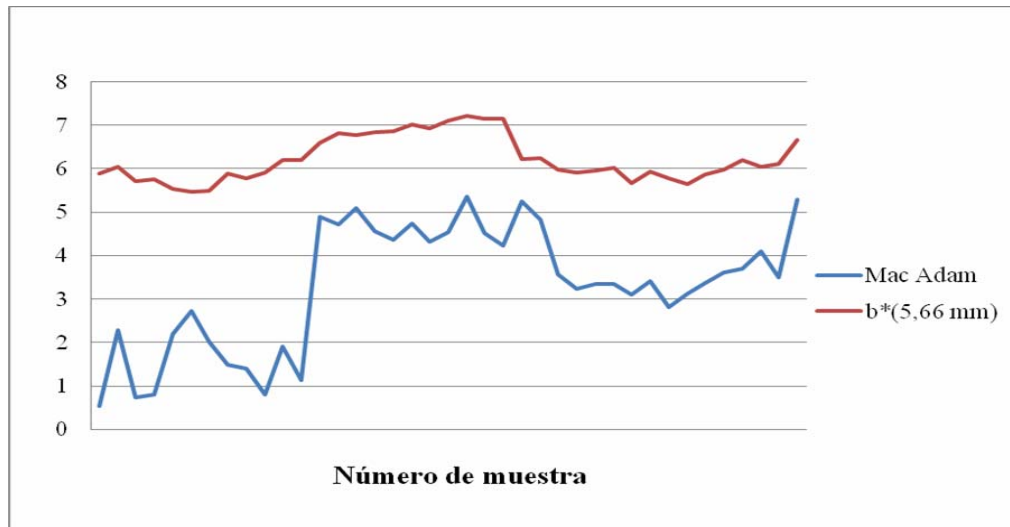


Figura 4.29 Tendencia de los valores de la unidad Mac Adam y la coordenada **b*** para vidrio color bronce

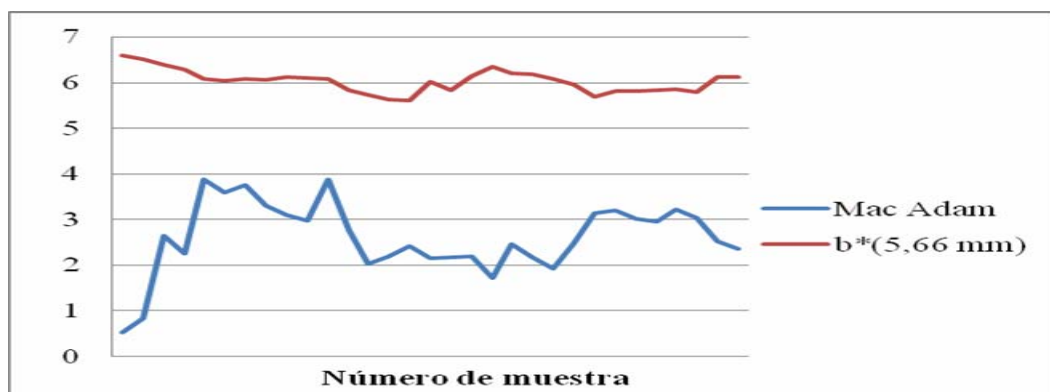


Figura 4.30 Tendencia de los valores de la unidad Mac Adam y la coordenada **b*** para vidrio color euro bronce

En las todas las figuras desde la 4.25 hasta la 4.30 se aprecia que los valores de las Mac Adam y las coordenadas a^* y b^* tiene similitud en las oscilaciones de sus tendencias, concluyendo que se podrá esperar variaciones inmediatas en un sistema al ocasionarse movimientos en el otro; los datos utilizados para la elaboración de dichas figuras corresponden al rango de tablas desde la A.1 hasta la

A.6 de la sección de anexos, para un espesor de referencia de 5,66 mm; no se realizó para el espesor de referencia de 6 mm por que como se muestra en las figuras relacionadas con las coordenadas a^* y b^* las líneas tiene una misma orientación y arrojaría graficas muy similares.

4.1.11 Tendencias de las coordenadas correspondientes a la cromaticidad

Las figuras presentadas a continuación fueron realizadas con las coordenadas de cromaticidad, siendo las R-V y a^* las correspondientes a la sensación rojo-verde y las A-Az y b^* las correspondientes a la sensación amarillo-azul para los sistema XYZ CIE y CIELAB respectivamente.



Figura 4.31 Tendencia de las coordenadas correspondientes a la cromaticidad Rojo- Verde para el vidrio color gris

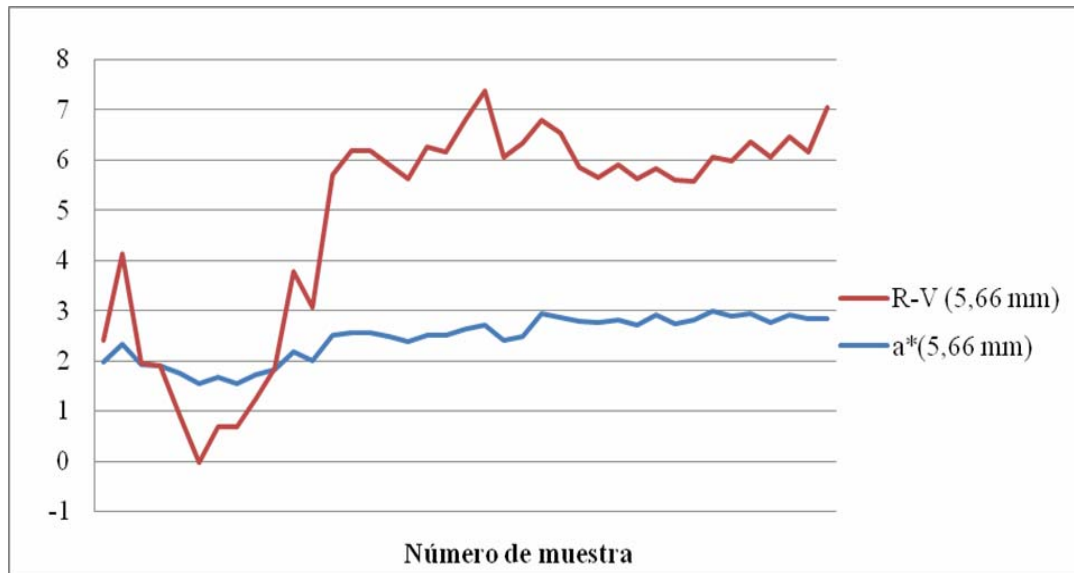


Figura 4.32 Tendencia de las coordenadas correspondientes a la cromaticidad Rojo- Verde para el vidrio color bronce

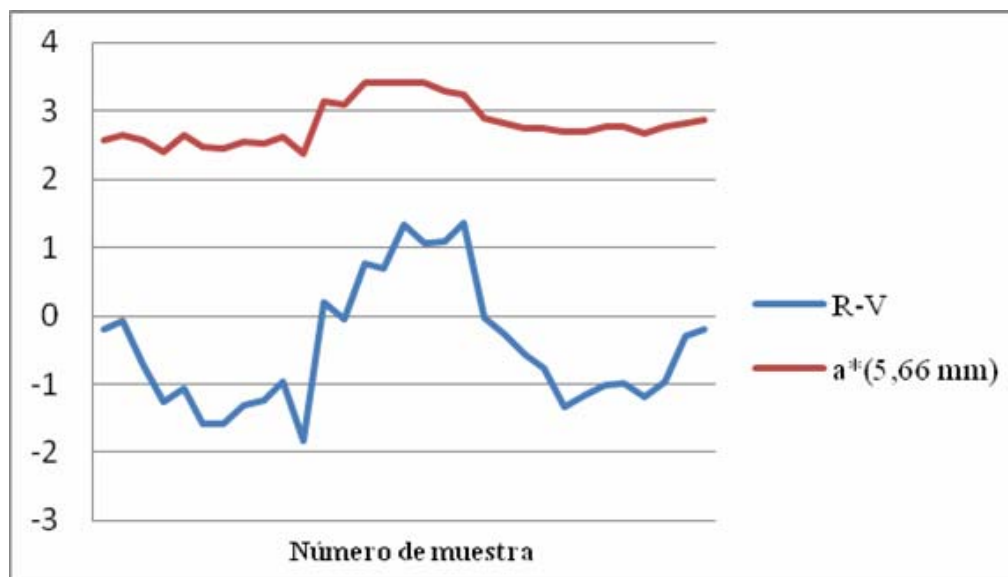
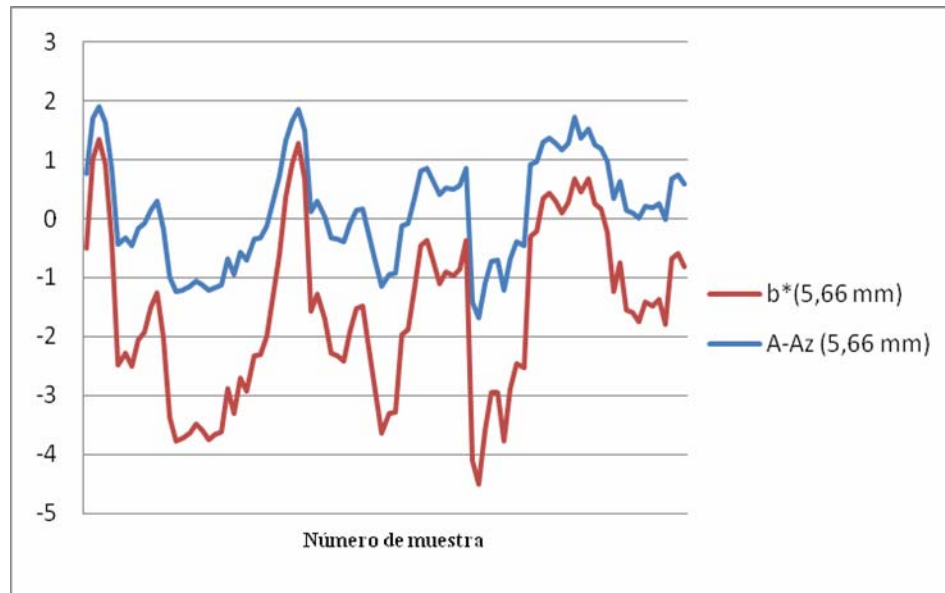
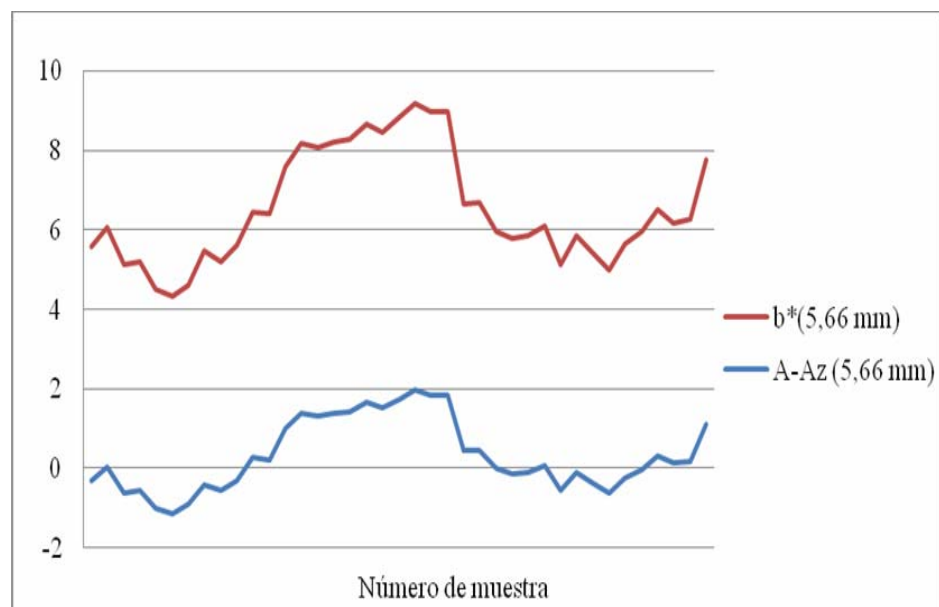


Figura 4.33 Tendencia de las coordenadas correspondientes a la cromaticidad Rojo- Verde para el vidrio color euro bronce



**Figura 4.34 Tendencia de las coordenadas correspondientes a la cromaticidad
Amarillo-Azul para el vidrio color gris**



**Figura 4.35 Tendencia de las coordenadas correspondientes a la cromaticidad
Amarillo-Azul para el vidrio color bronce**

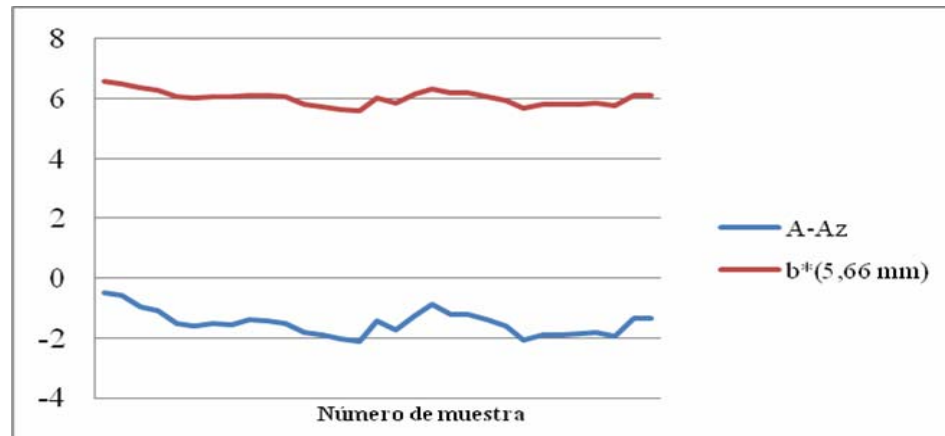


Figura 4.36 Tendencia de las coordenadas correspondientes a la cromaticidad Amarillo -Azul para el vidrio color euro bronce

Los datos utilizados para la elaboración de las figuras desde la 4.31 a la 4.36 corresponden al rango de tablas de la A.1 a la A.6 de la sección de anexos. Siendo las coordenadas R-V y a^* las correspondientes a la medida de la sensación rojo-verde y las coordenadas A-Az y b^* las correspondientes a la medida de sensación amarillo-azul para los sistemas XYZ CIE y CIELAB respectivamente, se puede apreciar en las gráficas una tendencia firme en la oscilación de las líneas, indicando que se corresponden los cambios en la cromaticidad de una muestra en ambos sistemas. En cuanto a la coordenada a^* , se percibe cambios mínimos en los valores para cada muestra.

4.2 Rango de referencia de las coordenadas cielab en función de las consignas de los valores mac adam

Las tablas 4.1 y 4.2 recogen los valores medios y desviación estándar de los diferentes parámetros del sistema CIELAB para las muestras clasificadas por color, que permitirán oscilar dentro de rangos aceptables de calidad.

Tabla 4.1 Rango de referencia de las coordenadas CIELAB en función de la consigna de 0-2,5 de Mac Adam

| Coordenada CIELAB | Vidrio Gris | Vidrio Bronce | Vidrio Euro bronce |
|--------------------------|--------------------|----------------------|---------------------------|
| a* | [0,07±0,81] | [1,89±0,72] | [2,99±0,99] |
| b* | [-1,78±1,53] | [5,86±0,70] | [6,09±0,84] |
| L* | [72,32±0,90] | [78,03±1,23] | [76,23±0,90] |

Tabla 4.2 Rango de referencia de las coordenadas CIELAB en función de la consigna de 2,6-3,5 de Mac Adam

| Coordenada CIELAB | Vidrio Gris | Vidrio Bronce | Vidrio Euro bronce |
|--------------------------|--------------------|----------------------|---------------------------|
| a* | [0,2±1,06] | [2,7±0,75] | [2,71±0,51] |
| b* | [-1,28±0,45] | [5,87±0,57] | [5,94±0,61] |
| L* | [72,03±1,89] | [77,52±1,35] | [76,69±0,25] |

Como puede observarse el vidrio de color bronce presentó los valores de luminosidad más altos, seguido por el euro y el de mayor oscuridad es el vidrio color gris, pero en general presentaron iluminaciones altas.

En cuanto a la variable a*, presentó para ambos rangos de Mac Adam, valores positivos que supera el eje de los tonos verdes, desplazándose hacia los tonos rojos, esto ocurrió ligeramente para el vidrio de color gris y de forma más marcada para el vidrio bronce y euro.

Para el caso de la variable b* la media para el color gris resultó ser negativa ubicándolo en la zona de los azules y la ubicación para el vidrio bronce y euro fue para la zona de amarillos.

No se presenta resultados para un rango de 3,5 a 6 de consigna por no contar con los datos necesarios ya que es un rango que implica estar fuera de la situación ideal de calidad.

4.3 Influencia de la variación del espesor utilizado como referencia en los resultados de transmisión en el vidrio de color

Las gráficas a continuación muestran los porcentajes de transmisión obtenidos de las lecturas realizadas a las muestras de vidrio, para determinar las diferentes tendencias entre los valores de ésta propiedad óptica al ser evaluada primero bajo el espesor de referencia de 5,66 mm y luego con 6,00 mm.

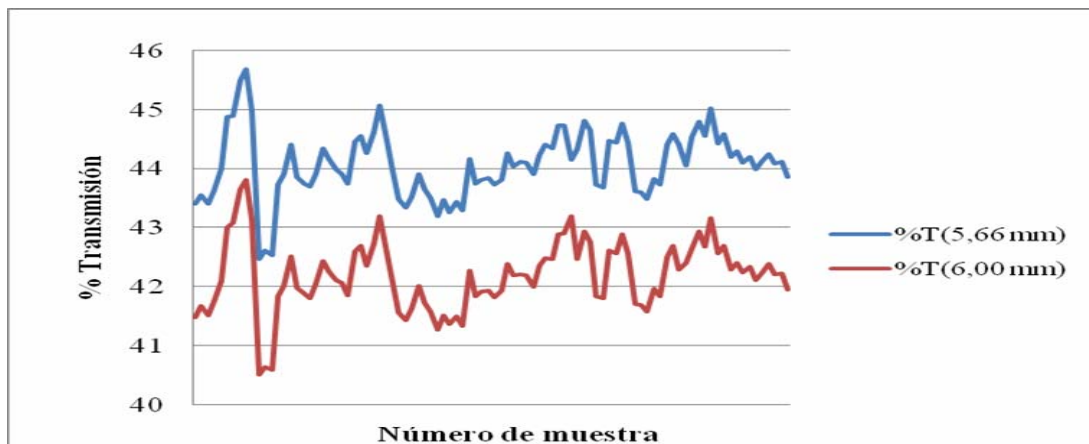


Figura 4.37 Tendencia del porcentaje de transmisión para el vidrio color gris

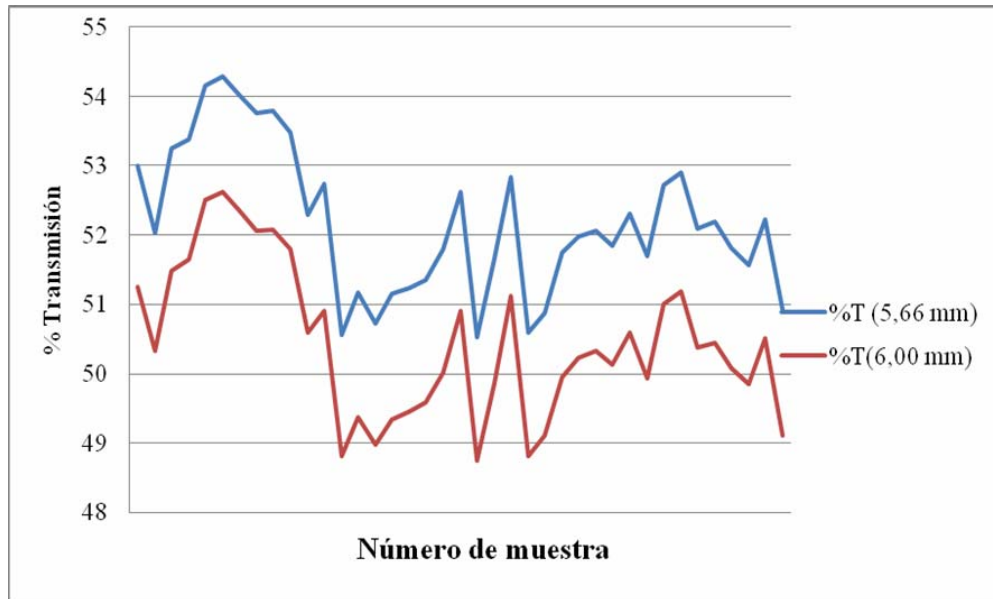


Figura 4.38 Tendencia del porcentaje de transmisión para el vidrio color **bronce**

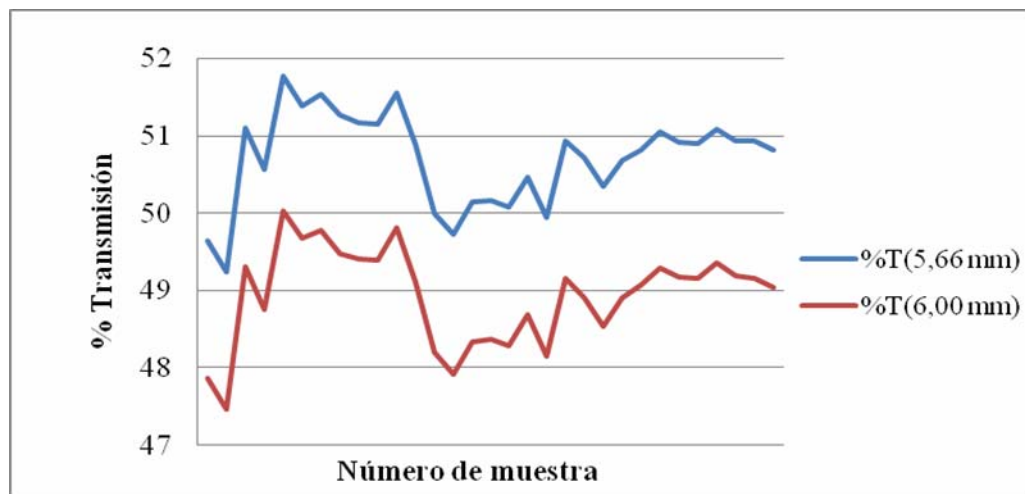


Figura 4.39 Tendencia del porcentaje de transmisión para el vidrio color **euro**

En general las graficas de las tendencias de la transmisión para cada espesor de referencia muestran que las líneas se corresponden entre ellas, llegándose a cumplir la ley de Lambert- Beer que establece la relación entre la intensidad de luz absorbida por una muestra y el espesor de la misma, de acuerdo a la ecuación 2.1. El espesor de 5,66 mm permitió tener menos longitud del camino óptico implicando menos absorbancia, de ésta manera se obtuvieron mayores valores de transmisión para el espesor previamente nombrado que para el espesor de referencia de 6,00 mm. La desviación existente para los tres tipos de colores entre sus valores de transmisión para cada espesor de referencia estuvo en un rango de 1-2%, lo cual se dedujo de los resultados del cálculo de ΔT presentados desde la tabla A.7 hasta la A.9 de la sección de anexos.

4.4 Uso de los valores de las coordenadas CIELAB (L^* , a^* y b^*), para el control y seguimiento de la cromaticidad del vidrio

Para tener un efectivo ajuste de color en el vidrio se determinó que debe tener dominio del sistema de coordenadas que se esté implementando para el control de la cromaticidad, ya que en base a los datos de entrada se programa el mencionado ajuste. En el caso de la utilización del sistema CIELAB fue necesario evaluar tanto los parámetros que están relacionados directamente con los colorantes utilizados en la formulación del vidrio, mostrados en la tabla 3.16, como los valores de la transmisión y la unidad Mac Adam; solo después de esto se podrá precisar que desea hacer en el ajuste.

De acuerdo a las consideraciones nombradas en la sección 3.4 del capítulo anterior, se sugiere el monitoreo constante de las coordenadas de la cromaticidad para así evitar la pérdida del color, logrando esto al mantener las coordenadas en el equilibrio y al respetar el máximo permitido de movimiento de colorante por cambio de fórmula. Siempre se debe esperar el tiempo adecuado entre ajustes para poder

observar el cambio de la tonalidad del vidrio y poder decidir con más seguridad si es necesario otro movimiento. Si lo que se desea es modificar la transmisión, se debe considerar que el añadir un colorante se crea un efecto inversamente proporcional a la transmisión, el quitarlo da el sentido contrario, por ende si lo que se persigue es un aumento en la transmisión para poder entrar en especificación se debe retirar colorante.

El valor de la Mac Adam reflejó la calidad de vidrio en producción, para su movimiento se debió tomar en cuenta lo manifestando en la tabla 3.17 como guía para saber que tan lejos se está de la especificación deseada.

El ajuste de color implica un conjunto de cálculos matemáticos para poder llevar los parámetros a las condiciones deseadas, pero por políticas de privacidad de la planta no se pueden mostrar en la presente tesis.

En vista de los resultados obtenidos y después de la presentación de éstos a la empresa Guardián de Venezuela, fue aceptada la propuesta basada en la aplicación del sistema de coordenadas CIELAB en el control de la cromaticidad del vidrio flotado, dicha decisión fue tomada por el hecho de ser la mejor manera de romper con las dificultades de comunicación entre Guardián de Venezuela y las demás sucursales.

4.5 Conclusiones

1. La propuesta de aplicación del sistema de coordenadas CIELAB para el control de la cromaticidad del vidrio flotado fue aceptada de manera satisfactoria por la empresa, siendo este el mejor camino para evitar dificultades al momento de explorar o comprar en mercados nuevos.
2. El vidrio menos afectado por el cambio del espesor de referencia es el vidrio de color gris, en cuanto a las coordenadas x , y , a^* , b^* , pudiéndose acarrear esto al hecho del que el color gris es una de los más puros realizados en la planta .
3. La variación de las coordenadas x y y del sistema CIE XYZ son mínimas con respecto a las coordenadas del sistema CIELAB, mostrando que este último es más sensible a pequeños cambios en el color.
4. A pesar de pertenecer a sistemas diferentes, (a^* y b^* sistema CIELAB, R-V y A-Az sistema CIEXYZ) las coordenadas correspondientes a la cromaticidad mostraron una tendencia firme en la oscilación de sus líneas, indicando que se corresponden los cambios en la cromaticidad de una muestra en ambos sistemas.
5. El vidrio de color bronce presentó los valores de luminosidad más altos, seguido por el euro y el de mayor oscuridad es el vidrio color gris, pero en general presentaron iluminaciones altas siendo siempre mayores a 50%.
6. Se cumplió la ley Lambert- Beer, a menor espesor de la muestra menos luz absorbida por la misma y mayor la transmisión, encontrándose el porcentaje de desviación en un rango de 1 a 2%.

4.6 Recomendaciones

- 1.** Se recomienda hacer uso de ambos sistemas de colorimetría de forma paralela hasta que el personal este completamente familiarizado con el nuevo sistema.
- 2.** Realizar la debida y cuidadosa limpieza de la muestra de vidrio antes de ser introducida al espectrofotómetro porque cualquier sustancia presente en el mismo puede interferir en la firmeza de los resultados arrojados.
- 3.** Verificar y estar seguro de que los datos de la muestra de vidrio, como el espesor, sean los correctos, para evitar colocar en el programa valores erróneos que facilite a una mala lectura.
- 4.** El porta muestra del espectrofotómetro debe estar justo en el centro para que le haz de luz emitido por el mismo tenga la longitud del camino óptico más efectivo.
- 5.** Los datos del sistema a emigrar, CIELAB, recogidos durante el funcionamiento en paralelo de ambos sistemas se pueden usar como históricos para futuros cambios de color.
- 6.** Para realizar un cambio o ajuste de color durante una corrida se debe primordialmente evaluar los parámetros que indican las propiedades ópticas del vidrio y así poder precisar lo que se debe hacer.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ayestaran V., **“Determinación de cobalto, cromo, níquel y selenio en vidrio flotado, mediante espectroscopia de absorción atómica de llama (FAAS)”**, Trabajo de Grado, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. (2006).
2. Pérez, Melgosa, Asselman y Boucetta, **“Caracterización colorimétrica y clasificación del aceite de oliva virgen de la cuenca mediterránea hispano-marroquí”**. Departamento de Óptica, Facultad de Ciencias, Campus Fuente nueva, Universidad de Granada, Granada (España).
3. Guardián de Venezuela, S.A, Vidrio Flotado, producción interna, s/n, s/f.
4. **“El Vidrio”**. 2 de Abril de 2009. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos11/vidrio/vidrio.shtml>.
5. Tooley F. **“Handbook of glass manufacturing”**. Third edition. Vol I y II. Books for the Glass Industry Division Asheel Publishing Co., Inc. New York, (1984).
6. **“Glass Resource”**. 4 de Abril de 2009. Disponible en: <http://www.glassresource.com/sneakpeek/sample15.htm>.
7. **“El Vidrio”**. 4 de Julio de 2009. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos14/el-vidrio/Image570.gif>.
8. Skoog D. **“Química Analítica”**. Cuarta edición. Editorial McGraw-Hill, España. (1989).
9. Wikipedia.**“Espectofotometro”**.5 de Abril de 2009. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Espectrofot%C3%B3metro>.
10. Gusgsm. **“Colorimetría”**. 1 de Abril de 2009. (2008). Disponible en: http://www.gusgsm.com/categoria_teor%C3%ADa_del_color.
11. Wikipedia.**“Colorimetría”**.1 de Abril de 2009. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Colorimetr%C3%ADa>.

12. **“Delyrarte”**.1 de Abril de 2009. Disponible en:
<http://www.delyrarte.com.ar/sitio/discol3.html>.
13. **“Colorvision”**. 2 de Mayo de 2009. Disponible en:
www.colorvision.ch/.../C400_colortutorials/2.jpg.
14. Newstechco. **“Teoría del color”**. 2 de Abril. Disponible en:
<http://www.newstechco.com/docs/boletin/BolN98.pdf>.
15. **“Diagrama cromático”**.18 de Abril de 2009. Disponible en:
http://images.google.co.ve/images?hl=es&lr=lang_es&um=1&q=diagrama+comatico&sa=N&start=0&ndsp=18.
16. Wikipedia.**“Espacio de color Lab”**. 18 de Abril de 2009.Disponible en:
http://es.wikipedia.org/wiki/Espacio_de_color_Lab#CIE_1976_Color_Space
.Wapedia. **“MacAdam ellipse”**. 27 de Junio de 2009. Disponible en:
http://wapedia.mobi/en/MacAdam_ellipse.
17. Wikipedia.**“MacAdam ellipse”** . 2 de Mayo de 2009.Disponible en:
http://en.wikipedia.org/wiki/MacAdam_ellipse.
18. Cermeño J. **“Diseño de Experimentos”**. Segunda edición. Fondo Editorial UDO, Venezuela,(1998).
19. Arias F., **“El Proyecto de Investigación”**, Editorial Episteme, Caracas, Venezuela, (2003).

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y
ASCENSO**

| | |
|------------------|--|
| TITULO | PROPUESTA PARA LA APLICACIÓN DEL SISTEMA DE COORDENADAS DE COLOR CIELAB EN EL CONTROL DE LA CROMATICIDAD DEL VIDRO FLOTADO |
| SUBTITULO | |

AUTOR (ES):

| APELLIDOS Y NOMBRES | CDIGO CULAC / E MAIL |
|----------------------------|--|
| Mannello S., María N. | CVLAC: 17.548.201 E_MAIL: nicolinalopez@hotmail.com |
| | CVLAC: E-MAIL: |

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Propuesta

Aplicación

Color cielab

Control

Cromaticidad

Vidrio Flotado

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

| ÁREA | SUBÁREA |
|---------------------------------|--------------------|
| Ingeniería y Ciencias Aplicadas | INGENIERÍA QUÍMICA |

RESUMEN (ABSTRACT):

El desarrollo del presente trabajo, constituye el proyecto diseñado a la empresa Guardián de Venezuela para la aplicación de sistema de coordenadas de color CIELAB en el control de la cromaticidad del vidrio flotado con el fin de que ésta pase a formar parte del conjunto de empresas filiales que utilizan este sistema, logrando así compartir información para comparar o explorar mercados. Por tal motivo se obtuvieron mediante muestras estudiadas valores de las propiedades ópticas del vidrio, como lo son: transmisión, coordenadas x, y, a*, b*, L* y valores de Mac Adam, utilizando 5,66 mm y 6 mm como espesores de referencia; todo ésto con el uso de un espectrofotómetro U-V. Esta actividad fue realizada bajo normativas internas exigidas por la empresa, éstas fueron: norma API 1104, ASME B31.3, B31.4 y B 31.8. Con todo ésto se logró llevar a cabo satisfactoriamente el establecimiento de los rangos de operación del sistema CIELAB, concluyendo que el vidrio de color bronce presentó los valores de luminosidad más altos, seguido por el euro y el de mayor oscuridad fué el vidrio color gris. Se determinó la influencia del cambio de espesor de referencia utilizado en la obtención de los valores de transmisión del vidrio, encontrándose el porcentaje de desviación por el orden de 1 a 2% y se explicó cómo se controla o modifica la cromaticidad del vidrio en función de los datos de las coordenadas establecidas.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**CONTRIBUIDORES:**

| APELLIDOS Y NOMRES | ROL/CÓDIGO CVLAC/ E_MAIL | | | | |
|---------------------------|---------------------------------|------------------------|----|---------|---------|
| Ronald Arias | ROL | CA | AS | TU X | JU |
| | CVLAC | 13.498.859 | | | |
| | E_MAIL | Ronald_arias@cantv.net | | | |
| | E_MAIL | | | | |
| Héctor Silva | ROL | CA | AS | TU | JU X |
| | CVLAC: | 3.955.146 | | | |
| | E_MAIL | hectorlsu@yahoo.es | | | |
| | E_MAIL | | | | |
| Frank Parra | ROL | CA | AS | TU | JU X |
| | CVLAC: | 8.265.531 | | | |
| | E_MAIL | frankparrag@gmail.com | | | |
| | E_MAIL | | | | |

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

| AÑO | MES | DIA |
|------|-----|-----|
| 2010 | 03 | 26 |

LENGUAJE: SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**ARCHIVO (S):**

| NOMBRE DE ARCHIVO | TIPO MIME |
|--------------------------|---------------------|
| TESIS. Color cielab.doc | Aplication / msword |
| | |

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J K
L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z. 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: _____ (OPCIONAL)

TEMPORAL: _____ (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Químico

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pre – Grado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Ingeniería Química

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente – Núcleo de Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**DERECHOS:**

De acuerdo con el artículo 41 del reglamento de trabajos de grado de la Universidad de Oriente: “Los trabajos de grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y solo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento de Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participar al Consejo Universitario, para su autorización”

Mannello S., María N.

AUTOR

Ronald Arias

TUTOR

Héctor Silva

JURADO

Frank Parra

JURADO

POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS