

Los tres experimentos se realizaron en un mismo evento y fueron replicados en una ocasión. Las curvas de calentamiento del horno hasta alcanzar la temperatura experimental fueron similares. El procedimiento del cálculo y preparación de la formulación, mezclado, fusión, extracción, prensado y recocido fueron los mismos que en la primera fase experimental.

Al vidrio obtenido se determinó el contenido de fluoruros, del cual se derivó el porcentaje de retención de fluoruros, además se midió el porcentaje de opacidad, todo lo anterior bajo los mismos procedimientos y en los mismo laboratorios que en la primer fase experimental.

3.10 RESUMEN DEL CAPÍTULO

En este capítulo se presentaron la definición y rango de los factores a estudiar sobre la retención de fluoruros y opacidad, las dos fases experimentales realizadas y sus objetivos, además se presentaron las composiciones de vidrio a experimentar, los materiales usados, la realización de las mezclas y fusión de las mismas. También se mencionó el tratamiento térmico de recocido realizado y la preparación de la muestra para la determinación de la opacidad, así como las técnicas empleadas para esta medición y la de fluoruros en vidrio. Finalmente se presentó la segunda fase experimental realizada. Enseguida se realizará la presentación de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO

4

RESULTADOS

4

RESULTADOS**4.1 PRIMERA FASE EXPERIMENTAL**

La primera fase experimental tuvo como objetivo determinar si los factores composición (Al_2O_3 , ZnO y K_2O), temperatura y tiempo en los rangos experimentados, tienen efecto sobre la retención de fluoruros durante la fusión de un vidrio opal de flúor, en un horno gas/aire de pruebas. Además de conocer si estos factores tienen alguna influencia sobre la opacidad del vidrio. Los resultados de porcentaje de fluoruros analizado en el vidrio que se obtuvieron son los que se muestran en la tabla X.

4.1.1 FLUORUROS

Tabla X. %F analizado del primer diseño de experimentos.

Experimento	%F _{analizado}	Réplica	%F _{analizado}
1	3.61	10	3.36
2	2.88	12	2.78
3	3.02	16	3.09
4	3.23	8	3.43
5	3.35	14	3.50
6	3.64	7	3.48
9	3.12	13	3.33
11	2.92	15	3.20

El cálculo del porcentaje de retención de fluoruros en cada fusión se determinó mediante la ecuación 4.1, los cuales no son publicados en esta versión. El porcentaje de fluoruros puesto inicialmente en la mezcla es el mismo para todos los casos.

$$\%F_{\text{retenido}} = \frac{\% pF_{\text{analizado}}}{\% pF_{\text{mezcla}}} \times 100 \quad [4.1]$$

Mediante el paquete computacional Design Ease⁽³⁸⁾ se realizó el análisis estadístico de los datos obtenidos del porcentaje de retención de fluoruros, donde se obtuvo la curva de probabilidad normal media de los efectos, figura 13. Esta gráfica nos representa la distribución normal media de los efectos en términos probabilísticos y nos indica que aquellos factores que se encuentre a la derecha de la línea tienen un efecto significativo sobre la variable de respuesta estudiada. En este caso, el único factor distinguible que tiene efecto sobre la retención de fluoruros, en el rango experimentado, es el factor A que corresponde al Al_2O_3 , que no puede ser explicado por el azar o la casualidad, sino que algo sucedió con la retención de fluoruros al variar la cantidad de Al_2O_3 .

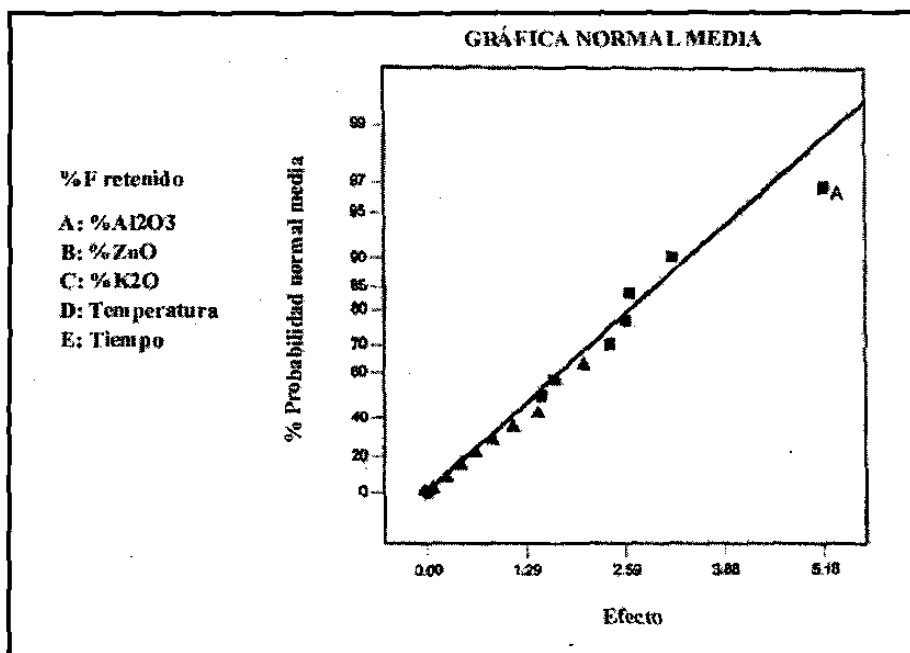


Figura 13. Curva de probabilidad normal media de los efectos sobre el %fluoruros retenido.

Para un diseño factorial, la gráfica de perturbación muestra los cambios de respuesta de cada factor cuando se mueven del punto de referencia seleccionado. La perturbación de cada uno de los factores estudiados sobre el porcentaje de retención de fluoruros se muestra en la figura 14, en la cual se observa que en el caso del factor Al_2O_3 , al pasar del nivel bajo al alto o viceversa, el porcentaje de fluoruros retenido, experimenta una respuesta, mientras que los factores restantes prácticamente no producen efecto sobre la variable de respuesta cuando son cambiados de un nivel a otro.

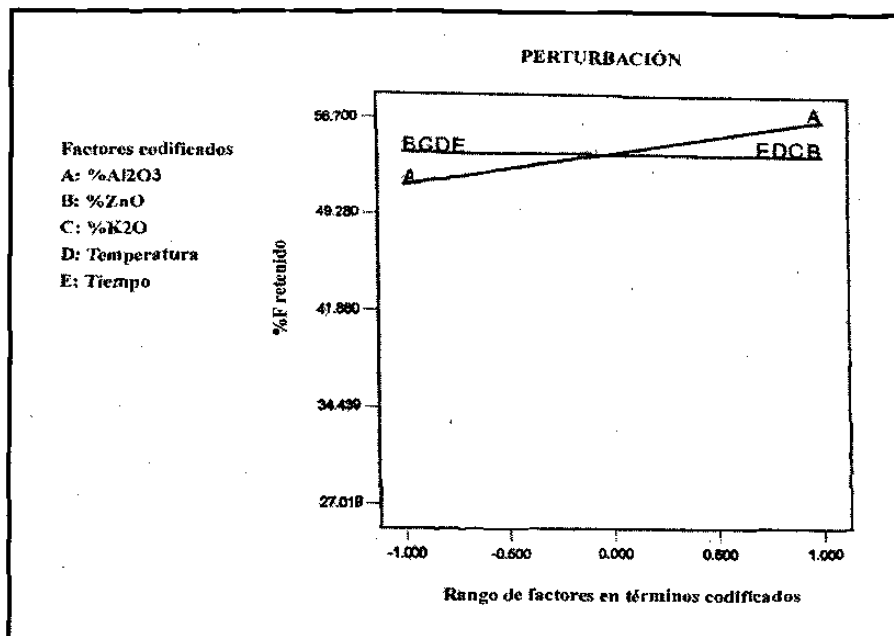


Figura 14. Gráfica de perturbación de los factores estudiados sobre el % fluoruros retenido.

La magnitud del efecto del Al_2O_3 sobre la retención de fluoruros en el rango estudiado se ilustran en la figura 15; los símbolos I representa un intervalo de confianza del 95% de los puntos graficados, si estos símbolos para los niveles alto y bajo no se traslapan, nos indica que el efecto es importante.

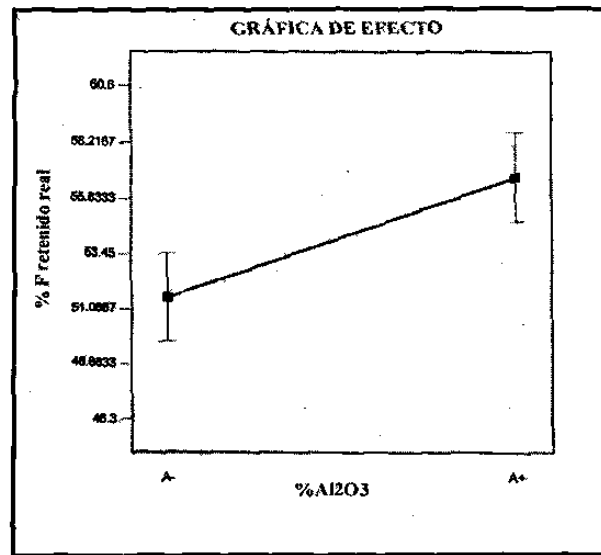


Figura 15. Efecto de Al_2O_3 sobre el %fluoruros retenido.

El análisis de varianza ANOVA del modelo factorial seleccionado arroja la información que se presenta en la tabla XI. La ecuación final de predicción para el porcentaje de fluoruros retenido durante la fusión para el rango estudiado es la siguiente:

$$\%Fretenido = 48.94 + 2.59 \times \%Al_2O_3 \quad [4.2]$$

Tabla XI. Aproximación, error y falta de ajuste del modelo experimental en cuanto a retención de fluoruros.

Aproximación del modelo experimental	Error del modelo experimental	Falta de ajuste del modelo experimental	Variación debida al azar
37.4%	62.6%	48.9%	13.7%

4.1.2 OPACIDAD

Para el cálculo del porcentaje de opacidad de los vidrios obtenidos de las fusiones experimentales, se obtuvieron las curvas de reflectancia bajo fondo blanco y negro, las cuales son utilizadas para el cálculo de los valores triestímulos; en el Apéndice C se encuentran las curvas de reflectancia de cada vidrio obtenido. El cálculo de los valores triestímulo para cada muestra de vidrio son calculados multiplicando la reflectancia de la muestra (R), la energía relativa del iluminante (P) y los valores específicos de las luces primarias (x, y, z) a cada longitud de onda. Los productos en cada columna (RPx, RPy, RPz) son sumados para todas las longitudes de onda y nos proporciona los valores triestímulo (X, Y y Z) calculado para un iluminante y observador estándar en particular. Estos valores son calculados bajo fondo blanco y negro y se presentan en la tabla XII.

Tabla XII. Valores triestímulos bajo fondo blanco y negro de las muestras de vidrio.

VALORES TRIESTIMULOS BAJO FONDO BLANCO Y NEGRO								
PRIMER DISEÑO EXPERIMENTAL								
	VF-R1 / BCO	VF-R1 / NEG	VF-R2 / BCO	VF-R2 / NEG	VF-R3 / BCO	VF-R3 / NEG	VF-R4 / BCO	VF-R4 / NEG
X	69.518	42.448	63.896	24.552	76.953	59.461	69.098	39.987
Y	72.435	44.040	65.484	25.229	79.973	61.892	71.898	41.577
Z	86.525	59.010	77.136	40.452	94.634	81.966	85.224	56.063
	VF-R5 / BCO	VF-R5 / NEG	VF-R6 / BCO	VF-R6 / NEG	VF-R7 / BCO	VF-R7 / NEG	VF-R8 / BCO	VF-R8 / NEG
X	82.392	66.279	80.018	66.638	79.523	65.370	73.802	45.215
Y	84.576	68.216	83.018	68.956	82.378	67.396	76.267	46.760
Z	98.718	86.852	96.903	87.955	96.499	84.208	88.885	62.720
	VF-R9 / BCO	VF-R9 / NEG	VF-R10 / BCO	VF-R10 / NEG	VF-R11 / BCO	VF-R11 / NEG	VF-R12 / BCO	VF-R12 / NEG
X	65.005	28.249	69.318	38.169	63.228	21.891	61.030	26.540
Y	66.684	29.168	71.480	39.752	64.670	22.344	62.530	27.243
Z	78.898	47.078	84.564	58.329	75.029	36.390	73.412	42.679
	VF-R13 / BCO	VF-R13 / NEG	VF-R14 / BCO	VF-R14 / NEG	VF-R15 / BCO	VF-R15 / NEG	VF-R16 / BCO	VF-R16 / NEG
X	70.402	42.483	81.618	66.299	69.628	34.617	82.759	65.764
Y	72.705	44.067	84.378	70.401	71.779	36.070	85.041	67.853
Z	84.647	59.372	99.535	88.432	86.438	54.732	99.461	87.212

Mediante el uso de la ecuación [2.3] se calculó el porcentaje de opacidad de los vidrios obtenidos haciendo uso del valor triestímulo Y bajo ambos fondos. Los resultados de los porcentajes de opacidad son mostrados en la tabla XIII.

Tabla XIII. %Opacidad de los vidrios obtenidos en la primer fase experimental.

Experimento	%Opacidad	Replica	%Opacidad
1	61	10	56
2	39	12	44
3	77	16	80
4	58	8	61
5	81	14	83
6	83	7	82
9	44	13	61
11	35	15	50

Mediante el mismo paquete computacional se realizó el análisis estadístico de los datos obtenidos de porcentaje de opacidad, donde se obtuvo la curva de probabilidad normal media de los efectos, figura 16, la cual indica que de las variables estudiadas, los únicos efectos distinguibles en el rango experimentado sobre la opacidad es el efecto B y D que corresponde al ZnO y Temperatura.

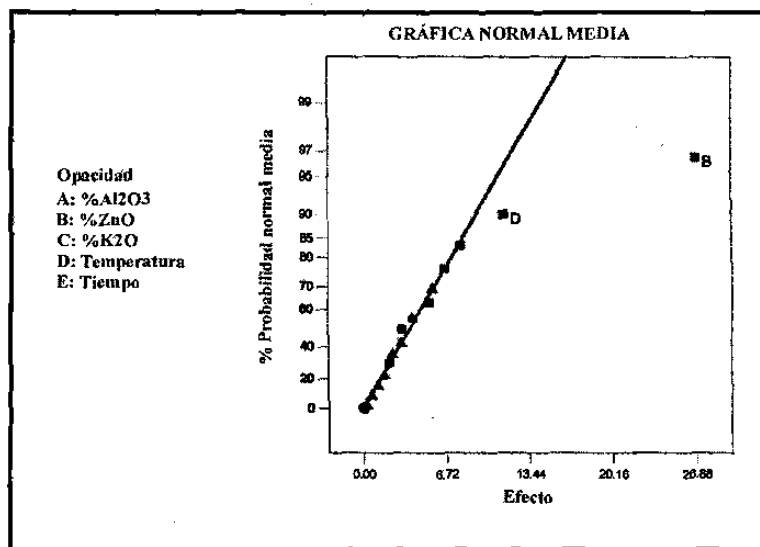


Figura 16. Curva de probabilidad normal de los efectos sobre el %opacidad.

La perturbación de cada uno de los factores estudiados sobre la opacidad se muestra en la figura 17.

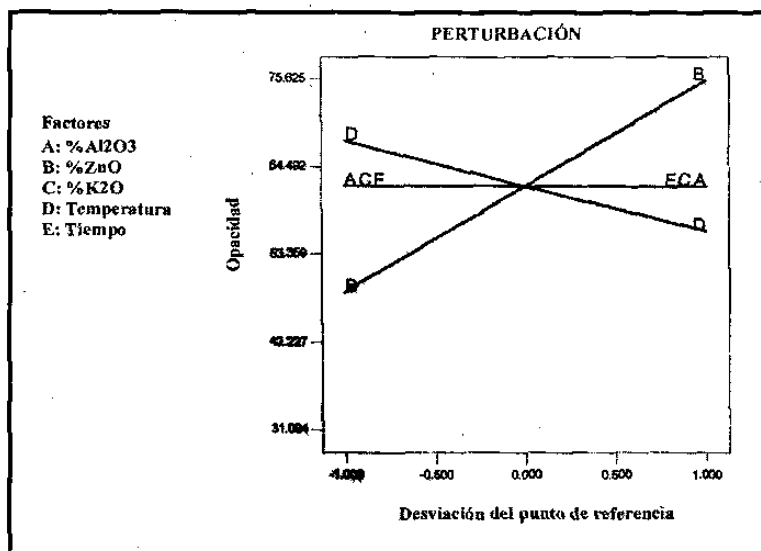


Figura 17. Gráfica de perturbación de los factores estudiados sobre el %opacidad.

En la gráfica anterior se observa que los factores ZnO y Temperatura al pasar del nivel bajo al alto o viceversa experimentan una respuesta, mientras que los factores restantes prácticamente no producen efecto sobre la variable de respuesta cuando son cambiados de un nivel a otro.

La magnitud del efecto del ZnO y de la Temperatura sobre el porcentaje de opacidad en el rango estudiado se ilustran en la figuras 18 y 19 respectivamente, las cuales nos indican que el efecto de estos factores es importante sobre la variable de respuesta estudiada.

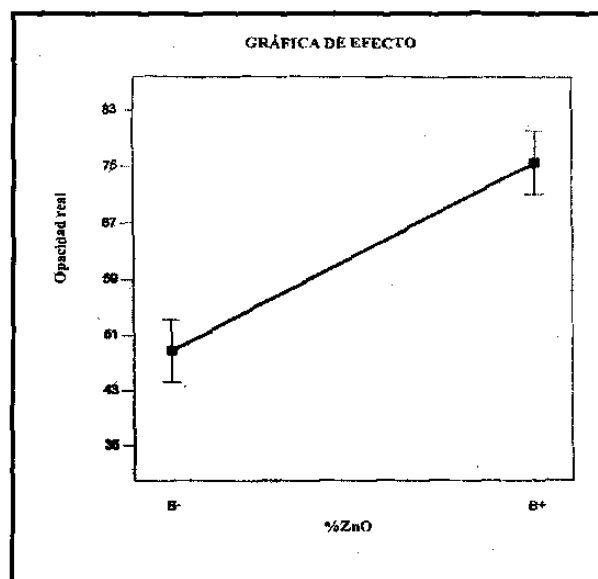


Figura 18. Efecto de ZnO sobre el %opacidad.

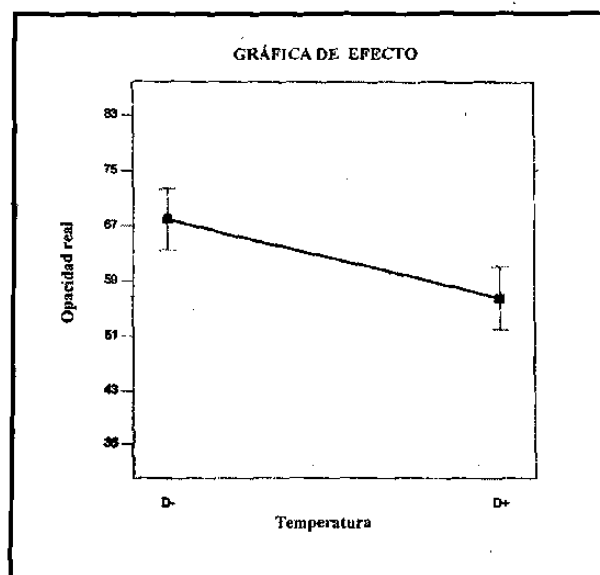


Figura 19. Efecto de la temperatura sobre el %opacidad.

El análisis de varianza ANOVA del modelo factorial seleccionado arroja la información que se presenta en la tabla XIV. La ecuación final de predicción para la opacidad en el rango estudiado es la siguiente.

$$\%Opacidad = 860 + 13.44 \times \%ZnO - 0.57 \times Temperatura \quad [4.3]$$

Tabla XIV. Aproximación, error y falta de ajuste del modelo experimental en cuanto a Opacidad.

Aproximación del modelo experimental	Error del modelo experimental	Falta de ajuste del modelo experimental	Variación debida al azar
79.3%	20.7%	13.9%	6.8%

4.2 SEGUNDA FASE EXPERIMENTAL

La segunda fase experimental tuvo como objetivo reducir las pérdidas de fluoruros durante la fusión a diferentes niveles de porcentaje en peso de Al_2O_3 sobre una fórmula base. Los resultados de esta fase experimental se muestran en la tabla XV.

Tabla XV. Resultados de la segunda fase experimental.

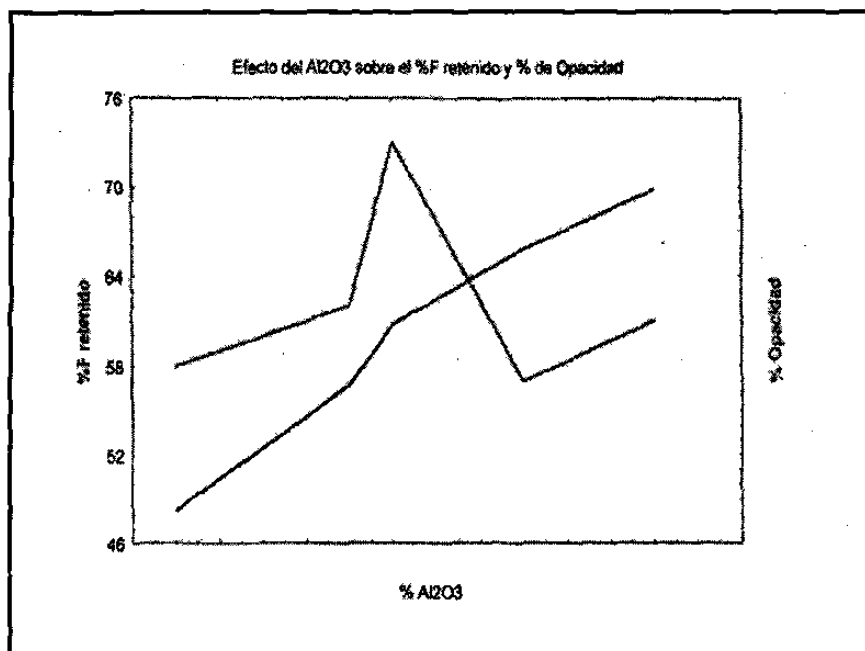
Experimento	%F analizado	%Opacidad
1	3.65	73
2	3.95	57
3	4.19	61

Los resultados globales de la fase experimental de este trabajo, en cuanto al efecto del Al_2O_3 sobre la retención de fluoruros durante la fusión de un vidrio base y el porcentaje de opacidad resultante del vidrio, se pueden ver en la tabla XVI. Tomando en cuenta solo los resultados originales de la experimentación y promediando los efectos de los factores estudiados de la primera fase experimental se obtuvieron los datos restantes.

Tabla XVI. Resultados globales de la experimentación.

	%F analizado	%Opacidad
1	3.10	58
2	3.40	62
3	3.65	73
4	3.95	57
5	4.19	61

Graficamente estos resultados globales se presentan en la figura 20 donde se observa una el efecto del Al_2O_3 sobre el fluoruro retenido y la opacidad; además se muestra el porcentaje de opacidad comercial que se presentó durante la producción de este vidrio en Vitrocrisa.

Figura 20. Efecto del Al_2O_3 sobre el %F retenido y el % Opacidad.

4.3 RESUMEN DEL CAPÍTULO

En este capítulo se presentaron los resultados obtenidos durante la experimentación, principalmente el efecto o no de las variables estudiadas en un rango dado, sobre el porcentaje de fluoruros retenidos durante la fusión de un vidrio base, así como su magnitud. Alternamente, como una variable de respuesta secundaria, se presentaron los resultados del efecto y magnitud de esas variables sobre la opacidad final del vidrio. A continuación se realizará una discusión de los resultados, conclusiones y recomendaciones para futuros trabajos.

CAPÍTULO

5

*DISCUSIÓN Y
CONCLUSIONES*

5

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

DISCUSIÓN

Recordando la hipótesis planteada al inicio de este trabajo: La cantidad de fluoruros que se pierde por volatilización en un vidrio ópalo de flúor base depende de la composición química del vidrio y de las condiciones de fusión del mismo tales como temperatura y tiempo.

Con base en esta hipótesis, podemos decir que la participación de Al_2O_3 en la formulación base y a las cantidades probadas, es relevante para mejorar la retención de fluoruro durante la fusión de este vidrio, no así la participación del ZnO , K_2O , temperatura y tiempo de fusión. Alternamente con ello, la participación del ZnO y la temperatura de fusión son importantes en la opacidad final del vidrio.

Existen un número considerable de trabajos de investigación previos al presente en los que se ha intentado determinar la influencia de los factores composición, y algunas condiciones de fusión del vidrio como temperatura y tiempo sobre la pérdida de fluoruros por volatilización así como su efecto en la opacidad del vidrio.

No obstante es importante considerar que, a pesar de ese número relativamente elevado de trabajos previos, no existe, en esencia, uno de ellos en donde se haya tomado como punto de partida una mezcla de materias primas equivalente a la que se utiliza en Vitrocrisa y las composiciones de vidrio base estudiadas por ellos no contemplan la participación de ciertos óxidos que nuestro vidrio si lo hace, además de que los porcentajes de los óxidos alcalino y alcalinotérreos presente en sus fórmulas son mayores.

Como se menciona en el capítulo de resultados, el principal factor a considerar en la retención de fluoruros lo constituye el Al_2O_3 ; sin embargo, Callow^{[4][33]} no reporta un efecto importante al sustituir un 5% de Al_2O_3 ,

cuando fundió a 1450°C por 2 h., condiciones semejantes a las empleadas en este trabajo. No existe aquí contradicción alguna, simplemente el vidrio base que él usó no fue igual al usado por nosotros, adicionalmente empleó una sola materia prima fuente de fluoruros a la vez, que según Paoletti^[12] la retención de fluoruros depende de la materia prima fuente de fluoruros utilizada. En cuanto a la opacidad, el mismo autor reporta que el ZnO incrementa marcadamente la opacidad, hecho que se corrobora en este estudio y que la adición de Al₂O₃ y K₂O tiene efectos no uniformes de pequeña magnitud, resultados que para nosotros no se presentaron, y en los cuales observamos que el K₂O no tiene efecto sobre la opacidad y que esta incrementa con la cantidad de Al₂O₃ presente hasta cierto valor a partir del cual la opacidad disminuye.

Por su parte, Parker, Al-Dulaimy, Juma'a^[3] comentan que el Al₂O₃ y el ZnO incrementan ligeramente la retención de fluoruros sobre una composición base SiO₂-CaO-Na₂O-Al₂O₃, hecho que según nuestros resultados el Al₂O₃ incrementa la retención de manera importante y el ZnO no tiene el efecto que ellos comentan, al menos en el rango en el que se experimentó. En su trabajo realizaron la sustitución de Al₂O₃ a niveles de hasta 8%, la cual presentó una retención de fluoruros del 70%, en nuestro estudio esto se logró a niveles más bajos de Al₂O₃. Estos autores dicen que una posible explicación para el efecto de la alúmina sobre la retención de fluoruros es el incremento de la viscosidad del fundido por la adición de este material, debido a que los iones Al³⁺ tienden a atrapar a los iones Na⁺ para preservar la neutralidad eléctrica reduciendo la actividad del NaF y su tendencia a volatilizarse. Con respecto a la sustitución de ZnO, ellos demostraron en su experimentación que el porcentaje de retención de fluoruros incrementa con el número atómico del catión añadido.

Las diferencias de nuestros resultados con respecto a Parker, Al-Dulaimy, Juma'a^[3] creemos que estriban principalmente en la diferencia del vidrio base de partida y en los porcentajes de participación de los óxidos.

Para Das^[37], en su estudio reporta que la sustitución de Al_2O_3 mejora ligeramente la retención de fluoruros y la opacidad, también esto sobre un vidrio base de SiO_2 -CaO-Álcalis, mientras que al sustituir K_2O y ZnO encontró una gran mejoría sobre la retención de fluoruros y la opacidad, esta mejoría en la retención de fluoruros no se presenta en la experimentación realizada por nosotros, pero sí en la opacidad cuando se sustituyó el ZnO . Su experimentación fue realizada a una temperatura inferior a la utilizada en nuestra experimentación y con un nivel de fluoruros de 7.5% provenientes de Na_2SiF_6 , como único material fluorado usado. Además, Das^[37] reporta que un incremento en el tiempo de fusión disminuye el porcentaje de retención de fluoruros y la opacidad para tiempos de hasta 24 h., lo cual para nosotros no tuvo importancia, probablemente debido a lo angosto del rango estudiado. Por otro lado, él concluye que la viscosidad del fundido no es el único factor que controla la pérdida de fluoruros, esto a través de experimentos donde sustituye ciertos óxidos los cuales no favorecen el aumento de la viscosidad del vidrio fundido, ampliando con esto la explicación expuesta por Parker, Al-Dulaimy, Juma'a^[3] de la relación viscosidad del fundido con la retención de fluoruros.

Callow y Lawson^[34] reportan que la temperatura afecta la retención de fluoruros cuando ésta se varió de 1350°C a 1450°C y que el principal efecto ocurre a 1400°C , efecto que no se evidenció en este trabajo, debido quizá al menor rango de temperatura experimentado. Con respecto al tiempo, este solo influye a concentraciones de fluoruros del orden del 10%, que en nuestro caso y a las condiciones experimentadas no se presentó, lo cual podría deberse a que la concentración de fluoruros que utilizamos fue menor.

De acuerdo a nuestros resultados, podemos decir que la hipótesis planteada fue confirmada, en ella medimos el efecto de la composición del vidrio, así como la temperatura y tiempo de fusión sobre un vidrio base de partida y encontramos con base a la experimentación realizada que la magnitud del efecto sobre la retención de fluoruros y la opacidad es importante en algunos de los factores estudiados.

Debido al poco tiempo de experiencia en la producción de este vidrio en planta y a los diferentes problemas que se han ido sorteando en el transcurso de su fabricación, la información que de aquí surge puede ser importante para la mejora en su producción y en la calidad en su grado de opacificación. Además el conocimiento que se va adquiriendo con este tipo de estudios, nos permite entender los fenómenos que ocurren durante el proceso de producción del vidrio y procesos subsecuentes.

Lograr una retención mayor de fluoruros y una mejor opacidad del producto final impactaría en un ahorro de materias primas si se quiere establecer un cierto valor de retención de fluoruros y que solo se lograría compensando las pérdidas, además estaríamos hablando de incrementar la vida del horno al disminuir la corrosión del refractario debida a los productos de volatilización generados. Por otro lado, el cumplimiento de las normas ecológicas establecidas en la emisión de gases a la atmósfera, cuidando con ello nuestro ecosistema.

CONCLUSIONES

Del presente trabajo se generan las siguientes conclusiones:

- * La participación del Al_2O_3 favorece la retención de fluoruros durante la fusión de la formulación base de partida de vidrio ópalo de flúor, esto en el rango estudiado y a las condiciones de fusión experimentadas. El efecto del ZnO , K_2O , temperatura y tiempo no es apreciable.
- * En la gráfica del porcentaje de fluoruros retenido y la opacidad a diferentes niveles de Al_2O_3 (Figura 20) podemos observar que al variar el porcentaje de participación de este óxido en el vidrio a los niveles realizados se puede lograr una mejoría en la retención de fluoruros y que aproximadamente a partir de cierto valor de Al_2O_3 , la retención de fluoruros y la opacidad tienen un comportamiento inverso.
- * Para un vidrio donde la volatilización del flúor es un problema más grave comparado con la volatilización en un vidrio $\text{SiO}_2\text{-CaO-Na}_2\text{O}$, se lograron obtener niveles de retención de fluoruros comparables a los obtenidos en vidrios calizos.

- * Sin ser el objetivo principal de este trabajo pero igual de importante, se encontró que la participación del ZnO y la temperatura favorecen el porcentaje de opacidad sobre un vidrio base en el rango estudiado y a las condiciones de fusión experimentadas, por otro lado, no se observó un efecto apreciable del Al_2O_3 , K_2O , y tiempo.

- * En otro rango de estudio la sustitución de Al_2O_3 presentó un efecto notable disminuyendo el porcentaje de opacidad en 16% en un rango de 1.5% de Al_2O_3 , esto en una serie de vidrios con ZnO. Con esto se concluye que al tratar de favorecer el porcentaje de retención de flúor en base al aumento en la sustitución de Al_2O_3 disminuimos la opacidad del vidrio abajo de los niveles comerciales de Vitrocrisa.

CAPÍTULO

6

BIBLIOGRAFÍA

6

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Fernández Navarro J. M. "El Vidrio" Constitución, Fabricación y Propiedades. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Instituto de Cerámica y Vidrio. Madrid, 1985.
- [2] Difracción de Rayos X de muestra en polvo de vidrio ópalo de flúor producido en Vitrocrista. Realizado en la Facultad de ciencias Químicas. UANL. Febrero 1999.
- [3] J. M. Parker, J. A. M. Al-Dulaimy & Q. A. Juma'a "Volatilisation from Fluoride Opal Melts". Glass Technology, Vol. 25, No. 4. August 1984, England, pp 180-187.
- [4] R. J. Callow "Influence of Al_2O_3 , ZnO , and K_2O on the Opacity of Fluoride-Opacified". Journal of The American Ceramic Society, Vol. 35, No. 5. Mayo 1952. England, pp 120-122.
- [5] J. E. Flannery and D. R. Wexell "Spontaneous Opal Glasses". Patente #3912524. Corning Glass Works, Corning N.Y. Octubre 1975.
- [6] W. H. Dumbaugh, Jr. "Easily Meltable Dense Opal Glasses". Patente #4469799. Corning Glass Works, Corning N.Y. Septiembre 1984.
- [7] G. Rothwell "The Crystalline Phase in Fluoride Opal Glasses". Journal of The American Ceramic Society. Vol. 39, No. 12. Diciembre 1956. England, pp407-414.
- [8] G. J. Fine "Consumer Houseware Applications". Engineered Materials Handbook. Vol. 4. Ceramic and Glasses. Corning, N.Y. 1991, p 1101.
- [9] J. W. Ryde and D. E. Yates "Opal Glasses". Journal of The Society of Glass Technology. Junio 1926. 10. England, pp 274-295.
- [10] R. J. Callow "The Precipitation of Fluoride in Glass Systems". Journal of The Society of Glass Technology. 1952, Vol. 36, No. 172, England, pp 266-269.
- [11] F. V. Tooty "The Handbook of Glass Manufacture". Vol. 1. Department of Ceramic Engineering University of Illinois. U.S.A, 1974, pp 3-7.

- [12] G. Paoletti "Studio sulle possibilita di diminuzione delle perdite del fluoro nel corso della produzione di un vetro opale. Rivista Staz. Sper. Vetro. No. 6 ,Nov-Dic 1974. Italy, pp 241-247.
- [13] J. E. Flannery and D. R. Wexell "Opal Glasses". Corning Glass Works, Corning N.Y. pp 141-150.
- [14] Q. A. Juma'a and J. M. Parker "Crystal Growth in Fluoride Opal Glasses. Department of Ceramic, Glasses and Polymers. England, pp 218-236.
- [15] R. G. C. Beerkens and J. van Limpt "Volatilisation in GlassFurnaces". TNO-Institute of Applied Physics Eindhoven, Marzo 1998. Holanda, pp 9-19.
- [16] H. P. Hood "Opal Glasses and Method of Control Ling Fire Thereof". Patente #2571242. Corning Glass Works, Corning N.Y. Julio 1948.
- [17] S. D. Stookey "Opal Glasses". Patente #2921860. Corning Glass Works, Corning N.Y. Diciembre 1954.
- [18] J. L. Herbert, "Opal Glass with a Low Coefficient of Thermal Expansion". Patente #3275492. Societé des Verreries Industrielles Réunies du Laing, Paris, France. Febrero 1961.
- [19] W. H. Dumbaugh, Jr, J. E. Flannery and G. B. Hares "Opal Glass Compositions Comprising Calcium Fluoride". Patente #3681098. Corning Glass Works, Corning N.Y. Enero 1970.
- [20] G. B. Carriers and J. E. Flannery "Durable Borosilicate Opal Glasses". Patente #3728139. Corning Glass Works, Corning N.Y. Diciembre 1970.
- [21] A. Andrieu "Method for Improving the Chemical Durability of Opal Glasses". Patente #3741861. Corning Glass Works, Corning N.Y. Enero 1974.
- [22] E. C. Hagedorn "Opalizable Glass Compositions and Methods of Making Articles Therefrom". Patente #3764283. Owens-Illinois, Inc. Julio 1967.
- [23] R. E. Ahlgren, D. W. Schwoerer and B.H.Lundstrom "Process for Opalizing Glass". Patente #4050947. Bullseye Glass Co. Portland Oreg. Marzo 1976.

- [24] D. W. Rinehart "Chemically Strengthened Opal Glass". Patente #4053679. PPG Industries, Inc. Pittsburgh, Pa. Julio 1976.
- [25] Kun-Er Lu, W. H. Tarcza "Method for Improving the Durability of Spontaneous NaF Opal Glassware". Patente #4187094. Corning Glass Works, Corning N.Y. Mayo 1978.
- [26] R. M. Wiker "Zinc Borosilicate Opal Glasses". Patente #4376178. Corning Glass Works, Corning N.Y. Marzo 1982.
- [27] R. Stanziola "Colorimetry and the Calculation of Color Difference". Industrial Color Technology. Neshanic Station, N.J.
- [28] "Determinación de la Opacidad en Vidrio Ópalo". Instrucción de Trabajo IT-10297. Vitrocrisa, S. A.
- [29] "Presentación del Mercado Nacional de Vajillas". Vitrocrisa 1998.
- [30] Annual Book of ASTM Standards "Separación de Fluoruros por Pirohidólisis y Determinación por Electrodo Ion Selectivo". 1991, Sección 15, Vol. 15.02.
- [31] Munsell "Colorimetry". Munsell Color Science Laboratory. Rochester Institute of Technology. Rochester, N.Y.
- [32] H. H. Blau, A. Silverman and V. Hicks "Opal Glass. II, Silicon, Calcium, Sodium, Aluminium, Oxygen, and Fluorine Series". Journal American Ceramic Society. Vol. 19, No. 3, 1936, pp 63-66.
- [33] R. J. Callow "The Solubility of Fluorides in Glass". Parte I. Journal of the Society of Glass Technology. Vol. 33, No. 153. Agosto 1949, pp 255-266.
- [34] R. J. Callow and G. Lawson "The Influence of Founding Time and Temperature on the Fluorine Content of an Opal Glass". Journal of the Society of Glass Technology. Vol. 34, 1952, pp 270-274.
- [35] A. M. Kruithof, C. M. La Grouw and J. de Groot "Volatilization of Glass". Symposium Sur La Fusion Du Verr. Union Scientifique Continentale du Verre. Belgiva, 1958, pp 515-527.
- [36] D. Kumar, R. G. Ward and D. J. Williams "Effect of Fluorides on Silicates and Phosphates". The Structure and Properties of Ionic Melts. Discussions of the Faraday Society. No. 32. Escocia 1961, pp 147-154.

- [37] E. R. Das "Study of the Effect of Glass Composition on the Retention of Fluorine and on Opacity". Glass and Ceramic Bulletin. Vol. 13. No. 4, 1996, pp 101-107.
- [38] Design-Ease Software, Versión 5.0 "User's Guide". Stat-Ease Inc.

APÉNDICE

A



Figura A.1 Vista lateral izquierda del horno de fusión.



Figura A.2 Vista lateral derecha del horno de fusión.

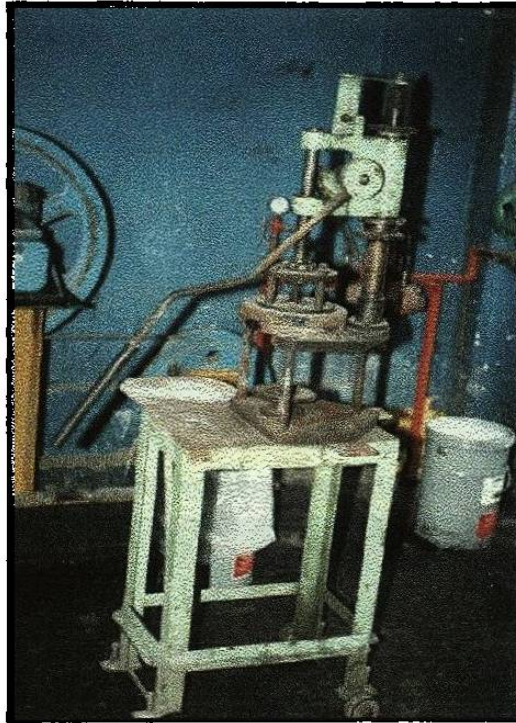


Figura A.3 Prensa manual.



Figura A.4 Horno eléctrico tipo caja.

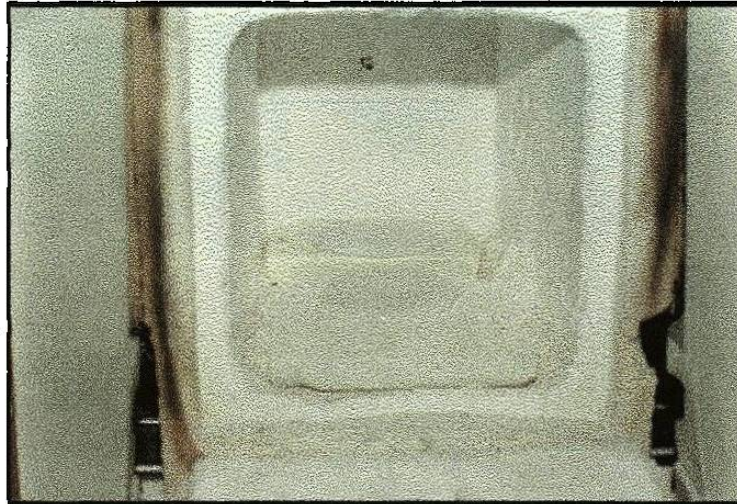


Figura A.5 Recocido de pastilla de vidrio.



Figura A.6 Máquina desbastadora de platos giratorios.



Figura A.7 Máquina pulidora automática.

APÉNDICE

B

λ (nm)	R	R
360	62.210	51.933
370	65.227	53.207
380	66.771	52.948
390	69.312	53.338
400	70.660	53.108
410	71.261	52.513
420	71.739	51.844
430	72.098	51.184
440	72.515	50.578
450	73.130	50.142
460	73.612	49.656
470	73.996	49.199
480	74.177	48.649
490	74.368	48.113
500	74.517	47.595
510	74.557	47.048
520	74.437	46.539
530	74.189	45.893
540	74.007	45.372
550	73.528	44.676
560	73.051	44.055
570	72.471	43.381
580	71.777	42.667
590	71.084	41.974
600	70.225	41.226
610	69.302	40.442
620	68.438	39.697
630	67.501	38.944
640	66.565	38.151
650	65.676	37.428
660	64.677	36.633
670	63.601	35.866
680	62.584	35.129
690	61.440	34.322
700	60.385	33.571
710	59.392	32.832
720	58.270	32.048
730	57.296	31.338
740	56.202	30.543
750	55.111	29.778

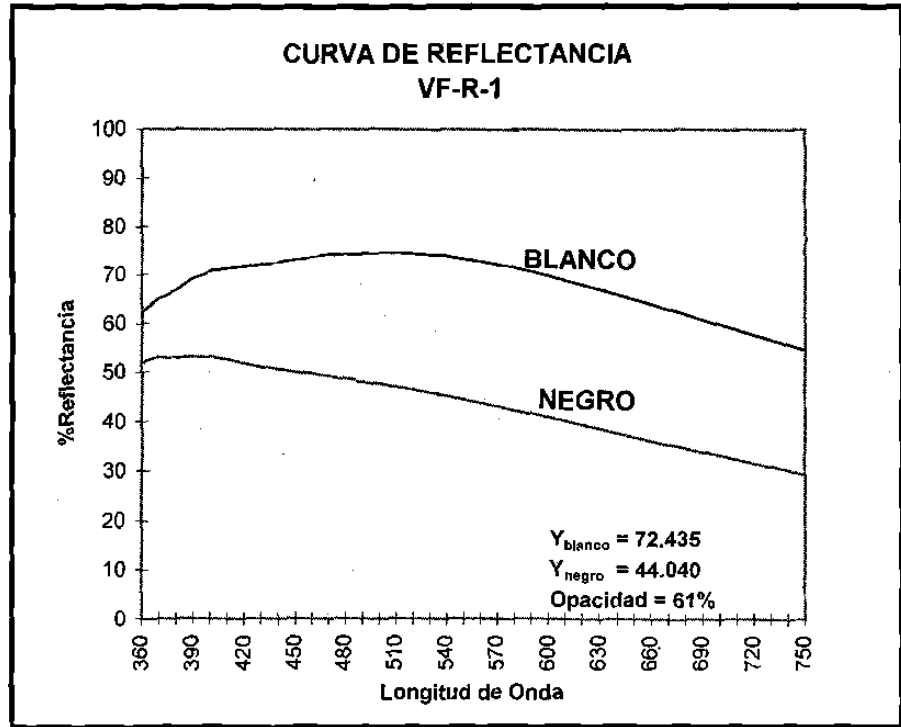


Figura B.1 %Reflectancia vs Longitud de onda (VF-R-1)

λ (nm)	R	R
360	56.355	41.455
370	58.826	42.054
380	60.003	41.314
390	62.674	41.284
400	63.998	40.580
410	64.395	39.527
420	64.621	38.361
430	64.759	37.143
440	64.839	35.945
450	65.211	34.901
460	65.507	33.898
470	65.664	32.875
480	65.683	31.800
490	65.731	30.803
500	65.798	29.853
510	65.892	28.938
520	65.874	28.045
530	65.833	27.162
540	65.835	26.339
550	65.675	25.490
560	65.581	24.749
570	65.442	23.994
580	65.298	23.278
590	65.206	22.658
600	65.057	21.933
610	65.886	21.369
620	64.815	20.787
630	64.737	20.241
640	64.703	19.776
650	64.700	19.343
660	64.605	18.903
670	64.541	18.545
680	64.491	18.243
690	64.408	17.919
700	64.346	17.657
710	64.305	17.423
720	64.203	17.164
730	64.152	16.958
740	64.005	16.753
750	63.790	16.513

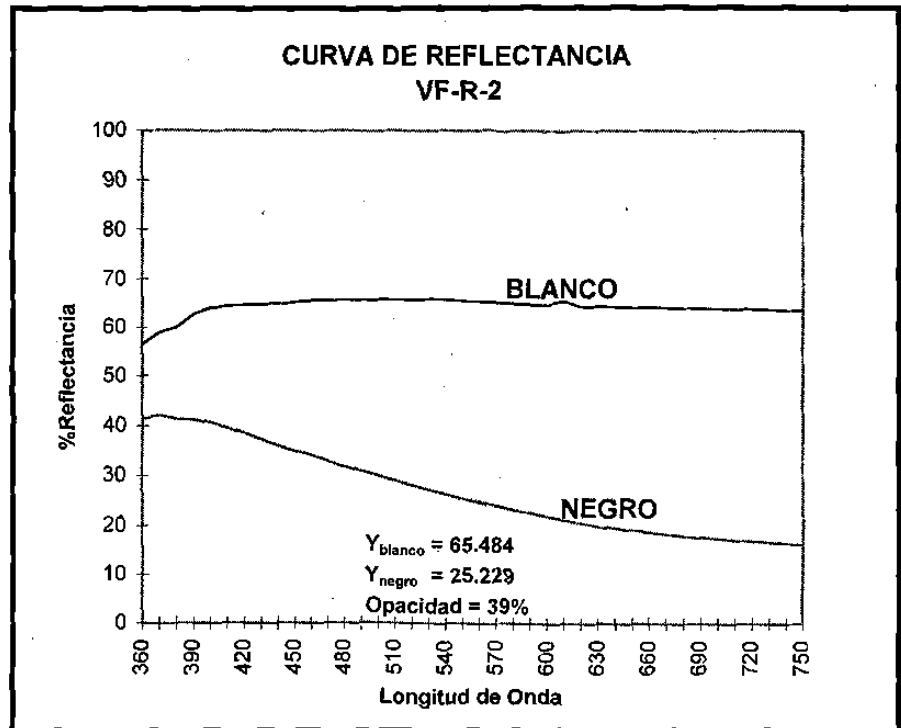


Figura B.2 %Reflectancia vs Longitud de onda (VF-R-2)

λ (nm)	R	R
360	73.484	70.656
370	75.928	72.352
380	76.435	72.320
390	77.635	72.560
400	78.318	72.412
410	78.650	71.877
420	78.930	71.311
430	79.123	70.652
440	79.393	70.059
450	79.839	69.564
460	80.353	69.116
470	80.700	68.602
480	81.035	68.049
490	81.247	67.440
500	81.482	66.770
510	81.659	66.113
520	81.689	65.405
530	81.517	64.565
540	81.450	63.854
550	81.105	62.912
560	80.718	61.998
570	80.238	61.054
580	79.594	60.026
590	78.935	59.020
600	78.081	57.901
610	77.157	56.772
620	76.288	55.714
630	75.302	54.576
640	74.315	53.436
650	73.419	52.396
660	72.352	51.292
670	71.253	50.138
680	70.202	49.072
690	68.946	47.862
700	67.859	46.792
710	66.796	45.752
720	65.800	44.532
730	64.525	43.580
740	63.351	42.458
750	62.122	41.349

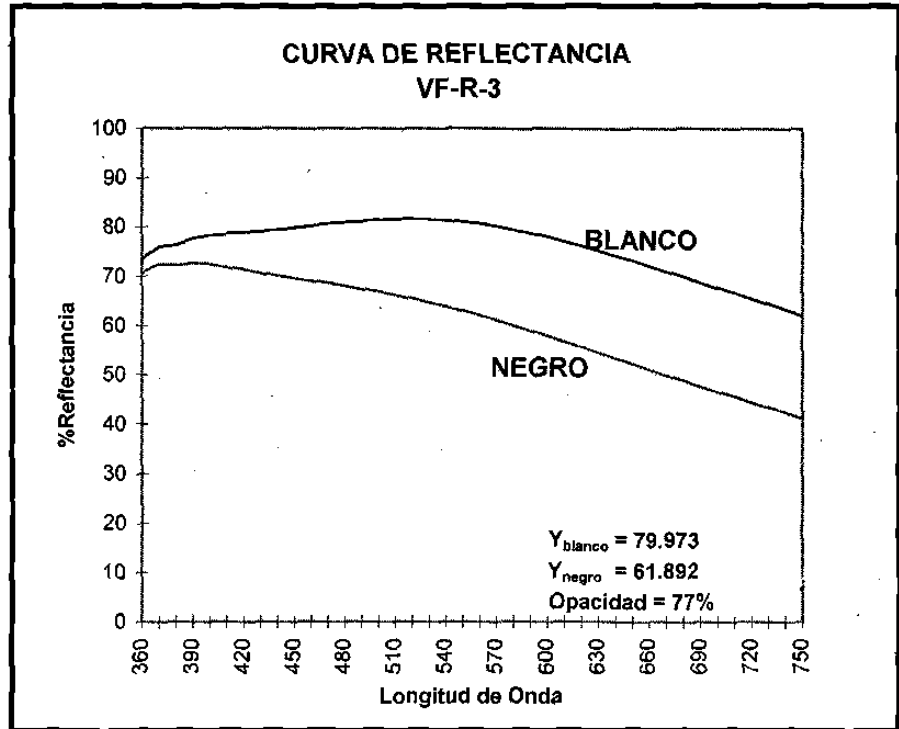


Figura B.3 %Reflectancia vs Longitud de onda (VF-R-3)

λ (nm)	R	R
360	62.467	49.522
370	64.808	50.394
380	66.119	50.271
390	68.201	50.464
400	69.425	50.167
410	69.988	49.716
420	70.527	49.221
430	70.987	48.651
440	71.400	48.072
450	72.009	47.625
460	72.493	47.198
470	72.873	46.730
480	73.154	46.243
490	73.380	45.714
500	73.566	45.180
510	73.668	44.682
520	73.588	44.106
530	73.471	43.501
540	73.303	42.925
550	72.877	42.243
560	72.512	41.582
570	72.034	40.913
580	71.425	40.183
590	70.803	39.498
600	70.002	38.677
610	69.189	37.915
620	68.353	37.146
630	67.532	36.353
640	66.663	35.571
650	65.837	34.843
660	64.910	34.068
670	63.941	33.288
680	63.001	32.578
690	61.968	31.814
700	60.993	31.082
710	60.064	30.388
720	58.989	29.639
730	58.074	28.941
740	57.077	28.229
750	56.046	27.497

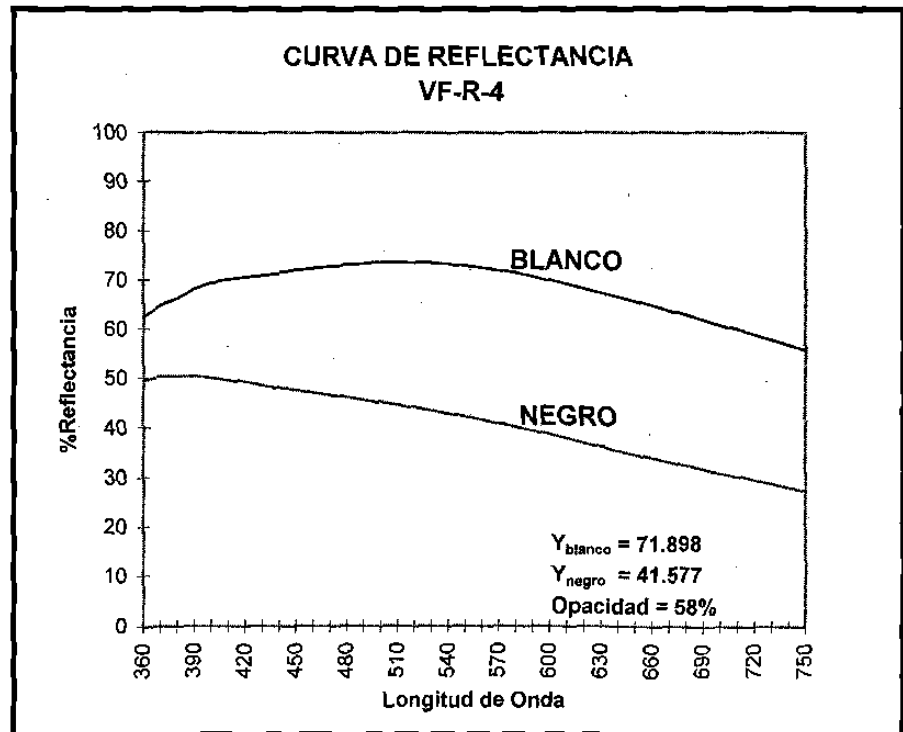


Figura B.4 %Reflectancia vs Longitud de onda (VF-R-4)

λ (nm)	R	R
360	77.321	73.758
370	78.800	75.043
380	79.175	74.897
390	81.630	76.217
400	82.500	76.194
410	82.593	75.688
420	82.597	75.058
430	82.762	74.554
440	82.898	74.050
450	83.322	73.654
460	83.789	73.286
470	84.101	72.903
480	84.247	72.374
490	84.397	71.861
500	84.572	71.346
510	84.809	70.902
520	84.892	70.343
530	84.943	69.826
540	85.101	69.362
550	85.013	68.784
560	84.912	68.191
570	84.769	67.600
580	84.627	66.977
590	84.453	66.397
600	84.120	65.894
610	83.883	65.070
620	83.639	64.446
630	83.402	63.798
640	83.138	63.196
650	82.971	62.581
660	82.740	61.993
670	82.399	61.341
680	82.143	60.744
690	81.785	60.107
700	81.467	59.511
710	81.128	58.906
720	80.625	58.211
730	80.257	57.614
740	79.730	56.921
750	79.202	56.214

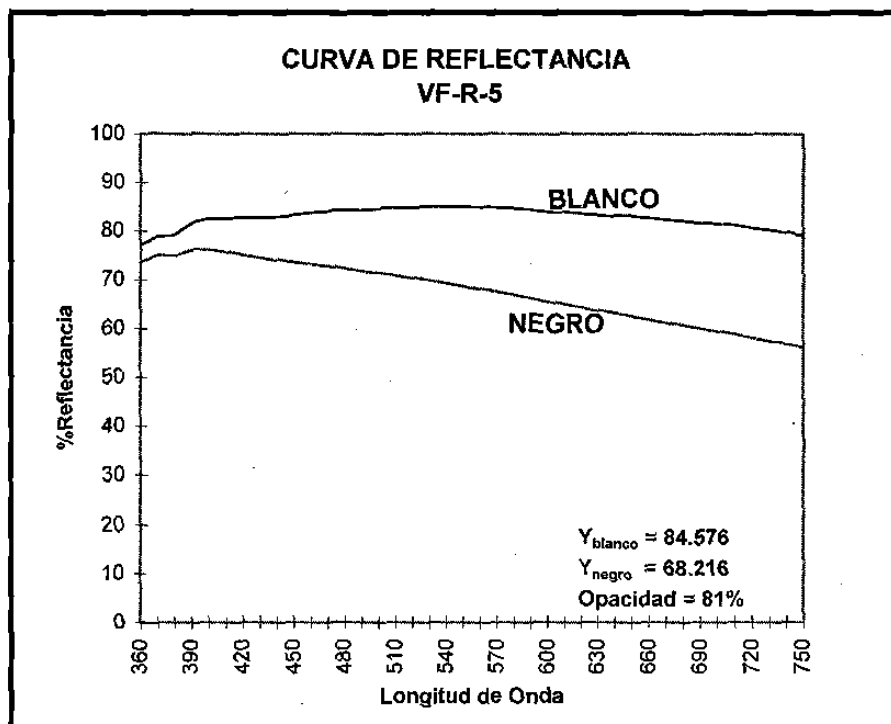


Figura B.5 %Reflectancia vs Longitud de onda (VF-R-5)

λ (nm)	R	R
360	77.788	74.575
370	80.011	76.333
380	80.684	76.367
390	81.821	76.743
400	82.432	76.717
410	82.703	76.303
420	82.810	75.842
430	83.029	75.386
440	83.192	74.931
450	83.556	74.621
460	83.808	74.178
470	84.112	73.797
480	84.342	73.461
490	84.619	73.051
500	84.719	72.590
510	84.815	72.080
520	84.708	71.551
530	84.588	70.994
540	84.406	70.418
550	84.119	69.796
560	83.717	69.117
570	83.250	68.438
580	82.603	67.636
590	81.900	66.835
600	81.092	65.985
610	80.148	65.063
620	79.264	64.214
630	78.304	63.276
640	77.336	62.356
650	76.330	61.444
660	75.213	60.447
670	74.070	59.498
680	72.911	58.520
690	71.638	57.529
700	70.388	56.518
710	69.215	55.525
720	67.903	54.531
730	66.648	53.510
740	65.325	52.462
750	63.963	51.400

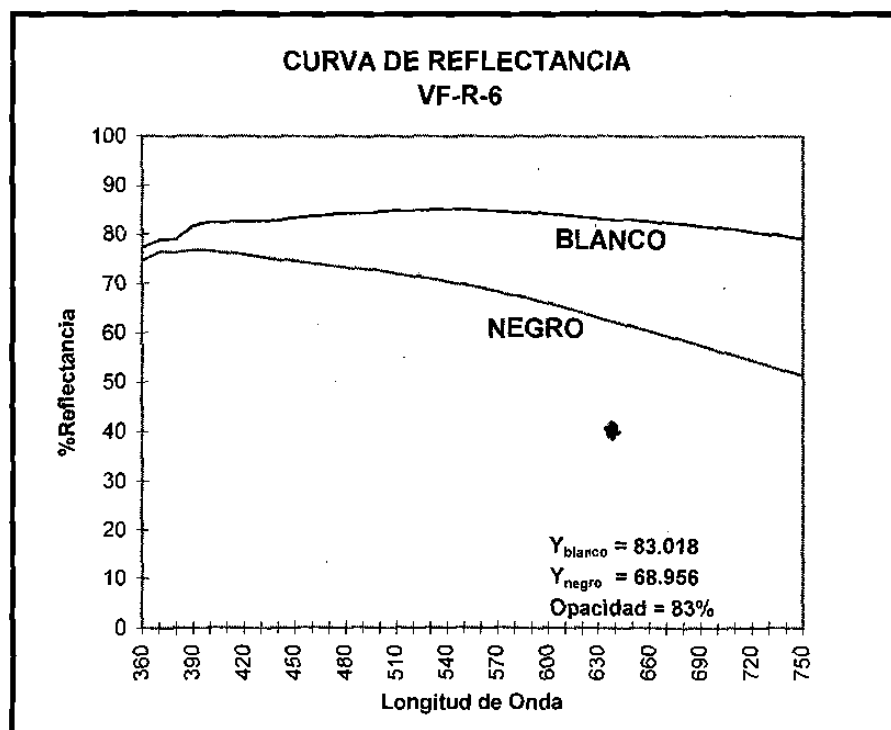


Figura B.6 %Reflectancia vs Longitud de onda (VF-R-6)

λ (nm)	R	R
360	73.991	70.865
370	76.118	72.462
380	77.128	72.616
390	78.555	73.026
400	79.517	73.100
410	79.841	72.720
420	80.146	72.276
430	80.541	71.929
440	80.947	71.583
450	81.520	71.387
460	81.910	71.059
470	82.353	70.839
480	82.706	70.573
490	82.945	70.187
500	83.253	69.897
510	83.482	69.592
520	83.538	69.229
530	83.513	68.830
540	83.519	68.485
550	83.343	68.037
560	83.118	67.558
570	82.780	67.073
580	82.306	66.496
590	81.732	65.925
600	81.058	65.271
610	80.310	64.620
620	79.560	63.937
630	78.673	63.218
640	77.907	62.590
650	77.012	61.852
660	76.069	61.138
670	75.047	60.378
680	74.047	59.649
690	72.942	58.839
700	71.884	58.085
710	70.807	57.312
720	69.673	56.482
730	68.569	55.693
740	67.396	54.855
750	66.201	53.997

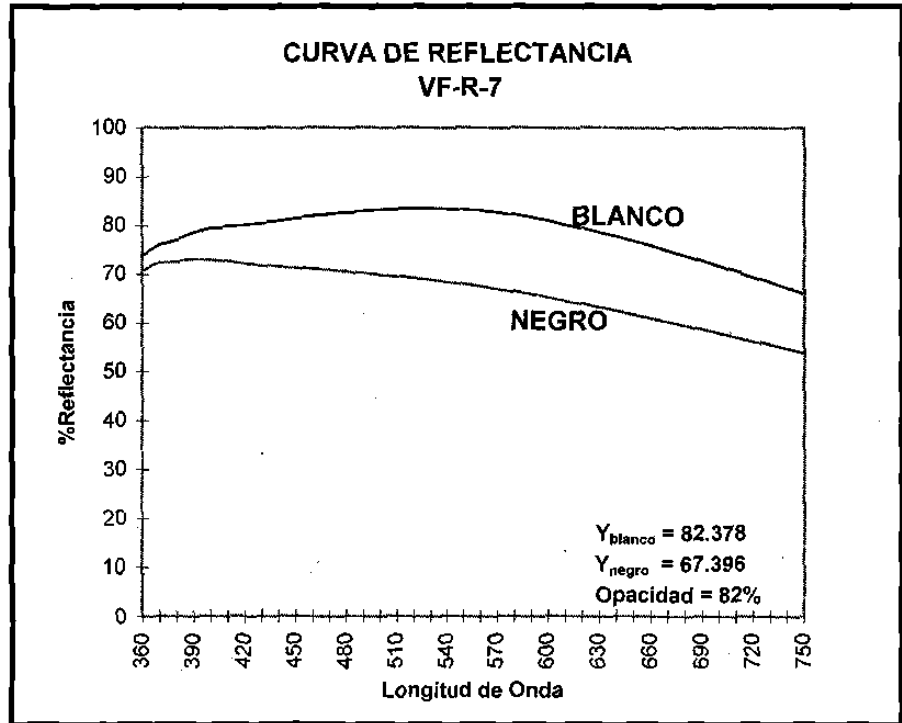


Figura B.7 %Reflectancia vs Longitud de onda (VF-R-7)

λ (nm)	R	R
360	64.472	55.299
370	66.307	56.200
380	67.237	55.650
390	70.694	56.510
400	71.441	56.496
410	72.760	55.753
420	73.183	55.022
430	73.778	54.424
440	74.212	53.729
450	75.066	53.329
460	75.801	52.845
470	76.232	52.328
480	76.483	51.671
490	76.755	51.072
500	76.989	50.429
510	77.193	49.845
520	77.168	49.239
530	77.134	48.619
540	77.098	48.005
550	76.962	47.347
560	76.678	46.646
570	76.413	45.991
580	76.081	45.304
590	75.693	44.640
600	75.253	43.903
610	74.845	43.220
620	74.394	42.528
630	73.886	41.765
640	73.484	41.103
650	73.016	40.437
660	72.507	39.754
670	71.958	39.071
680	71.411	38.442
690	70.847	37.739
700	70.282	37.102
710	69.781	36.511
720	69.169	35.789
730	68.593	35.219
740	67.953	34.509
750	67.237	33.873

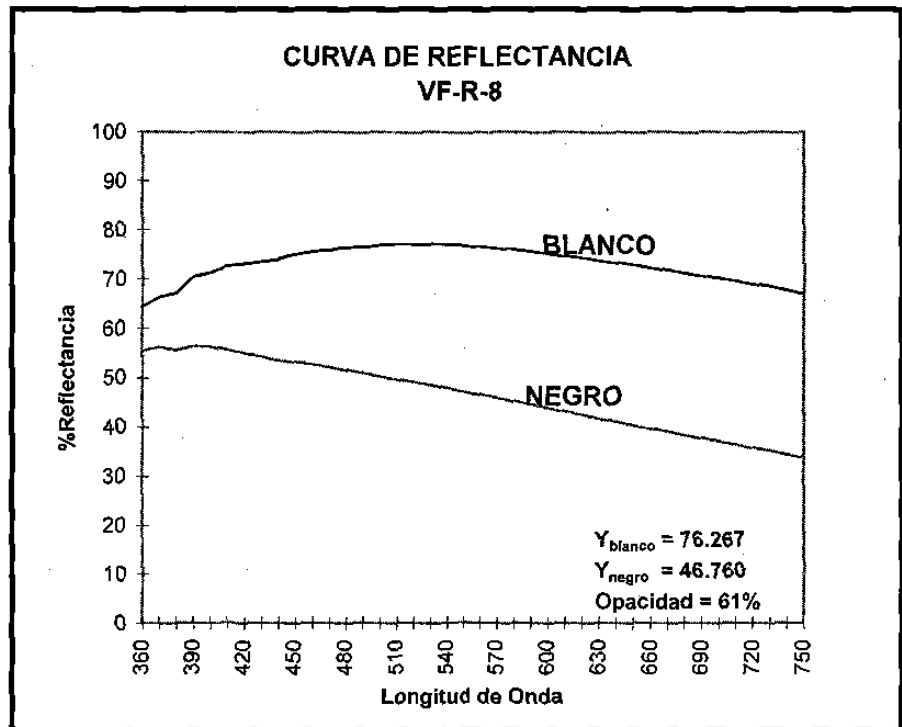


Figura B.8 %Reflectancia vs Longitud de onda (VF-R-8)

λ (nm)	R	R
360	57.506	46.253
370	59.712	47.221
380	60.783	46.532
390	63.716	46.713
400	65.188	46.074
410	65.641	45.130
420	65.867	43.873
430	66.102	42.656
440	66.326	41.428
450	66.760	40.368
460	67.087	39.240
470	67.243	38.264
480	67.221	36.956
490	67.232	35.799
500	67.248	34.661
510	67.287	33.619
520	67.223	32.586
530	67.134	31.533
540	67.111	30.569
550	66.960	29.597
560	66.778	28.643
570	66.579	27.725
580	66.393	26.863
590	66.250	26.029
600	66.031	25.182
610	65.862	24.460
620	65.732	23.749
630	65.631	23.067
640	65.569	22.454
650	65.525	21.879
660	65.484	21.348
670	65.367	20.843
680	65.349	20.400
690	65.282	19.994
700	65.260	19.639
710	65.303	19.284
720	65.208	18.953
730	65.233	18.673
740	65.141	18.356
750	65.030	18.068

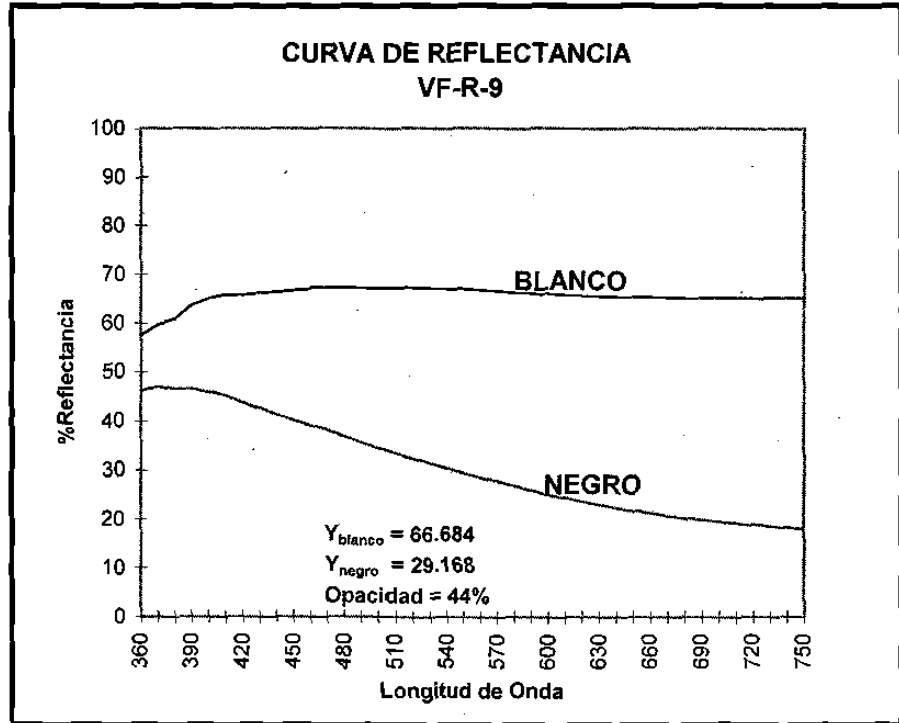


Figura B.9 %Reflectancia vs Longitud de onda (VF-R-9)

λ (nm)	R	R
360	60.067	51.871
370	62.402	53.130
380	63.336	52.720
390	67.335	53.944
400	69.378	53.960
410	69.774	53.196
420	70.122	52.278
430	70.597	51.446
440	70.790	50.481
450	71.508	49.777
460	72.059	49.028
470	72.312	48.183
480	72.425	47.227
490	72.465	46.255
500	72.504	45.295
510	72.507	44.365
520	72.510	43.420
530	72.345	42.405
540	72.230	41.447
550	72.019	40.490
560	71.713	39.467
570	71.458	38.522
580	71.102	37.522
590	70.721	36.524
600	70.340	35.530
610	69.986	34.609
620	69.577	33.669
630	69.223	32.794
640	68.955	31.948
650	68.644	31.139
660	68.323	30.334
670	67.996	29.573
680	67.738	28.861
690	67.440	28.192
700	67.154	27.525
710	66.913	26.906
720	66.640	26.297
730	66.430	25.713
740	66.124	25.125
750	65.759	24.515

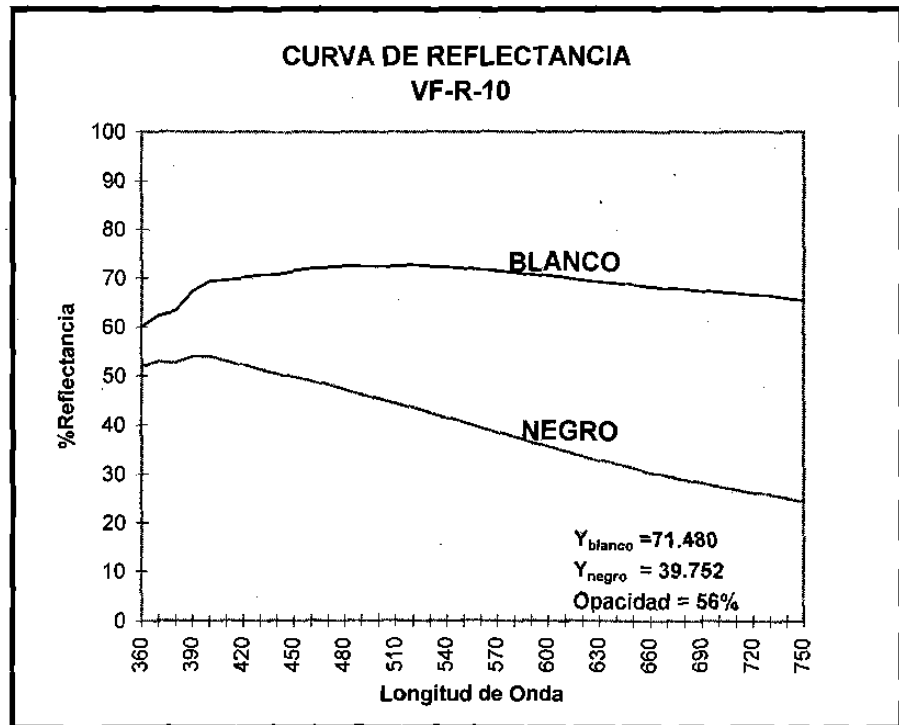


Figura B.10 %Reflectancia vs Longitud de onda (VF-R-10)

λ (nm)	R	R
360	53.651	38.225
370	56.115	38.889
380	57.379	37.846
390	60.219	37.742
400	61.713	37.009
410	62.123	35.818
420	62.448	34.601
430	62.743	33.374
440	62.971	32.260
450	63.445	31.180
460	63.765	30.145
470	63.957	29.213
480	64.129	28.157
490	64.249	27.302
500	64.366	26.359
510	64.531	25.470
520	64.573	24.657
530	64.665	23.933
540	64.733	23.229
550	64.784	22.511
560	64.789	21.891
570	64.808	21.230
580	64.771	20.676
590	64.765	20.101
600	64.753	19.550
610	64.671	19.065
620	64.739	18.628
630	64.740	18.218
640	64.811	17.841
650	64.855	17.535
660	64.847	17.227
670	64.875	16.947
680	64.919	16.692
690	64.924	16.470
700	64.915	16.294
710	64.937	16.125
720	64.919	15.965
730	64.879	15.819
740	64.809	15.672
750	64.683	15.503

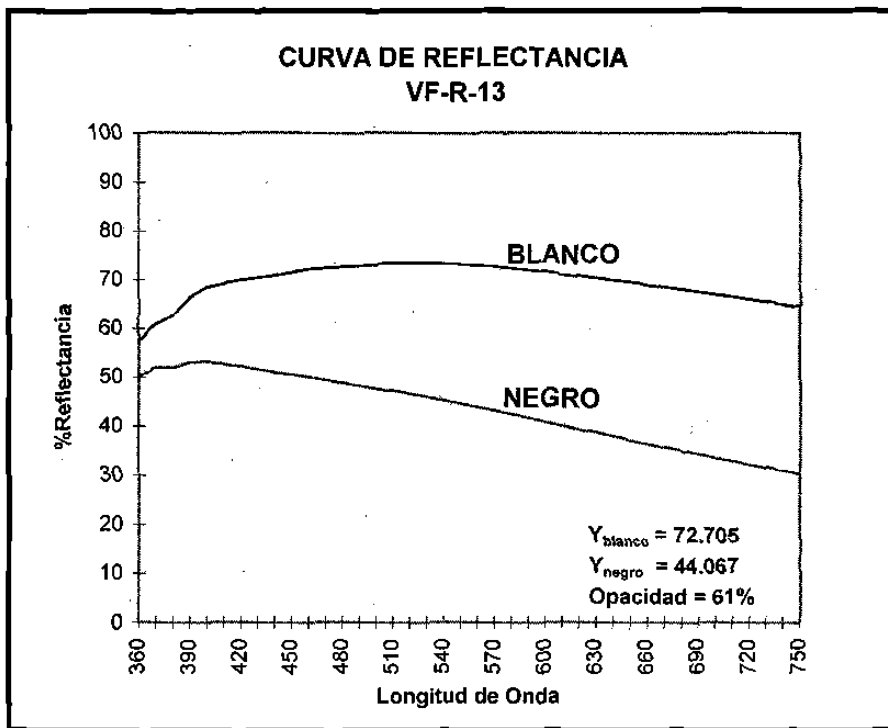


Figura B.11 %Reflectancia vs Longitud de onda (VF-R-11)

λ (nm)	R	R
360	50.835	40.778
370	53.968	42.349
380	55.828	42.016
390	58.705	42.252
400	60.208	41.757
410	60.913	40.892
420	61.256	39.776
430	61.516	38.634
440	61.717	37.522
450	62.083	36.538
460	62.410	35.577
470	62.545	34.590
480	62.609	33.505
490	62.612	32.578
500	62.667	31.624
510	62.776	30.800
520	62.746	29.905
530	62.733	29.065
540	62.752	28.270
550	62.723	27.514
560	62.632	26.771
570	62.652	26.131
580	62.494	25.423
590	62.397	24.774
600	62.282	24.106
610	62.106	23.566
620	61.968	22.986
630	61.855	22.469
640	61.787	21.959
650	61.717	21.512
660	61.633	21.079
670	61.513	20.716
680	61.415	20.363
690	61.318	20.048
700	61.217	19.727
710	61.092	19.470
720	60.977	19.187
730	60.832	18.935
740	60.648	18.675
750	60.627	18.413

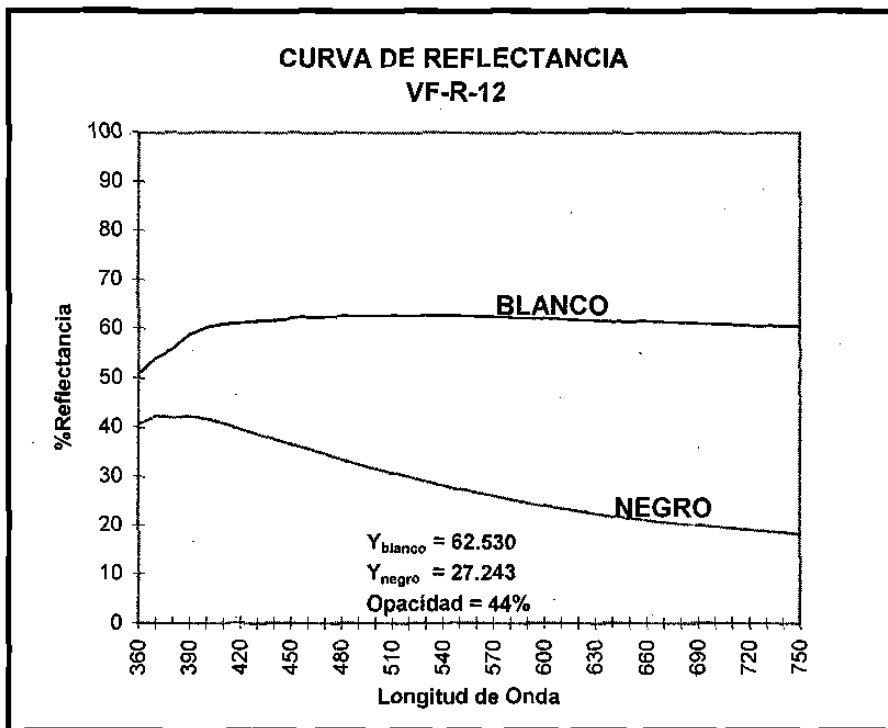


Figura B.12 %Reflectancia vs Longitud de onda (VF-R-12)

λ (nm)	R	R
360	57.507	50.152
370	60.689	51.874
380	62.535	51.826
390	66.314	52.963
400	68.426	53.110
410	69.184	52.706
420	69.793	52.063
430	70.339	51.490
440	70.780	50.884
450	71.489	50.479
460	72.167	50.060
470	72.521	49.503
480	72.758	48.942
490	72.969	48.330
500	73.218	47.764
510	73.406	47.198
520	73.416	46.576
530	73.455	46.000
540	73.446	45.374
550	73.319	44.725
560	73.134	44.027
570	72.975	43.371
580	72.632	42.642
590	72.278	41.917
600	71.899	41.151
610	71.411	40.379
620	70.981	39.628
630	70.507	38.862
640	70.076	38.113
650	69.652	37.380
660	69.205	36.654
670	68.704	35.914
680	68.238	35.207
690	67.745	34.544
700	67.253	33.834
710	66.746	33.141
720	66.221	32.459
730	65.727	31.761
740	65.182	31.075
750	64.584	30.372

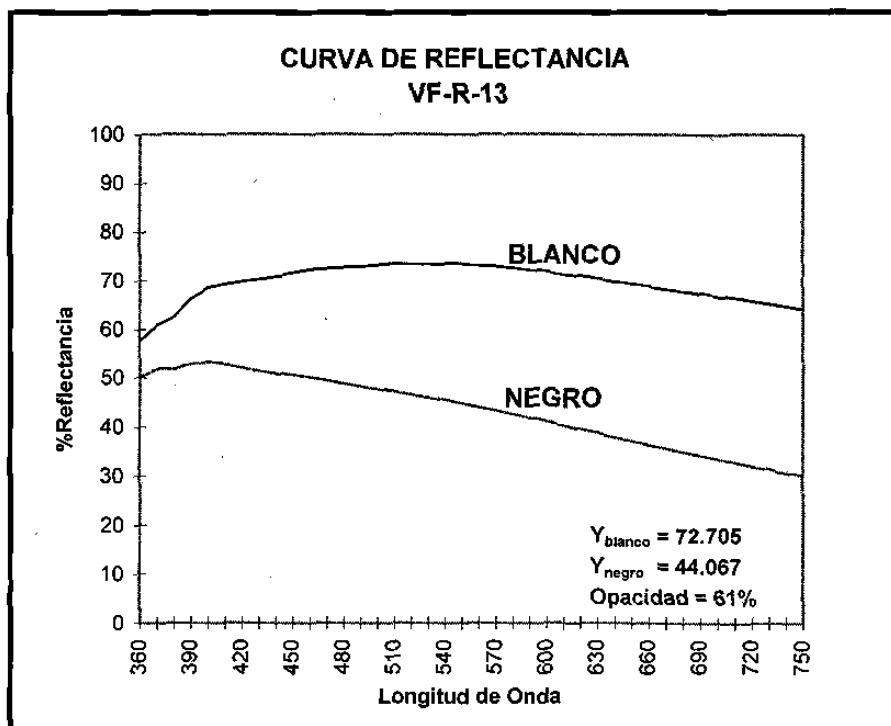


Figura B.13 %Reflectancia vs Longitud de onda (VF-R-13)

λ (nm)	R	R
360	78.232	74.771
370	80.430	76.506
380	80.987	76.486
390	82.235	76.892
400	82.899	76.797
410	83.122	76.491
420	83.259	76.058
430	83.504	75.677
440	83.705	75.260
450	84.034	74.961
460	84.389	74.667
470	84.681	74.271
480	84.956	73.941
490	85.117	73.556
500	85.355	73.205
510	85.548	72.850
520	85.560	72.404
530	85.528	72.008
540	85.463	71.562
550	85.249	71.053
560	84.963	70.477
570	84.705	70.017
580	84.224	69.383
590	83.697	68.787
600	83.069	68.075
610	82.323	67.383
620	81.620	66.664
630	80.840	65.919
640	80.059	65.186
650	79.277	64.461
660	78.383	63.690
670	77.450	62.892
680	76.477	62.120
690	75.418	61.273
700	74.400	60.458
710	73.313	59.628
720	72.195	58.733
730	71.066	57.897
740	69.888	56.980
750	68.645	56.049

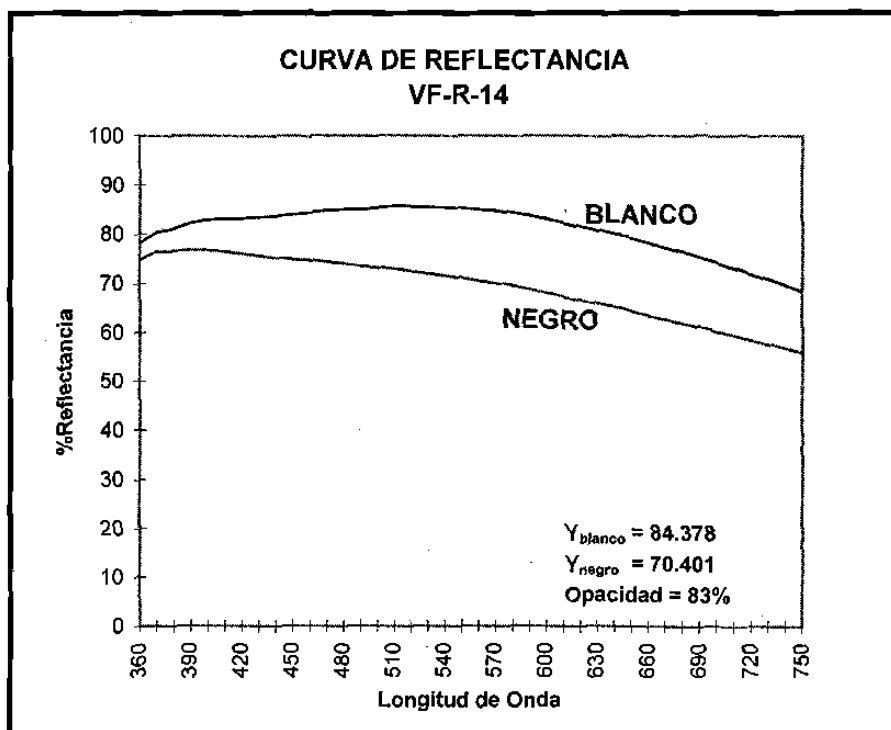


Figura B.14 %Reflectancia vs Longitud de onda (VF-R-14)

λ (nm)	R	R
360	62.619	50.298
370	65.013	51.224
380	66.350	50.989
390	69.788	51.530
400	71.530	51.365
410	71.858	50.497
420	72.146	49.535
430	72.477	48.579
440	72.666	47.623
450	73.228	46.832
460	73.526	46.875
470	73.663	44.998
480	73.625	43.963
490	73.523	42.891
500	73.471	41.855
510	73.368	40.870
520	73.153	39.812
530	72.856	38.792
540	72.651	37.775
550	72.312	36.768
560	71.926	35.729
570	71.544	34.754
580	71.087	33.712
590	70.609	32.723
600	70.205	31.703
610	69.785	30.799
620	69.395	29.865
630	69.008	28.945
640	68.774	28.169
650	68.477	27.346
660	68.219	26.595
670	67.940	25.875
680	67.744	25.198
690	67.547	24.582
700	67.374	23.963
710	67.190	23.403
720	67.016	22.856
730	66.881	22.330
740	66.702	21.837
750	66.488	21.313

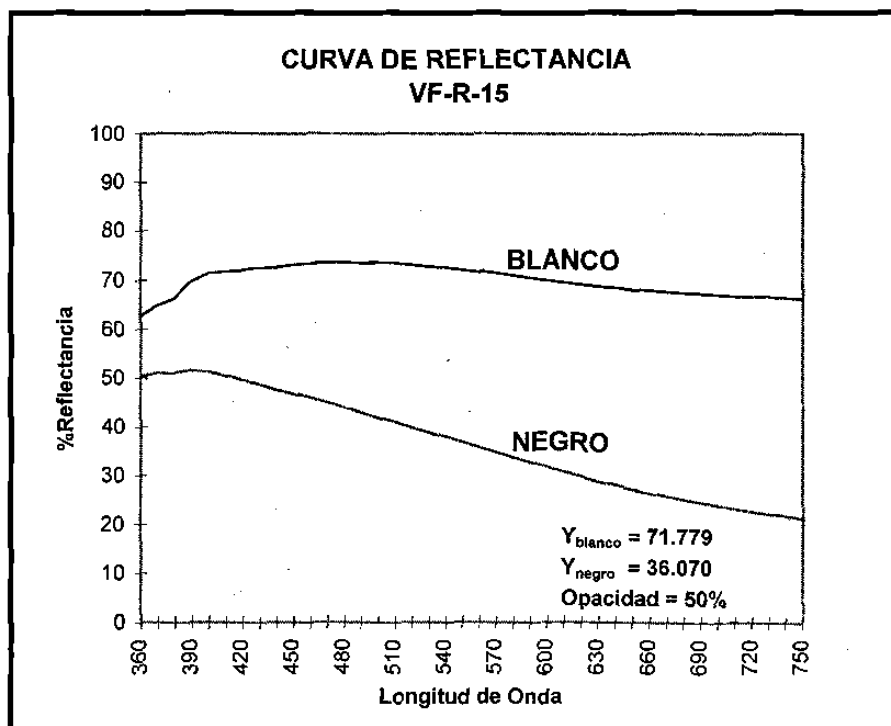


Figura B.15 %Reflectancia vs Longitud de onda (VF-R-15)

λ (nm)	R	R
360	76.747	73.546
370	78.631	75.045
380	79.019	74.814
390	81.667	76.302
400	82.992	76.552
410	83.019	75.966
420	83.109	75.444
430	83.340	74.939
440	83.445	74.304
450	83.965	74.001
460	84.483	73.647
470	84.785	73.175
480	84.933	72.630
490	85.100	72.056
500	85.245	71.465
510	85.436	70.940
520	85.559	70.414
530	85.530	69.775
540	85.613	69.205
550	85.552	68.543
560	85.381	67.825
570	85.257	67.170
580	85.012	66.451
590	84.725	65.704
600	84.433	64.902
610	84.164	64.181
620	83.832	63.407
630	83.519	62.639
640	83.293	61.946
650	82.982	61.195
660	82.681	60.463
670	82.301	59.689
680	81.993	58.931
690	81.568	58.193
700	81.129	57.439
710	80.721	56.756
720	80.225	55.935
730	79.828	55.259
740	79.231	54.395
750	78.614	53.562

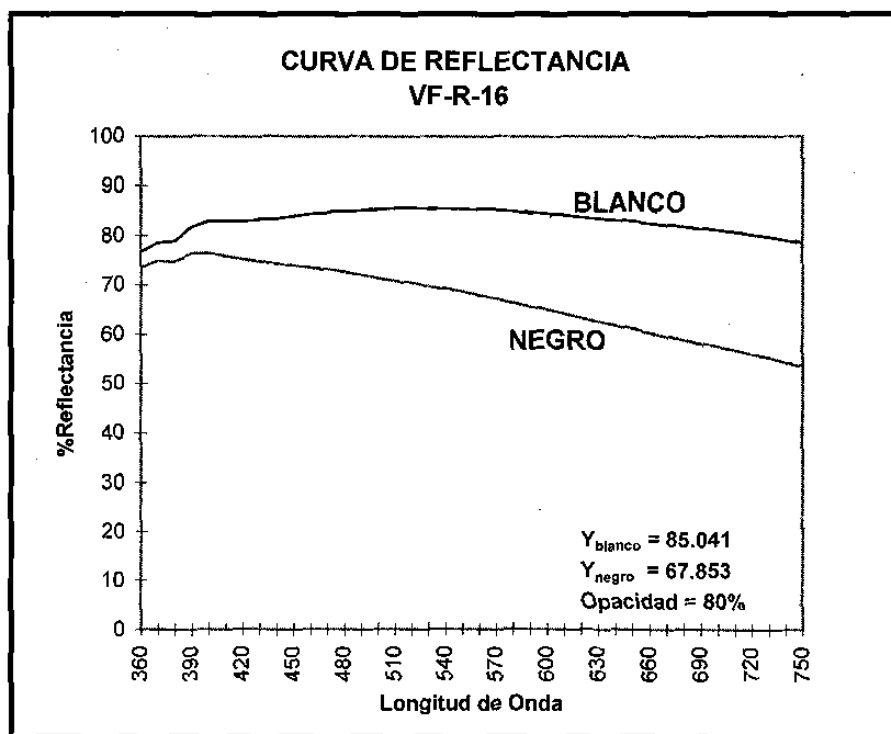


Figura B.16 %Reflectancia vs Longitud de onda (VF-R-16)

