

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**COMPORTAMIENTO DEL GRADO DE DEGRADACIÓN DEL  
COLOR NEGRO EN GABARDINA 100% ALGODÓN DEBIDO A  
UN LAVADO INDUSTRIAL UTILIZANDO VARIABLES  
COLORIMÉTRICAS**

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JOSÉ ALFREDO RUÍZ FERNÁNDEZ**

ASESORADO POR: ING. OSCAR PÁEZ LÓPEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA NOVIEMBRE DE 2003



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**COMPORTAMIENTO DEL GRADO DE DEGRADACIÓN  
DEL COLOR NEGRO EN GABARDINA 100% ALGODÓN  
DEBIDO A UN LAVADO INDUSTRIAL UTILIZANDO  
VARIABLES COLORIMÉTRICAS**

**JOSÉ ALFREDO RUÍZ FERNÁNDEZ**

ASESORADO POR ING. ÓSCAR PÁEZ LÓPEZ

**GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2003**

# UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

## FACULTAD DE INGENIERÍA



### NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I:	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II:	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III:	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV:	Bachiller Kenneth Issur Estrada Ruíz
VOCAL V:	Bachiller Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO:	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

### TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR:	Ing. José Manuel Tai Ordoxón
EXAMINADOR:	Ing. Julio Enrique Chávez Montúfar
EXAMINADOR:	Ing. Estuardo Monroy Benítez
SECRETARIO:	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **COMPORTAMIENTO DEL GRADO DE DEGRADACIÓN DEL COLOR NEGRO EN GABARDINA 100% ALGODÓN DEBIDO A UN LAVADO INDUSTRIAL UTILIZANDO VARIABLES COLORIMÉTRICAS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 2 de mayo de 2003

**José Alfredo Ruíz Fernández**



A MIS ABUELITAS nunca voy a olvidar el primer impulso que me diste, apoyándome en mi primer semestre de estudio. Reyna y Dora las quiero con todo mi corazón.

A MIS DIFUNTOS Les dedico con apreciable cariño este trabajo de graduación; hubiera querido que estuvieran presentes, abuelo Chepe, tío Coca, tía Fide, tía Cande, tía Estela, Milton, abuelo Toño.

A MIS AMIGOS Ribelino Santos y Karina Mota, que me apoyaron como buenos amigos y a vos Pablo Grijalva que fuiste parte muy importante de este trabajo; lo mismo como Víctor Hugo, Yaslin Castillo, Juan Ramón, Daniel Rivas, Ronald Méndez, Paulo Boj.

A MI FAMILIA DEL SALVADOR La distancia no ha sido una limitante para estar unidos, los quiero mucho.

## **AGRADECIMIENTOS:**

AI ING.OSCAR PÁEZ

Por su valiosa asesoría en el desarrollo de este trabajo de graduación.

AL LABORATORIO  
TEXTIL DE KORAMSA

Gelly Martínez, Flory Coloch, Heber Elí, Douglas Paul, Fidadelfo, Diana, Eduardo, Jhonatan, Christian, Pedro, Franklin, Tranquilino, Julio, Carlos, Maquillas, Juan Luis, Yoni, Ervin, Ewinth, Quenal, Jasson, Mesho, Gustavo, Marlon, Dany, Juan José, Ricardo Sahón; a todos ustedes, muchas gracias. Y también a Sergio Amadeus Amador.

# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	<b>III</b>
<b>LISTADO DE SÍMBOLOS</b>	<b>X</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>XIV</b>
<b>JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO</b>	<b>XIX</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XXII</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>XXIII</b>
<b>HIPÓTESIS DE TRABAJO</b>	<b>XXIV</b>
<b>HIPÓTESIS ESTADÍSTICA</b>	<b>XXIV</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XXV</b>
<b>1 MARCO TEÓRICO</b>	<b>1</b>
1.1 Los elementos del trinomio	1
1.2 El objeto (la materia atributos cromáticos de la materia física del color	5
1.3 El ojo (el observador)	6
1.4 El diagrama de cromaticidad CIE 1931 el triangulo de colores	8
<b>2 METODOLOGÍA</b>	<b>20</b>
2.1 Recursos	20
2.1.1 Humanos	20
2.1.2 Físicos	20



2.2 Equipo	21
2.3 Procedimiento experimental	21
2.3.1 Corte de muestras	21
2.3.2 Elaboración de tubos	22
2.3.3 Calibración del espectrofotómetro gretagmacbeth2180UV	22
2.3.4 Medición de muestras por medio espectrofotómetro	23
2.3.5 Proceso del lavado industrial	23
2.3.6 Proceso de lavado por utilizar para el lavado industrial	24
2.4 Análisis estadístico de datos	25
2.5 Análisis de costeo de fórmulas	27
<b>3 RESULTADOS</b>	<b>28</b>
3.1 Discusión de resultados	34
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>47</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>49</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>51</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1. Cielab tolerancias	13
2. <i>Batch</i> aceptable	14
3. Elipse aceptable	14
4. Elipse aceptabilidad y bloques de tolerancias cielab DL, DC y DH	15
5. Cielab bloque de tolerancias	16
6. Cielab DE tolerancias	17
7. Frecuencias y componentes de onda para varios colores	19
8. Proceso de lavado estándar con variación de tiempo de abrasión y adición de coadyuvantes requeridos	24
9. Resultados correlacionados de DE en relación con el tiempo de abrasión, por medio del método CIELAB y evaluados respecto a UCL/LCL	29
10. Resultados correlacionados de DL en relación con el tiempo de abrasión, por medio del método CIELAB y evaluados respecto a UCL/LCL	29
11. Resultados correlacionados de DA en relación con el tiempo de abrasión, por medio del método CIELAB y evaluados respecto a UCL/LCL	30
12. Resultados correlacionados de DB en relación con el	

tiempo de abrasión, por medio del método CIELAB y evaluados respecto a UCL/LCL	30
13. Resultados correlacionados de DEcmc en relación con el tiempo de abrasión, por medio del método CMC 2:1 y evaluados respecto a UCL/LCL	31
14. Resultados correlacionados de DLcmc en relación con el tiempo de abrasión, por medio del método CMC 2:1 y evaluados respecto a UCL/LCL	31
15. Resultados correlacionados de DCcmc en relación con el tiempo de abrasión, por medio del método CMC 2:1 y evaluados respecto a UCL/LCL	32
16. Resultados correlacionados de DHcmc en relación con el tiempo de abrasión, por medio del método CMC 2:1 y evaluados respecto a UCL/LCL	32
17. Resultados de DE por el método CIELAB ploteados vs. el código de lectura, con respecto a UCL/LCL	73
18. Resultados de DL por el método CIELAB ploteados vs. el código de lectura, respecto a UCL/LCL	73
19. Resultados de DA por el método CIELAB ploteados vs. el código de lectura, respecto a UCL/LCL	74
20. Resultados de DB por el método CIELAB ploteados vs. el código de lectura, respecto a UCL/LCL	74
21. Resultados de DEcmc por el método CMC 2:1 ploteados vs. el código de lectura, respecto a UCL/LCL	75
22. Resultados de DLcmc por el método CMC 2:1 ploteados vs. el código de lectura, respecto a UCL/LCL	75
23. Resultados de DEcmc por el método CMC 2:1 ploteados	

vs. el código de lectura, respecto a UCL/LCL	76
24. Resultados de DHcmc por el método CMC 2:1 ploteados vs. el código de lectura, respecto a UCL/LCL	76
25. Resultados correlacionados del costo respecto a DE, por el método CIELAB establecido como secuencia 1	77
26. Resultados correlacionados del costo respecto a DE, por el método CIELAB establecido como secuencia 2	77
27. Resultados correlacionados del costo respecto a DL, por el método CIELAB establecido como secuencia 1	78
28. Resultados correlacionados del costo respecto a DL, por el método CIELAB establecido como secuencia 2	78
29. Resultados correlacionados del costo respecto a DA, por el método CIELAB establecido como secuencia 1	79
30. Resultados correlacionados del costo respecto a DB, por el método CIELAB establecido como secuencia 1	79
31. Resultados correlacionados del costo respecto a DB, por el método CIELAB establecido como secuencia 2	80
32. Resultados correlacionados del costo respecto a DEcmc, por el método CMC 2:1 establecido como secuencia 1	80
33. Resultados correlacionados del costo respecto a DEcmc, por el método CMC 2:1 establecido como secuencia 2	81
34. Resultados correlacionados del costo respecto a DLcmc, por el método CMC 2:1 establecido como secuencia 1	81
35. Resultados correlacionados del costo respecto a DLcmc, por el método CMC 2:1 establecido como secuencia 2	82
36. Resultados correlacionados del costo respecto a DHcmc, por el método CMC 2:1 establecido como secuencia 1	82
37. Resultados correlacionados del costo respecto a DCcmc,	

por el método CMC 2:1 establecido como secuencia 1	83
38. Resultados correlacionados del costo respecto a DCcmc, por el método CMC 2:1 establecido como secuencia 2	83
39. Resultados correlacionados del costo, respecto al tiempo de proceso de abrasión	84
40. Resultados correlacionados del DEcmc vs. DE ideal, comparado con los datos reales de DEcmc vs. DE	85
41. Resultados correlacionados del DLcmc vs. DL ideal, comparado con los datos reales de DLcmc vs. DL	86
42. Resultados originales graficados en un plano tridimensional, de acuerdo con DL vs. DA vs. DB	87
43. Resultados originales graficados en un plano Tridimensional, de acuerdo con DE vs. DA vs. DB	88
44. Resultados originales graficados en un plano tridimensional, de acuerdo con el COSTO vs. DA vs. DB	88
45. Resultados originales graficados en un plano tridimensional de acuerdo con el TIEMPO vs. DA vs. DB	89
46. Resultados originales graficados en un plano tridimensional, de acuerdo con DLcmc vs. DCcmc vs. DHcmc	89
47. Resultados originales graficados en un plano tridimensional, de acuerdo con DEcmc vs. DCcmc vs. DHcmc	90
48. Resultados originales graficados en un plano tridimensional, de acuerdo con COSTO vs. DCcmc vs. DHcmc	90
49. Resultados originales graficados en un plano tridimensional, de acuerdo con TIEMPO vs. DCcmc vs.	

DHcmc	91
50. Resultados correlacionados graficados en un plano tridimensional, de acuerdo con DL vs. DA vs. DB	92
51. Resultados correlacionados graficados en un plano tridimensional, de acuerdo con DE vs. DA vs. DB	93
52. Resultados correlacionados graficados en un plano tridimensional, de acuerdo con el COSTO vs. DA vs. DB	93
53. Resultados correlacionados graficados en un plano tridimensional, de acuerdo con el TIEMPO vs. DA vs. DB	94
54. Resultados correlacionados graficados en un plano tridimensional, de acuerdo con DLcmc vs. DCcmc vs. DHcmc	94
55. Resultados correlacionados graficados en un plano tridimensional, de acuerdo con DEcmc vs. DCcmc vs. DHcmc	95
56. Resultados correlacionados graficados en un plano tridimensional, de acuerdo con el COSTO vs. DCcmc vs. DHcmc	95
57. Resultados correlacionados graficados en un plano tridimensional, de acuerdo con el TIEMPO vs. DCcmc vs. DHcmc	96

## TABLAS

I. Cálculo de productos y sumas para análisis de regresión de tres variables	55
II. Verificación de resultados paso 2	56
III. Resumen de cálculos de variables paso 3	56
IV. Fórmulas utilizadas en el paso 3	57
V. Resultados de datos calculados del límite superior y límite inferior de los datos obtenidos por el método CIELAB	62
VI. Resultados de datos calculados del límite superior y límite inferior de los datos obtenidos, por el método CMC2:1	63
VII. Variables colorimétricas a un tiempo de 30 min de proceso de abrasión que fueron obtenidas por el método CIELAB y de los resultados estadísticos UCL/LCL	64
VIII. Variables colorimétricas a un tiempo de 30 min de proceso de abrasión que fueron obtenidas, por el método CMC 2:1 y de los resultados estadísticos UCL/LCL	65
IX. Análisis anova DE <sub>cmc</sub> vs. DE/ DL <sub>cmc</sub> vs. DL CIELAB, a diferentes tiempos de 0 min a 100 min	66
X. Variables espectrofotométricas vs. tiempo / CIELAB	67

XI. Variables espectrofotométricas vs. tiempo / CMC 2:1	67
XII. Costo (\$unidad) vs. variables espectrofotométricas / CIELAB	68
XIII. Costo (\$unidad) vs. variables espectrofotométricas / CMC 2:1	69
XIV. Ecuaciones correlacionadas de los gráficos DL vs. DA vs. DB / DE vs. DA vs. DB / costo vs. DA vs. DB/tiempo vs. DA vs. DB	70
XV. Ecuaciones correlacionadas de los gráficos DLcmc vs. DCcmc vs. DHcmc / DEcmc vs. DCcmc vs. DHcmc / costo vs. DCcmc vs. DH/tiempo vs. DC vs. DH	70
XVI. Variables espectrofotométricas promedios, a diferentes tiempos de proceso de abrasión y costos por fórmula, al variar el tiempo de proceso todo evaluado por medio del método CIELAB	71
XVII. Variables espectrofotométricas promedios a diferentes tiempos de proceso de abrasión y costos por fórmula, al variar el tiempo de proceso todo evaluado por medio del método CMC 2:1	72



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>A</b>	Se refiere a una luz incandescente proveniente de una luz de tungsteno
alfa	Nivel de significancia estadística
$\Sigma$	Sumatoria de datos
<b>B(b)</b>	Cromaticidad amarillo-azul
<b>CT</b>	Representa la variable costo
<b>Chroma (C)</b>	Saturación o pureza. Permite, en la sensación visual, realizar una estimación de la proporción de color cromáticamente puro (monocromático), contenido en la sensación visual total. A nivel psicosensoial, la saturación define subjetivamente el carácter más o menos coloreado de una fuente luminosa o de la superficie de un objeto por oposición al blanco (acromático), desprovisto por definición de cualquier tono propio
<b>CIE</b>	Por sus siglas en Francés, <i>Commission Internationale de l'Eclairage</i> , lo cual significa Comisión Internacional de la iluminación

<b>CIELAB</b>	Es el método internacional instituido por la comisión internacional de la iluminación; la única organización internacional de recomendación y normalización para la iluminación, el color y la colorimetría, creada en 1913
<b>CMC 2:1</b>	Se le conoce por un sistema modificado, a partir del método de CIELAB, sobre la base de elipsoides de aceptabilidad con distribución en el plano cromático y el eje e claridad
<b>CWF</b>	Se refiere al iluminante, que tiene una similar energía espectral relativa a una luz fluorescente color blanca fría
<b>DA</b>	Representa el delta o variación del componente cromático rojo-verde
<b>DB</b>	Representa el delta o variación del componente cromático amarillo-azul
<b>DCcmc (DC)</b>	Representa el delta o variación del croma o la saturación
<b>DE</b>	Literalmente representa la diferencia de sensación de color; otro concepto con el cual se puede encontrar es como la diferencia de color calculado entre dos pares, de muestras usando una particular fórmula de la diferencia de color y se define como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de DL, Da, Db

<b>DEcmc</b>	Literalmente representa la diferencia de sensación de color; otro concepto con el cual se puede encontrar es como la diferencia de color calculado entre dos pares de muestras, con el uso de una particular formula de diferencia de color, y se define como la raíz cuadrada de suma de los cuadrados de DLcmc, DCcmc, DHcmc
<b>DHcmc(DH)</b>	Representa el delta o variación del ángulo de tono o la tonalidad cromática
<b>DLcmc (DL)</b>	Representa el delta o variación de la claridad
<b>D65</b>	Es el iluminante que tiene una energía espectral que se acerca a la temperatura de un cuerpo negro a 6,500 K. Se define también como el iluminante, que tiene una similar energía espectral relativa a la luz de día de un cielo norte, el cual está de acuerdo con una importante especificación de color en el norte de Europa
<b>Hue (h)</b>	Representa el ángulo de tono o la tonalidad cromática. Es el atributo de la sensación visual, que ha dado lugar a las denominaciones de color como: violeta, azul, verde, amarillo, anaranjado, rojo, púrpura, etc. Es el elemento psicosensoial, que corresponde aproximadamente a la longitud de onda dominante
<b>HZ</b>	Hertz, medida de frecuencia
<b>H<sub>a</sub></b>	Hipótesis alternativa

<b>H<sub>0</sub></b>	Hipótesis nula
<b>i</b>	Variable que denota una secuencia de iteraciones
<b>LCL</b>	Límite inferior de control
<b><math>\mu/x</math></b>	Promedio
<b>m</b>	Metro
<b>min</b>	Minutos
<b>mL</b>	Mililitros
<b>mm</b>	Milímetro
<b>n</b>	Número de datos
<b>nm</b>	Nanómetros
<b>T</b>	Representa la variable tiempo
<b><math>\sigma</math></b>	Desviación estadística
<b>UCL</b>	Límite superior de control
<b>Z</b>	Se dice que esta variable aleatoria tiene una distribución normal estándar
<b>Z<sub>alfa</sub></b>	Se define bajo la curva normal

## GLOSARIO

<b>Abrasión</b>	Es el proceso, por medio del cual se utilizan sustancias comerciales utilizables en forma de arena o polvo, para dar forma, limpiar o pulir superficies. El proceso de abrasión consta con abrasivos, que tienen gran dureza, porosidad, alto punto de fusión y son químicamente inertes y se cuenta con productos químicos, como las enzimas celulasas. Algunos ejemplos de estos abrasivos son la perlita, la piedra pómez, arena sílice y enzima celulasa (1,4) Beta-D-glucano-4-glucano hidrolasa
<b>Batch</b>	Carga de producción
<b>Celulosa</b>	Es un polisacárido formado por unidades de glucosa, las cuales están unidas por enlaces Beta 1,4 glucosídicos
<b>Clic</b>	Presionar una función en el programa <i>Propalette Textiles Silver</i>
<b>Control</b>	Traducción del inglés, control
Cromaticidad	Relativo a los colores, dícese el sistema que procede por semitonos: escala cromática. Aplícase al cristal o instrumento que presenta los objetos contorneados con los colores del arco iris

**Desactivación** Pérdida de la actividad y/o selectividad del catalizador, causada por depósito de sólidos, por envenenamiento por cambios en la estructura del catalizador o soporte, por la temperatura, presión, etc. El proceso de desactivación se denomina por analogía con los biológicos

**Desengome** Es un proceso por medio del cual se eliminan los aprestos a una prenda por medio de un proceso enzimático

**Electromagnéticas** De electromagnetismo. Es la parte de la física que estudia las acciones y reacciones de las corrientes eléctricas sobre los campos magnéticos

**Elipses** Curva plana convexa y cerrada, con dos ejes de simetría, que se cortan perpendicularmente

**Enzima**

**celulasa**

**(E.C.3.2.1.4.(1,4)**

**Beta-D-glucano-4**

**-glucano hidrolasa** Es la sustancia proteínica producida por células vivas, que actúa como catalizador en los procesos de hidrólisis. Es específica para la celulasa.

**Extractado** Es el proceso, por medio del cual se separa el agua excedente de una prenda mojada la cual interesa secar

<b>Filamento</b>	En una bombilla o lámpara, en el hilo metálico conductor que se pone incandescente al pasar la corriente
<b><i>Functions</i></b>	Traducción del inglés funciones
<b>GretagMacbeth</b>	Es la marca registrada de equipo de laboratorio para laboratorios textiles
<b>Incandescencia</b>	Es el estado de excitación de un cuerpo que, a causa de una temperatura elevada, emite luminosidad (Energía radiante)
<b><i>Lightness</i></b>	Claridad. Es el atributo de la sensación visual, según el cual un cuerpo puede transmitir o reflejar una fracción más o menos grande de la luz. A nivel psicosensoial, la claridad define subjetivamente el carácter más o menos claro de la superficie de un objeto
Metamerismo	Está presente cuando dos objetos de curva espectral diferente presentan apariencias coloreadas idénticas, bajo una condición definida de iluminación y de observación, y de apariencias diferentes, cuando cambian las condiciones de iluminación, nivel colorimétrico; el metamerismo se da cuando los valores triestímulos XYZ de los objetos son idénticos bajo un iluminante y diferentes bajo otro iluminante

**Planckiano  
(radiador)**

Se le denomina a una fuente perfectamente difusora denominada cuerpo negro

**Prisma**

Es un cuerpo geométrico limitado por dos polígonos paralelos e iguales, llamados bases, y por tantos paralelogramos como lados tenga cada base. Es un sólido triangular de materia transparente que desvía y descompone los rayos luminosos

***Propalette  
textiles***

***silver***

Programa de computación registrado por GretagMacbeth

***Quality***

Traducción del inglés, calidad

**Radiaciones**

Emisión de ondas, rayos o partículas. Es el elemento de una onda luminosa o electromagnética: radiación infrarroja

***Rinse***

Traducción del inglés, enjuagar. Es un proceso, por medio del cual se elimina el químico residual del proceso anterior a un lavado industrial

**Secado**

Es la separación total o parcial del líquido volátil, que contiene un cuerpo no volátil. Aunque la sustancia que se va a desecar puede ser sólida, líquida o gaseosa y el líquido volátil cualquiera, el caso más corriente es el secado de sólidos, que contiene agua en forma de humedad



<b>Shade</b>	Se le conoce como el cambio de color de claro a oscuro, existente en una tela a lo largo de una distancia específica
<b>Trinomio</b>	Expresión algebraica compuesta de tres términos
<b>Zero</b>	Traducción del inglés, cero. Para el programa <i>Propalette Textiles Silver</i> , significa realizar una medición al ambiente con el espectrofotómetro

## JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Los procesos textiles en Guatemala tienen un alcance limitado, hasta el punto de la fabricación de la tela. Sin embargo, no tienen un enfoque de desarrollo para el cliente final, que son las empresas de manufactura de prendas de vestir. Esto genera un área de gran potencial de investigación en el proceso final del acabado de una prenda, a lo cual se le conoce como lavado industrial.

La maquila, en Centroamérica, ha incrementado su importancia significativamente durante los últimos siete años, con un cuarto de millón de empleos directos; representa entre el 25 y el 30 por ciento del empleo industrial formal, el 20 por ciento sobre el valor agregado de las exportaciones que excluyen la maquila, y alrededor del 10 por ciento del PIB industrial.

No obstante, la maquila es más conocida en la información cotidiana, no por sus éxitos, sino por los problemas de calidad que genera, y está caracterizada por una imagen de industria de enclave, volátil de "falta de mejor opción". El trabajo académico analítico sobre la materia ha sido poco prolífico; debido a lo anteriormente expuesto, el propósito del trabajo de investigación es determinar el comportamiento del grado de degradación del color negro en gabardina 100% algodón, debido a un lavado industrial utilizando variables colorimétricas.

La principal variable, en este estudio, es el tiempo de abrasión del lavado industrial, el cual afecta directamente las variables colorimétricas, que hace que las prendas obtenidas después del lavado industrial se encuentren fuera de los estándares del cliente. Específicamente se desarrollará la descripción de los comportamientos de L vs. tiempo, A vs. tiempo, B vs. tiempo, C vs. tiempo, H

vs. tiempo, DE vs. tiempo, que permita conocer el tiempo necesario para alcanzar un L, a, b, c, h, DE, que la tela necesite, de acuerdo con un estándar lavado establecido por el cliente.

Todo este estudio busca apoyar a la industria de la maquila en Guatemala, que en Centroamérica tiene una valiosa implicación adicional, que se refiere a la "producción de paquete completo". En general, las grandes empresas, en el frente de batalla del mercado, son las que se ocupan de conseguir los diseños, la tela, hacer la operación de corte, enviarla a un contratista disponible, etc. El "paquete completo" en la confección pone en manos de la empresa contratista todos estos detalles, lo que representa algo más que una suma de actividades.

Es necesario saber dónde se encuentra disponible de manera inmediata la tela requerida, sus restricciones de calidad, su precio, los medios para transportarla rápidamente. Todas estas actividades no solamente requieren de alianzas estratégicas bien constituidas, sino de un fuerte dominio de la informática y los contactos internacionales. Para poder enfrentar todo este nuevo proceso de negocio con los clientes en Estados Unidos, es preciso tecnificar los procesos de lavado y crear herramientas de evaluación colorimétrica y de costos, para contribuir con la eficiencia de los procesos de lavado industrial.

Los tiempos de abrasión se utilizarán como una herramienta principal en la definición de los costos del proceso de lavado industrial, y así hacer eficiente el costeo de un producto para producción, y proyectar costos y precios de acuerdo con lo que el cliente requiere. Actualmente se costea sobre la base de costos de los insumos y tiempo total de proceso, sin embargo los ajustes posteriores a la fórmula de lavado no se incluyen al costo inicial proyectado, mucho menos lo que el cliente requiera, en el transcurso del

establecimiento del estándar de lavado, de tal forma que si el cliente quiere un cambio en especial en la fórmula, con este estudio se llegará a describir el comportamiento del costo, respecto a la variación en las variables colorimétricas que se están evaluando.

Como es bien sabido, los procesos de maquila en Guatemala son una fuente de trabajo para miles de personas, y de acuerdo con la globalización de los mercados se tiene una gran competencia con México, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica, y el Oriente Medio, China, Tai Wan, por lo cual se debe de especializar en poder optimizar los procesos de producción, tanto en la confección, como en los lavados industriales, para establecer sistemas de mercadeo, para que las empresas maquiladoras de pantalones puedan asegurar clientes importantes, los cuales buscan reducir los tiempos de entrega de producto terminado y buscan empresas capaces de desarrollar lavados industriales con especificaciones colorimétricas definidas (L, a, b, c, h, DE).

## RESUMEN

La evaluación colorimétrica realizada por medio de los métodos de CMC 2:1 y el método CIELAB, en una tela 100% algodón de color negro, mediante la realización de un lavado enzimático, a diferentes tiempos de proceso, con la conservación de la misma relación de químicos en el baño del lavado industrial; el procedimiento utilizado fue el siguiente: se determinó que una tela color negro representa, en un lavado, una de las mayores variaciones de color, respecto a un lavado industrial. Se cortaron las muestras a una dimensión determinada de 15x10 plg, por medio de las cuales se confeccionaron tubos para poder desarrollar el lavado industrial.

Una vez lavadas las muestras, se realizaron las mediciones espectrofotométricas con un espectrofotómetro GRETAG MACBETH, con el cual se realizaron las lecturas de las muestras lavadas por medio de los métodos CMC 2:1 y el método CIELAB, luego se realizaron gráficas de acuerdo con los objetivos generales y específicos, los cuales se plantearon para poder determinar la tendencia matemática, que describa la degradación del color negro respecto al lavado industrial, y se planteó el estudio de las curvas de variación de las variables espectrofotométricas, respecto al tiempo y conjuntamente con la evaluación del impacto del costo, respecto a las variables colorimétricas, con el objetivo principal de crear una herramienta útil para la evaluación del costo, respecto a los requerimientos estándar de un cliente en una lavandería industrial.

## OBJETIVOS

### ◆ General

Determinar la tendencia matemática, que describa la degradación del color negro, de acuerdo con la variación del tiempo de abrasión en un lavado enzimático, descrito por las variables colorimétricas de DE, DL, DA, DB, DC, DH.

### ◆ Específicos

1. Establecimiento de las curvas de variación, de los comportamientos de DL vs. tiempo, DA vs. tiempo, DB vs. tiempo, DC vs. tiempo, DH vs. tiempo, DE vs. tiempo.
2. Establecimiento de la variación del costo en un lavado enzimático industrial, sobre la base de una variación de DE, mediante las mediciones espectrofotométricas con la utilización del método CMC 2:1 y CIELAB.

## **HIPÓTESIS DE TRABAJO**

Las variables colorimétricas DE y DL obtenidas por los métodos CIELAB y CMC 2:1, obtenidas a partir de las lecturas espectrofotométricas de una gabardina 100% algodón color negro, se utilizan indistintivamente del método en un proceso de control de calidad en un lavado industrial, a condiciones controladas de temperatura del baño de lavado pH y la concentración de enzima celulasa, debido a que tienen valores aceptables al comparar cada uno de los resultados.

## **HIPÓTESIS ESTADÍSTICA**

A un tiempo de 30 minutos de proceso de abrasión en un lavado industrial, aplicado a una gabardina 100% algodón color negro, el DE obtenido por los métodos CIELAB y CMC 2:1, que es mayor a 1.00 respecto al promedio de mediciones espectrofotométricas de DE, a diferentes muestras de tela lavadas en el mismo baño y al tiempo anteriormente citado teniendo un estricto control de proceso, con el control de la temperatura del baño de lavado, pH y concentración de enzima celulasa del mismo.

## INTRODUCCIÓN

El método que se va a utilizar en este estudio consiste en el comportamiento de la degradación del color negro en una tela de gabardina 100% algodón, debido a un lavado industrial, que utiliza variables colorimétricas (L, a, b, c, h) a nivel de laboratorio, en relación con el tiempo de proceso de abrasión de un lavado estándar enzimático, que fue diseñado para incluir todos los pasos del proceso de un lavado industrial, que estrictamente son los siguientes: desengomado, mediante el cual se elimina el apresto de la tela; es el *rinse* que se utiliza para limpiar la prenda de residuos del paso anterior, la abrasión paso en el cual se degrada el color y se disminuye la intensidad del mismo, por medio de tres procesos: mecánico-prenda, enzimático y prenda-prenda.

El mecánico-prenda consiste en la abrasión ocasionada por el contacto directo del bombo de una lavadora con la prenda; la abrasión enzimática (enzimas celulasas) consiste en un proceso de catalización de la velocidad de reacción de la reducción de la celulosa en azúcares reductores y la abrasión prenda-prenda, que consiste en la abrasión que se origina por el contacto directo de una prenda con otra; el siguiente paso del lavado es la desactivación de la enzima y se finaliza el lavado con un proceso de suavizado, para obtener el acabado final deseado.

Las muestras se sometieron a diferentes tiempos de abrasión en el proceso de lavado, que fue determinante en la degradación del color, el cual se ha afectado por los químicos utilizados en el lavado, los cuales son los lubricantes, los humectantes, las enzimas celulasas, las enzimas alfa-amilasas, el carbonato



de sodio, el hidróxido de sodio, ácido acético, suavizantes catiónicos y siliconados.

Parte del complemento de este estudio es determinar el costo de la fórmula de lavado, en relación con la variación de DE en la tela en mención al ser analizada

La degradación del color fue evaluado con un espectrofotómetro GRETAG MACBETH 2180CU, con la utilización del método CIELAB y CMC 2:1. (métodos estándar para la medición del color en textiles). Las mediciones de color, con el espectrofotómetro, se realizaron en las muestras antes de lavado y después de haberse sometido a un proceso de lavado enzimático. La variación máxima permitida en lavado industrial en su variable colorimétrica DE es de 0 a 1 en el sistema CMC 2:1.

# 1 MARCO TEÓRICO

## 1.1 Los elementos del trinomio

El color nos rodea y nos condiciona, pero ¿qué es realmente el color? No existe una respuesta sencilla, porque el color no es una realidad física que se encuentra en el cerebro y no en la materia. El color es una interpretación realizada por los cortes, perceptuales procedentes del ojo. Aunque se desconocen algunos detalles de esta interpretación, es muy posible que sea diferente de un individuo a otro.

El cerebro elabora una descripción simbólica de la escena observada, utilizando la información contenida en las señales visuales. No hay imágenes internas, sino asociaciones de símbolos.

De hecho, ese proceso está íntimamente ligado a la educación del cerebro en la primera infancia. Lo único que se ve es materia sin color; la materia sólo tiene la propiedad de reflejar más o menos determinadas radiaciones electromagnéticas, a las cuales el ojo humano es sensible. El espectro de las radiaciones electromagnéticas es muy ancho. Una zona estrecha del espectro total de radiaciones es perceptible por el ser humano; eso es la luz. Al ser el flujo luminoso lo que activa el ojo, constituye el primer elemento de la visión, y el ojo es el segundo.

Un tercer elemento, que modifica la distribución espectral de energía procedente de la fuente luminosa, puede intervenir también el objeto. Por consiguiente existe un trinomio formado por la fuente luminosa, el objeto y el observador.

El sistema de visión del ser humano le permite evaluar rápidamente y de forma permanente el aspecto de los objetos y las fuentes luminosas. A fin de medir el color de los objetos y de los productos que observamos, los tres parámetros del trinomio deben analizarse, el primer parámetro de la fuente luminosa, el segundo el objeto, y el tercero, el observador

### El espectro visible

De acuerdo con la experiencia de Isaac Newton 1666. que permite descomponer la luz en un espectro de distintas luces coloreadas. Newton realiza esta experiencia iluminando un prisma de vidrio y observando que la luz descomponía una banda multicolor idéntica a la distribución coloreada del arco iris; esta descomposición de la luz, en radiaciones coloreadas, pone de manifiesto que la luz blanca es el resultado de la asociación de un gran número de radiaciones coloreadas

Numerosos científicos y en particular Louis de Broglie en 1924 han demostrado que las radiaciones son ondas electromagnéticas, al igual que los rayos X utilizados en la radiografía y las ondas radioeléctricas, por consiguiente, pueden ser definidas por su frecuencia o longitud de onda. El espectro de las radiaciones visibles ocupa una parte muy pequeña del espectro total de las vibraciones electromagnéticas. Se considera generalmente que el espectro visible contiene radiaciones electromagnéticas de longitudes de onda de entre 380 y 780 nm.

La luz amarilla y anaranjada se considera a los 600 nm, lo cual corresponde a una frecuencia de 5,1014 Hz.

## **La luz ( la fuente luminosa)**

La fuente luminosa constituye el primer elemento de trinomio. La luz puede obtenerse de distintos modos. En la colorimetría, se genera luz, que calienta una materia hasta la incandescencia (por ejemplo, el filamento de una lámpara) o excitando átomos o moléculas, por medio de un arco eléctrico o una descarga eléctrica en un gas (lámpara de arco en un gas).

Una fuente perfectamente difusora, denominada cuerpo negro o radiador planckiano, puede servir de referencia o de patrón, para identificar el color de las fuentes luminosas, así como la temperatura equivalente a la del cuerpo negro expresada en grados Kelvin, cuyo aspecto visual es lo más próximo al de la fuente real de luz.

## **Los iluminantes**

En colorimetría instrumental, sabiendo que el color observado depende de condiciones precisas y reproducibles, se procedió a definir condiciones normalizadas de emisión energética de luz, en función de la longitud de onda. Los iluminantes: Su definición ha sido establecida, a partir de las características de distribución espectral de energía luminosa, próximas a las fuentes de luces naturales.

Los principales iluminantes normalizados por la Comisión

Internacional de la Iluminación (CIE) son A, D65, CWF.

## **Interacción de la luz con la materia**

El comportamiento de la luz, que incide sobre los materiales como los revestimientos, los papeles, los textiles, las materias plásticas, los metales, las cerámicas, los productos farmacéuticos y cosméticos, y los productos alimenticios, está influido por un gran número de características químicas y físicas. Los objetos y los materiales son percibidos por el ojo, en función de la manera en que modifican la luz que les ilumina, mientras las fuentes luminosas son visibles en razón de la luz que emiten. Los objetos y los materiales pueden ser de naturaleza diversa, como por ejemplo, una superficie pintada, una hoja de papel, un objeto de materia plástica, una pieza de tela; un vaso de vino o cualquier otro producto.

La materia tiene únicamente la propiedad de reflejar más o menos determinadas radiaciones electromagnéticas, a las cuales el ojo humano es sensible. La luz que ilumina un objeto será modificada por su interacción por la materia de múltiples maneras y en diversas direcciones. El resultado de esa distribución de luz produce la impresión visual (apariencia), que se tiene el producto en cuestión.

Aunque la apariencia de los distintos materiales es la consecuencia de factores muy complejos, el problema puede simplificarse mediante el análisis separado de las características cromáticas del color y las características geométricas: el brillo, la forma, la textura, separando la energía difundida por la materia y el color de la energía especular, brillo. En la separación de estos dos tipos de energía, es posible identificar cada uno de los elementos, eligiendo el aparato de medición mejor adaptado y la técnica de análisis apropiada.

La energía difusa es característica de la materia, de su color y de su composición de absorción selectiva, a determinadas longitudes de onda, la cual da lugar a la percepción del color. De una manera en general, cuando el

fenómeno dominante es la absorción de la luz, los colores resultantes no son muy intensos. Si todas las longitudes de una onda son absorbidas, se percibe el color negro; por el contrario, si todas son difusas en su totalidad 100%, se percibe el color blanco.

Todos estos fenómenos se producen por difusión o por la absorción de la luz, por la mayoría de los objetos (energía especular reflejada, energía difusa reflejada, energía regular transmitida, energía difusa transmitida). Para realizar un análisis físico de los componentes de esos fenómenos, se utilizan las mediciones espectrofotométricas. Las curvas resultantes de las mediciones espectrofotométricas representan la energía luminosa reflejada o transmitida por un objeto.

## **1.2 El objeto ( la materia atributos cromáticos de la materia física del color)**

El color está asociado a las ondas electromagnéticas y más concretamente a su distribución espectral en el espectro visible. Las longitudes de onda de las radiaciones situadas entre el violeta y el rojo, del espectro visible, se extienden desde el 400 a 700 nm aproximadamente.

Las radiaciones que se absorben son entonces reflejadas o transmitidas por los objetos, que son visibles por parte de los observadores. Por ejemplo, los objetos amarillos presentan la característica de absorber la luz azul. Así mismo, los objetos rojos absorben la luz azul verde y amarillo.

En términos de física, el color de un objeto se mide y se representa por su curva espectrofotométrica; ésta es el trazado representativo de la parte reflejada o transmitida de la longitud de onda, en lo que se refiere al espectro visible de 400 a 700 nm.

### **1.3 El ojo ( el observador)**

#### **La visión de los colores**

La percepción visual es el resultado de la interpretación efectuada por el cerebro, por la luz percibida en los ojos, modificada y transmitida por los objetos o emitida directamente por las fuentes luminosas.

Se ha observado que el ojo no tiene la misma sensibilidad a la luminosidad de la luz, para todas las longitudes de onda en el espectro visible. Se ha visto que la luz en su variación claro-oscuro (claridad) es percibida por el ojo y percibe también las variaciones cromáticas (tono y saturación) y organiza los colores en un sistema tridimensional.

Los progresos más importantes del conocimiento de nuestro sistema de visión han sido posibles, desde que se han podido realizar mediciones directas de los receptores del ojo. Sin embargo la comprensión de nuestro sistema de percepción del color arranca en 1666 con los trabajos de Newton sobre la descomposición de la luz blanca por el prisma de vidrio.

En 1801, Thomas Young “sugiere” la teoría de la trivarianza visual, según la cual nuestro sistema de percepción visual de los colores se basa en tres tipos de receptores. Unos 50 años mas tarde, esta teoría, según la cual nuestro ojo contiene tres series de recepciones (rojo, verde, azul), fue retomada por Herman Von Helmholtz.

En 1878, Ewald Hering propuso la hipótesis de que nuestro sistema de percepción visual esta formado por seis colores independientes: rojo, verde, amarillo, azul, blanco y negro.

Más tarde, otras experiencias realizadas a partir de tres proyectores de luz coloreada (rojo- verde- azul) demostraron que, mediante las variaciones de

la intensidad luminosa de estos tres proyectores, podía generarse una multitud de colores, que permite la evaluación de las respuestas tricromaticas del ojo.

Las teorías de Young – Helmholtz y de Hering fueron negadas y contestadas hasta 1930, año en que E. Muller confirma la teoría de los 3 pares antagonistas u opuestos. En efecto, Muller confirmó que la teoría de Young Helmholtz, que define la presencia de tres tipos de receptores en la retina, era correcta, pero que las respuestas de estas tres series de receptores eran convertidas entre el ojo y el nervio óptico, en otras tres series de señales llamadas de pares antagonistas u opuestos, como se define en la teoría de Hering: estos tres pares eran del tipo, blanco, negro rojo, verde, amarillo – azul.

La validez científica de la teoría de los pares opuestos ha sido corroborada por las experiencias como la de Russel De Valois del laboratorio de visión de primates de la Universidad de Barkley en California. En 1966, gracias a los micro electrodos conectados a las fibras del nervio óptico de un simio, De Valois pudo demostrar la existencia neurofisiológica de tres tipos de señales: blanco, negro, rojo, verde, amarillo, azul.

La retina del ojo contiene los órganos receptores de la visión, los conos y los bastones, los conos son responsables de la visión fototrópica diurna o de día, y son esencialmente sensibles a la percepción de los colores, mientras que los bastones son responsables de la visión escotopica nocturna o de noche, y son esencialmente sensibles a las variaciones de la claridad. La distribución es de aproximadamente 7 millones de conos, 120 millones de bastones; todos tienen la misma sensibilidad, pero los bastones están agrupados con una mayor sensibilidad a la visión lateral, donde están situados en su mayor parte. Hay tres clases de conos: azules, verdes y rojos, cuyas máximas sensibilidades se sitúan, respectivamente a 477, 540 y 577 nm.



La visión coloreada en el espectro visible depende de la luminancia; un efecto en un fuerte aumento de las iluminaciones hace que los rojos y los azules verdosos se inclinen a un color azul, así pasa a un sistema de visión dicromática, basado prácticamente en los colores amarillo y azul

En la colorimetría visual e instrumental, debe asegurarse de que las condiciones de iluminación sean normales de aproximadamente 1500 Lux, es decir, equivalentes a las de la visión fototrópica.

### **La colorimetría el sistema cie 1931**

La base científica de la medición del color se basa en la existencia de tres distintos grupos de señales procedentes del ojo de un observador humano. Las respuestas espectrales de esos tres tipos de receptores del ojo, en función de la longitud de onda, son bien conocidas en la actualidad. A fin de poder identificar la respuesta de los estímulos de color, mediante valores numéricos, los valores de las funciones colorimétricas del ojo han sido normalizados e incorporados a la definición del observador patrón de la CIE.

El observador patrón, con iluminante patrón, es en realidad una tabla de valores numéricos, representativo de un observador humano medio normal, pero las respuestas no son específicas de un observador en concreto.

#### **1.4 El diagrama de cromaticidad CIE 1931 el triangulo de colores**

Los valores triestímulos XYZ, del sistema CIE 1931, que son específicos de un color, permiten identificar aquel color con gran precisión pero, lamentablemente, la correlación directa con la evaluación visual es con frecuencia muy difícil, aunque el valor de Y está bastante conforme la

observación de la claridad, para los valores X y Z, la aproximación a los criterios de tono y de saturación de la clasificación visual es muy difícil.

Una vez definido el observador patrón, la CIE recomendó un diagrama de cromaticidad, para identificar los aspectos cromáticos con independencia de la claridad. Uno de los métodos para definir e identificar fácilmente un color en el diagrama CIE 1931, aparte de utilizar los valores triestímulos (XYZ o xyz), consiste en definir la longitud de onda dominante y la pureza calorimétrica. Este método ofrece una mejor correlación entre los valores numéricos de la colorimetría y la observación visual, porque permite identificar un color en términos de tono y de saturación como la clasificación visual. La longitud de onda dominante es la correspondiente a la mezcla aditiva del color investigado. De esa manera, identifica el tono del punto de color puro. La pureza calorimétrica es el porcentaje de contribución del color puro en la mezcla.

Una pureza de 1 corresponde al color puro (color de espectro) y una pureza de 0 corresponde al color del iluminante luz blanca. Es importante observar que la longitud de onda dominante no es una propiedad física, sino que se obtiene mediante el cálculo de las coordenadas tricromáticas  $x$ ,  $e$ , y  $a$  a partir de la curva espectral del color que se mide. No tiene relación alguna con una modificación de la curva espectral; es una especificación psicofísica del color, que permite una identificación sencilla del tono dominante.

### **Los espacios colorimétricos**

El conjunto de los colores constituye un espacio provisto de una estructura. Etimológicamente, un espacio es una extensión indefinida que contiene y rodea todos los objetos. Los espacios colorimétricos son el resultado de la extensión de la colorimetría de la fuente a la colorimetría del objeto, que

ilustra la posibilidad de definir los colores por números, y aporta de ese modo un criterio de clasificación objetivo. Permiten representar y determinar la diferencia entre los colores; esta última propiedad se aplica a la definición de la aceptabilidad. Los numerosos atlas y catálogos de selección de colores presentados bajo formas diversas son la demostración de una forma de espacio. La organización particular de cada uno de ellos, realizada generalmente según un concepto de creatividad, no es matemáticamente modelizable.

### **Historia evolución de 1905 a 1976**

En 1905, MUNSELL propuso una organización espacial de la clasificación de los colores, basada en tres criterios independientes: la claridad, el tono y la saturación. Tras la edición de 1915 del atlas de MUNSELL, la realización física de este conjunto puso de manifiesto: una organización visualmente equilibrada (espacio uniforme), así como método de identificación recíproca de los colores, en el cual cada color sólo podía ocupar un único lugar.

Por la misma razón, las experiencias de MacADAM llevaron a elipses de perceptibilidad de tamaños diferentes, según sus colores y sus posiciones. En ambos casos, se obtienen ejes y dimensiones, que varían considerablemente de un punto a otro del diagrama de cromaticidad, y demostrar así la no-uniformidad del espacio CIE 1931. La dificultad de interpretación de datos numéricos tan diferentes impulsó a los investigadores a desarrollar transformaciones matemáticas del espacio CIE 1931, destinadas con más o menos éxito a obtener un espacio uniforme en diferencias de colores.

Finalmente en 1976, la CIE recomendó dos nuevos sistemas CIELUV y CIELAB, cuyos méritos respectivos fueron a menudo objeto de debate. Para

distinguirlos de los demás sistemas y particularmente del sistema HUNTER, todos sus parámetros llevan un asterisco (por ejemplo:  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ).

El sistema CIELUV es una transformación lineal y por consiguiente aplicable a las mezclas aditivas, por ejemplo, el estudio de las luces en televisión. El sistema CIELAB está reservado al estudio de los colores de superficie o de objeto.

### **El espacio colorimétrico cielab definiciones y propiedades**

El espacio CIE 1976, llamado el sistema CIELAB, se basa en una transformación matemática del sistema CIE 1931, la cual busca, mediante esta transformación, obtener un espacio uniforme en diferencias de colores; uno de los otros objetivos ha sido el de desarrollar un sistema mucho más fácil de interpretar y, al mismo tiempo, más fácil de referenciar. En el espacio CIELAB, se encuentra el método de identificación tridimensional, retomando la teoría de los tres pares antagonistas blanco-negro, rojo-verde, amarillo-azul de la visión de los colores.

Las coordenadas rectangulares  $L$ ,  $a$ ,  $b$ , donde;

$L$  representan la claridad,

$a$  representa el componente cromático rojo-verde

$b$  representa el componente cromático amarillo-azul

o por sus coordenadas polares  $L$ ,  $C$  y  $h$  donde:

$L$  sigue representando la claridad,

$C$  representa el croma o la saturación,

H representa de tono o la tonalidad cromática

Como consecuencia de su transformación, el espacio CIELAB no tiene cromaticidad. Los componentes (a, b) o (C, H) definen el plano de cromaticidad, en que las propiedades de aditividad de los colores ya no se respetan.

A pesar de ser más uniforme, que el espacio inicial de 1931, el espacio CIELAB no es rigurosamente uniforme en la apreciación psicosensoial de los colores, pero es sobre todo mucho más sencillo a la hora de interpretar un punto de color y las diferencias colorimétricas.

### **Diferencias y aceptabilidad del color**

Numerosas industrias, que utilizan procedimientos de coloración, tienen que elaborar productos de color uniforme y de calidad y aspecto, conformes a las expectativas y exigencias de sus clientes o usuarios. En todos los casos, los productos deben fabricarse respetando el color deseado, dentro del límite de las variaciones admisibles de ese color, y de acuerdo con las especificaciones técnicas. La medición del color y la evaluación de las diferencias de color son determinantes por la ayuda que portan a los industriales, productores de color, así como por el cumplimiento de las condiciones establecidos entre el cliente y el proveedor.

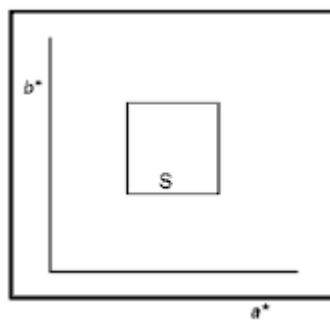
La búsqueda de un espacio de color uniforme también tiene por objeto permitir la evaluación de diferencias de color, a través de la medición de la distancia geométrica que separa los puntos de color de este espacio. Así, la distancia geométrica entre dos puntos será calculada por una relación que hace intervenir su proyección especial sobre cada uno de las tres principales variables del sistema colorimétrico.

Cielab coordinaciones		Cielab diferencias de color		
L	Claro-oscuro	DL	(+) Claro	(-) Oscuro
A	Rojo-verde	DA	(+) Rojo	(-) Verde
B	Amarillo-azul	DB	(+) Amarillo	(-) Azul
C	<i>Chroma/Brightness</i>	DC	(+) Brillo	(-) Opaco
H	<i>Hue- Ángulo</i>	DH	(+) Positivo	(-) Negativo

### Tolerancias usadas para aprobar o rechazar en cielab DL, DA, DB

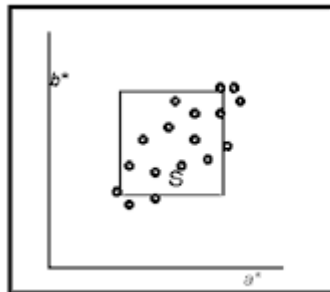
Como una técnica común usada para aprobar o rechazar, se deben establecer límites para los valores de DL, DA, y DB dentro de un estándar; un batch estándar cae dentro de estos límites son aprobados, mientras si caen fuera son rechazados (ver figura 1), que ilustra un típico DA/DB bloque de tolerancia en a/b espacio color dentro, de cuan aceptables los baches deberá caer relativo para un estándar particular.

**Figura 1. Cielab tolerancias**

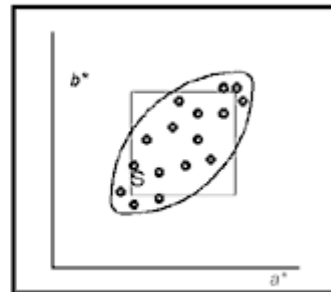


En la figura 2, Una serie de batch han sido graficados, los cuales son considerados aceptables agrupados respecto al estándar. Si un círculo o una elipse es dibujada alrededor de los baches, se consideran aceptados como en la figura 3; se puede ver que algunos de los batch caen dentro de la elipse, pero fuera del cuadro. Estos batch serán visualmente aceptados, pero podrían fallar por el sistema cielab.

**Figura 2. Batch aceptable**



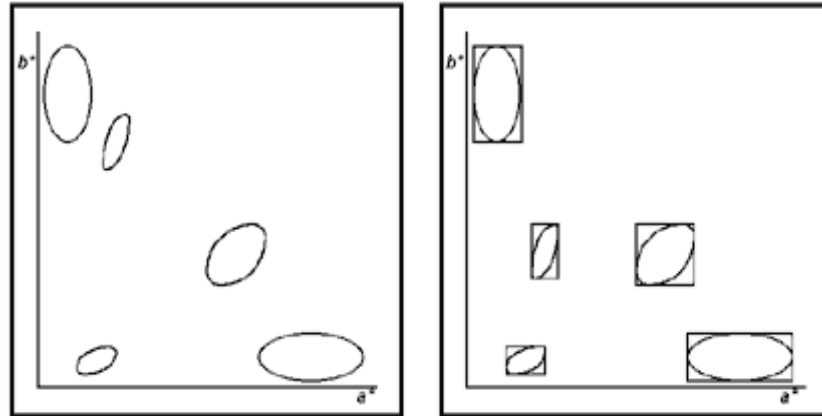
**Figura 3. Elipse aceptable**



De igual manera, los batch que caen dentro del cuadro pero fuera de la elipse serán pasados por el programa, aun cuando ellos son inaceptables visualmente. Si se examinan los estándares localizados en el cuadrante a/b, se encuentra que el tamaño de la elipse representa aceptable variación de shade (Figura 4), que indican que más observadores son más sensitivos a las variaciones en algunos colores que en otros.

Si CIELAB tolerancias son usadas por los estándares, representados por las elipses; una diferencia de las tolerancias serán requeridas por cada estándar, como puede ser visto en la Figura 4. Por esta razón, CIELAB DL, DA, y DB tolerancias no reúnen los requerimientos para una decisión de aceptación o rechazo, como una condición.

**Figura 4. Elipse de aceptabilidad y bloques de tolerancias CIELAB DL, DC y DH**

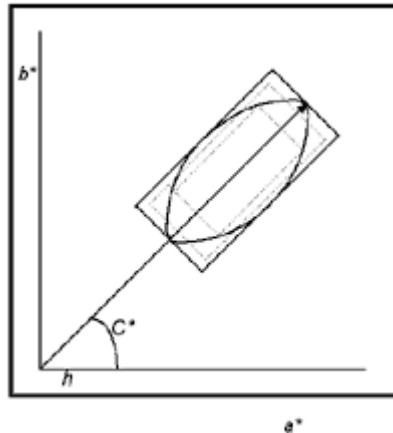


**Aprobado / rechazado usando tolerancias cielab DL, DC, DH**

Re-examinando la Figura 4, por encima de lo indicado que la elipse se representa visualmente aceptable alineada y ellos mismos con el centro de  $a/b$  del espacio de color. Esta naturaleza esférica de color es descrita numéricamente usando los conceptos de chroma (C), la distancia de una muestra del centro del espacio de color y Hue (h), el ángulo formado por el eje positivo  $a$  y una línea conectando la muestra para el centro del espacio de color. Aunque pase o fallen las tolerancias, éstas pueden ser establecidas usando la diferencia en C y H( DC y DH); iguales problemas serán encontrados cuando se usa DA y DB tolerancias. (Figura 5).



**Figura 5. Cielab bloque de tolerancias**



*Batch* que caen fuera de la elipse pero dentro del área, producen una incorrecta decisión de aceptación o rechazo del sistema de cómputo. Se debe notar que las tolerancias pueden ser modificadas, como se indicó por la línea en la Figura 5, pero allí estarán las áreas de la incorrecta decisión. Porque a diferentes tolerancias serán requeridas por diferentes colores porque la decisión de aprobación o rechazo de la computadora, no siempre estará en concordancia con la evaluación visual, CIELAB DL, DC y DH, y las tolerancias no reunirán los requerimientos de un aceptable programa de aceptación o rechazo.

### **Tolerancias usadas en cielab DE**

Como previamente, DE, es un valor que describe el total de la diferencia de color entre un estándar y un batch, una aprobación o rechazo del sistema, basado sobre un simple valor o tres valores, podrían hacer más fácil el entender un factor importante de los requerimientos, para una aceptable decisión de aprobación o rechazo del programa. Dos muestras han sido colocadas en la

Figura 6. Se asume que los valores de DL y Da son ambos 0.00, y sólo la diferencia es el signo de Db.

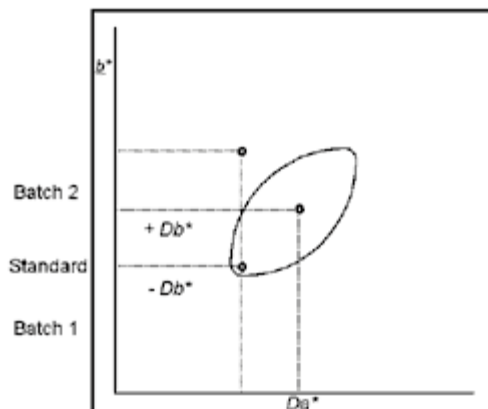
Resolviendo la fórmula de DE, muestra los siguientes resultados:

$$DE(\text{Batch 1}) = + DL \_ + Da \_ + (-Db) \_ = Db$$

$$DE(\text{Batch 2}) = + DL \_ + Da \_ + (+Db) \_ = Db$$

Acerca de las formulas que los valores de DE, de los dos *batch*, serán iguales y aún tendrán una significativa diferencia en el color de los *batch*, cuando se compara para cada uno. Si una tolerancia de aprobado o rechazado, fue establecida basada sobre el *batch 1*, *batch 2*, podría también pasar porque tuvo iguales valores en DE. La elipse en la Figura 6 indica que el *batch 2* es visualmente inaceptable debido, a la larga variación de Hue. La elipse en la Figura 6 indica que el *batch 2* es visualmente inaceptable, debido a la larga variación de hue, guiando para la conclusión que una aprobación o rechazo del programa basado solamente sobre cielab DE, que algunas veces producirá resultados inaceptables.

**Figura 6. Cielab DE Tolerancia**



Valores únicos de DE podrían ser requerido por cada familia de color, también debido a las variaciones en las dimensiones de la aceptabilidad de la elipse previamente discutida.

### **Tolerancias usadas en la fórmula CMC**

Para el sistema de la computadora, que permita generar exactitud de decisión de aprobación o rechazo, se debe realizar un camino para describir la elipse que representa visualmente aceptable diferencia de color, y para una tolerancia del programa para ser simple y de precisión, la cual será posible para describir cada elipse, usando el igual número. Un proyecto para desarrollar la fórmula que reúne estos criterios fue tomado por el *Color Measurement Committee of The Society of Dyers and Colorists, Great Britain*. Después visualmente e instrumentalmente evaluando un significativo número de muestras, el Color Measurement Committee produjo una nueva fórmula que modifica la ecuación, en cada uno de los caminos que la elipse que representó aceptables variaciones de shade podrían ser descritos con un valor llamado DE(CMC). Usando el CMC fórmula, el total de volumen de cada elipse puede ser calculado y es igual para un DE(CMC) de 1.0, el cual se ha establecido como un estándar internacional de control.


Como la región de color tiene cambios de espacio, el tamaño de la elipse cambia respecto a la percepción visual, pero el DE (CMC) permanece en 1.0. Es por consiguiente posible para el uso de un valor simple para DE(CMC) como un aprobado o rechazado tolerancias para todos los shades. DE (CMC) es típicamente escrito como CMC (2:1). Donde 2:1 representa los valores usados en el CMC, fórmula correspondiendo a las variables  $l:c$ . Con estos valores de  $l:c$ , la proporción de lightness, chroma y de hue, son fijados en el CMC ecuación también, los cuales correlacionan de forma visual las muestras

textiles. Estos valores deberán ser mantenidos constante a 2:1, debido a que la formula CMC permite el uso de una tolerancias individuales para todos los shades, un aprobado o rechazado del programa basado sobre CMC no será difícil para implementar o entender el CMC tolerancias también, correlacionará con acuerdos visuales, sin hacer caso del comienzo del color evaluado, haciendo CMC una decisión ideal para un programa computarizado de aprobación o rechazo.

### Luz visible

La radiación visible va aproximadamente de  $384 \times 10^{12}$  Hz acerca de  $769 \times 10^{12}$  Hz para el violeta.

**Figura 7. Frecuencias y componentes de onda para varios colores**

Color	Longitud de onda(nm)	Frecuencia( $10^{12}$ Hz.)
Naranja	622-597	482-503
Amarillo	597-577	503-520
Verde	577-492	520-610
Azul	492-455	610-659
	455-390	659-769

## **2 METODOLOGÍA**

### **2.1 Recursos**

#### **2.1.1 Humanos**

- Asesor del trabajo de graduación.
- Estudiante realizador del trabajo de graduación.
- Personal de laboratorio textil.
- Personal de lavandería industrial.

#### **2.1.2 Físicos**

- Hojas tamaño carta (papel bond).
- Computadora PENTIUM III.
- Impresora Canon BJC-2000.
- Tijeras para corte de tela

## **2.2 Equipo**

- Espectrofotómetro GRETAG MCBETH CE 2180. Es un equipo con un consumo de energía de 30 watts con requerimientos eléctricos de 120 vac $\pm$ 10% o 230 vac $\pm$ 10% 50-60 HZ. Los requerimientos del medio ambiente deben ser controlados a una temperatura de operación de 59 a 90 F ( 15 a 32 °C. Humedad relativa de operación 0% a 80%, no-condensado).
- Programa *ProPalette Textiles Silver*, by GretagMacbeth, LLC. Versión 1.0.

## **2.3 Procedimiento experimental**

### **2.3.1 Corte de muestras**

- Se cortó una muestra de tela de 1.52 m de largo a un rollo del inicio del mismo.
- Al realizar el corte, se hizo con tijera.
- Todas las muestras se identificaron con el número de rollo, y orden de compra, con un marcador indeleble para tela con un punto de finura máximo de 1.5 mm.
- Un muestra de 0.38x0.25 m. se guardó en rígido, y el resto sirvió para elaborar las mantas, para lavado industrial.

### **2.3.2 Elaboración de tubos**

- Se cortó de cada muestra del rollo 72 muestras de 0.38 m de largo por 0.25 m de ancho, los cuales identificaron en la parte de atrás de la muestra el número de rollo al que corresponda.
- De las muestras cortadas, se realizaron 36 tubos de la dimensión de 0.38x0.25 m.

### **2.3.3 Calibración del espectrofotómetro GRETAG MACBETH 2180 UV**

- Al ingresar al programa del espectrofotómetro de control de calidad.
- Se escoge la ventana *Functions, Quality Control* del Menú Principal o se hace *Clic* en el ícono de *Quality Control*. El cuadro de *Quality Control* aparece.
- En el cuadro de *Quality Control*, se presiona con el puntero el ícono de medición de std., y aparece el ícono de medición.
- En el cuadro aparece un ícono de calibración, se hace *Clic*.
- Aparece una ventana que pregunta si desea calibrar; hacer *Clic* en la opción de Sí.
- Aparece una ventana que pregunta, calibrar con la cerámica blanca; colocar la cerámica y hacer *clic*.
- Aparece una ventana que pregunta, calibrar zero; se debe de realizar una lectura al aire libre; hacer *clic* para que lo realice.

- Al terminar este procedimiento el equipo se encuentra calibrado.

#### **2.3.4 Medición de muestras por medio del espectrofotómetro**

- Al ingresar al programa del espectrofotómetro, se ingresa al sistema de control de calidad.
- Se escoge *Functions, Quality Control* del Menú Principal o hacer *Clic* en el ícono de *Quality Control*. El cuadro de *Quality Control* aparece.
- Ingresar el estándar de color, que fue obtenido según el lavado industrial estándar.
- Medir las muestras con el instrumento; hacer clic sobre el ícono de muestra.
- Cada muestra en rígido de 0.38 x 0.25 m se debe medir 10 veces contra el std de lavado, se exportan los datos a una hoja de *Excel*, y se obtiene el promedio de las mismas, para tener la confianza de la repetitividad de las lecturas.

#### **2.3.5 Proceso de lavado industrial**

- Lavar las mantas, según la fórmula No.1, variando el tiempo de abrasión de 0, 5, 10, 15, 20, 30, 35, 40, 45, 60, 65, 70, 80, 90, 100 minutos. En la fórmula de lavado, se denota la variable X de tiempo en el proceso de abrasión.



- En el momento de recibir las mantas, después de secado, se deben ambientar 4 horas como mínimo a temperatura de 70 °C y 65% humedad relativa, antes de medir en el espectrofotómetro.

### 2.3.6 Proceso de lavado por utilizar para el lavado industrial.

**Figura 8. Proceso de lavado estándar con variación de tiempo de abrasión y adición de coadyuvantes requeridos**

OPERACIÓN	ACONDICIONAMIENTO			CANTIDAD QUÍMICOS		CONCENTRACIÓN DE COADYUVANTES	pH
	Volumen (mL)	Temperatura (° C)	Tiempo (min)	Volumen (mL)	Peso (g)		
DESENGOME	100L	60 ° C	10 min	100 ml (Detergente Neutro)		1.00%	6.5
RINSE	100 L	25 ° C	2 min				7.0
ABRASIÓN	40 L	60 ° C	X* min		80 g (Enzima celulasa)	0.80%	6.5
DESACTIVACIÓN	100 L	60 ° C	5 min		50 g	0.5%	9.0
SUAVIZADO	50 L	50 ° C	12 min	400 mL (Suavizante catiónico)		4.00%	5.5
				300 mL (Suavizante siliconado)		3.00%	
CENTRIFUGADO			2 min				
SECADO		65 ° C	40 min				
MEDICIÓN ESPECTROFOTOMÉTRICA		70 ° C	240 min				

\* X representa los tiempos, a los cuales se desarrolló los diferentes procesos de lavado, los cuales son: 0,5,10,15,20,30, 35, 40, 45, 60, 65, 70, 80, 90, 100 minutos, respectivamente.

## 2.4 Análisis estadístico de datos

- De las lecturas espectrofotométricas (L, a, b, c, h), se obtuvo el promedio aritmético de las lecturas, para obtener el resultado medio de la distribución de las mediciones repetidas para una misma muestra, para obtener la lectura representativa, la fórmula que se va a utilizar es la siguiente:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

- Para el desarrollo de las lecturas espectrofotométricas (L, a, b, c, h), respecto al estándar de lavado, se realizó el estudio de regresión, ajustándose las curvas a modelos exponenciales y polinomiales, debido a que, parte del análisis, es necesario describir matemáticamente el comportamiento, de acuerdo con las variaciones de tiempo en el proceso de abrasión.
- Se realizaron gráficas de control con el objetivo de definir si el centro o promedio de las mediciones se han desplazado, a través de las variables UCL/LCL, respecto de las lecturas de DE a un tiempo de 30 minutos, contra el estándar de lavado utilizando el siguiente modelo.

$$UCL = \mu + 3\sigma/\sqrt{n}$$

$$LCL = \mu - 3\sigma/\sqrt{n}$$

- Se establecieron los límites de tolerancia de las mediciones espectrofotométricas (L, a, c, b, h) de las mediciones del estándar, después de lavado contra muestras, para determinar los límites permisibles de variación, de acuerdo con el tiempo de abrasión.

El modelo por utilizar es el siguiente:

$$LI = (\mu - Ks)$$

$$LS = (\mu + Ks)$$

- Se graficaron las variables espectrofotométricas (L, a, c, b, h), después de lavado vs. el tiempo de abrasión.
- Se graficaron las variables espectrofotométricas, después de lavado vs. el costo de la fórmula de lavado, de acuerdo con variación de tiempo de abrasión.
- Se realizó el análisis de varianza a las poblaciones de DEcmc, en relación con DE, y el análisis se extendió a las poblaciones de DLcmc y DL por medio del cual se buscó la igualdad de las dos poblaciones obtenidas de los promedios, de los datos originales. El problema básico de inferencia para el que el análisis de variancia de respuesta es la prueba de la hipótesis nula,

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$$

En donde se comparó el resultado de F vs. Fcrit, en que se evaluó si la F es mayor a la Fcrit, indicaba que estadísticamente que la hipótesis planteada era nula.

- Se desarrollaron gráficas de fórmulas correlacionadas de dos variables.
- Se desarrollaron gráficas de fórmulas correlacionadas de tres variables.
- Se realizó la prueba de hipótesis con muestra única, por medio de la prueba del promedio.

La ecuación utilizada fue la siguiente:

$$Z = (H_a - H_o) / (\sigma / \sqrt{n})$$

- La evaluación del método CIELAB en relación con el método CMC 2:1, se realizó con base en las variables de DE, DEcmc, DL y DLcmc, realizando una correlación por medio del método de mínimos cuadrados, buscando encontrar la mejor recta, evaluando el desarrollo con respecto a la gráfica ideal de DEcmc vs. DE y de DLcmc vs. DL, y determinando la confiabilidad de los parámetros de los mínimos cuadrados, a través del cálculo de las incertidumbres que representan una desviación estándar.

## 2.5 Análisis de costeo de fórmulas

- Se realizó un costeo de la fórmula, tomando en cuenta las variaciones de tiempo de abrasión establecidas en el 2.3.6, se obtuvo el costo del desengome, del *rinse*, de la abrasión, del desactivado y del suavizado, y se consideraron factores constantes del proceso tales como FC<sub>0</sub> y el FC<sub>1</sub>, que se refieren a costos fijos del proceso de lavado.

La fórmula utilizada para determinar el costo por proceso es la siguiente:

COSTO =

CARGA TOTAL \* (% APLICACIÓN QUÍMICO/100) \*

PRECIO QUÍMICO

### 3 RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el estudio espectrofotométrico de una tela 100% algodón color negro se presentan a continuación, así como las curvas de calibración y los datos obtenidos en el estudio realizado.

1. La tendencia matemática que describe la degradación del color negro, de acuerdo con la variación del tiempo de abrasión en un lavado enzimático, se determinó que es la variable  $DH_{cmc}$ , la cual se representó de acuerdo con la figura 8, así como la ecuación correlacionada que describe el proceso es la siguiente:

$$DH_{cmc} = 4E-11T^6 - 1E-08T^5 + 2E-06T^4 - 8E-05T^3 + 0.0021T^2 - 0.0254T + 0.1841$$

2. Las curvas de variación, de los comportamientos de  $DL$  vs. Tiempo,  $DA$  vs. Tiempo,  $DB$  vs. Tiempo,  $DE$  vs. Tiempo,  $DE_{cmc}$  vs. Tiempo,  $DL_{cmc}$  vs. Tiempo,  $DC_{cmc}$  vs. Tiempo, son los siguientes:

Figura 9.

**Resultados correlacionados de DE en relación con el tiempo de abrasión, por medio del método CIELAB y evaluados respecto a UCL/LCL**

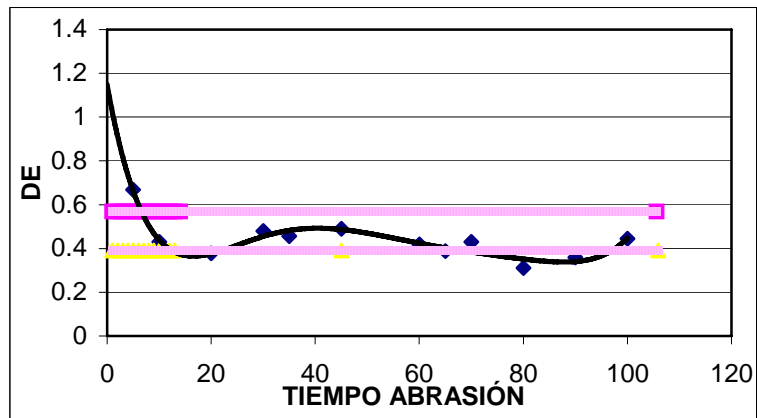
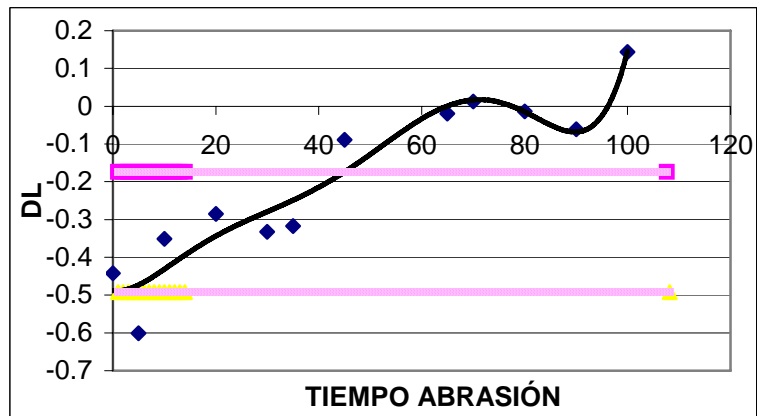
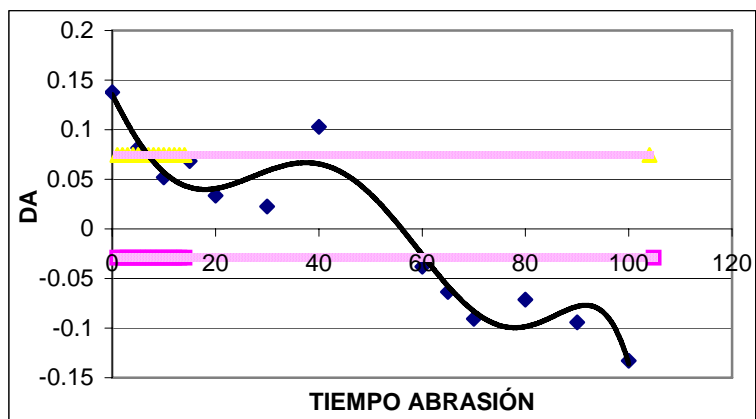


Figura 10.

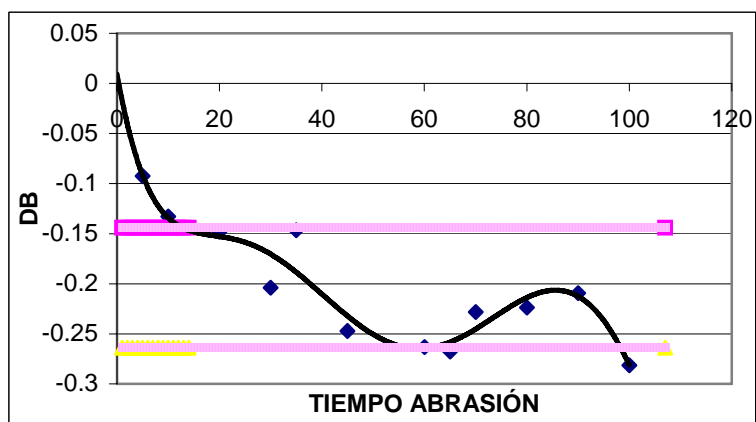
**Resultados correlacionados de DL en relación con el tiempo de abrasión, por medio del método CIELAB y evaluados respecto a UCL/LCL**



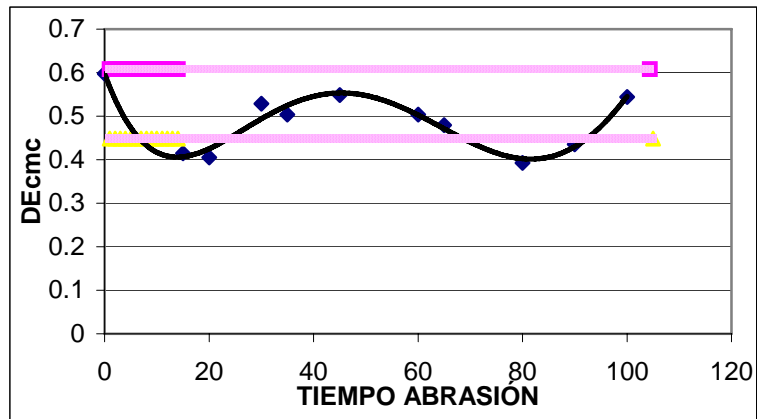
**Figura 11.** Resultados correlacionados de DA en relación con el tiempo de abrasión, por medio del método CIELAB y evaluados respecto a UCL/LCL



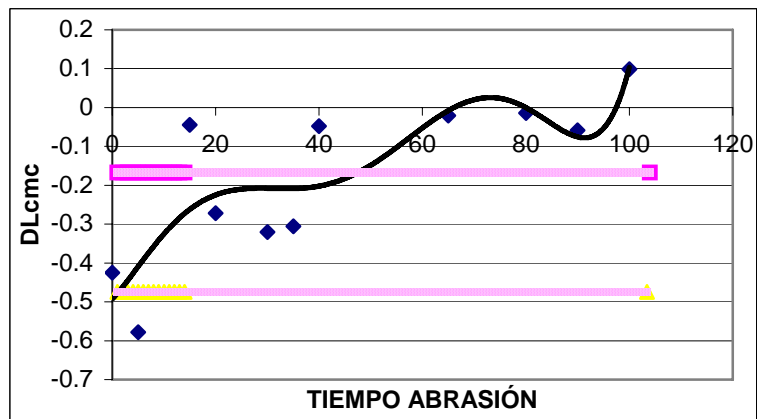
**Figura 12.** Resultados correlacionados de DB en relación con el tiempo de abrasión, por medio del método CIELAB y evaluados respecto a UCL/LCL



**Figura 13. Resultados correlacionados de DEcmc en relación con el tiempo de abrasión, por medio del método CMC 2:1 y evaluados respecto a UCL/LCL**

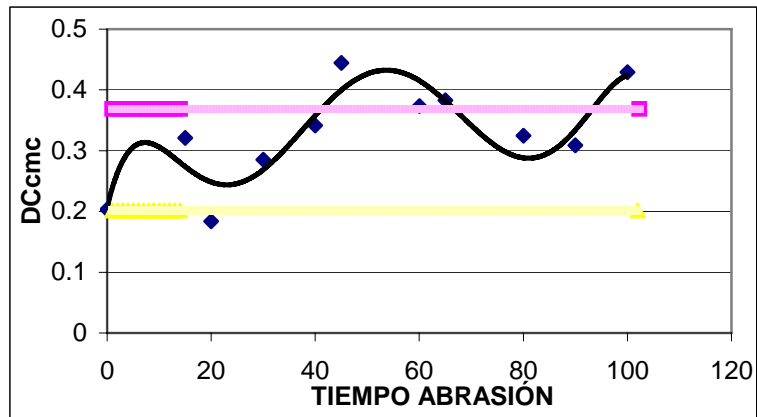


**Figura 14. Resultados correlacionados de DLcmc en relación con el tiempo de abrasión, por medio del método CMC 2:1 y evaluados respecto a UCL/LCL**

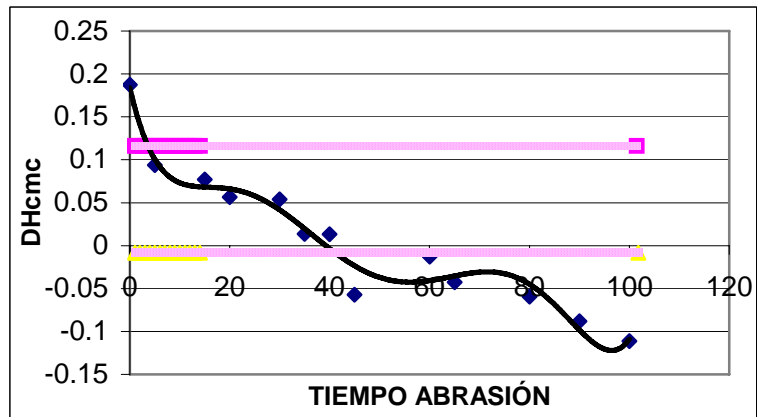




**Figura 15. Resultados correlacionados de DCcmc en relación con el tiempo de abrasión, por medio del método CMC 2:1 y evaluados respecto a UCL/LCL**



**Figura 16. Resultados correlacionados de DHcmc en relación con el tiempo de abrasión, por medio del método CMC 2:1 y evaluados respecto a UCL/LCL**



3. El análisis del costo de lavado evaluado, respecto al método CIELAB, se obtuvo que el coeficiente de correlación a un rango de

DE, 0 a 0.4 fue de 0.5367 y en el rango de 0.4 a 0.7 fue de 0.8484, que demuestra una mayor exactitud a DE mayores a 0.4.

4. La variación del costo evaluado, respecto al método CMC 2:1, se observó que el rango de 0.4 a 0.5 de  $DE_{cmc}$ , el coeficiente de correlación fue de 0.7204. Al evaluar la secuencia 2 en el rango 0.5 a 0.7, se observó que el coeficiente de correlación fue de 0.7339 presentando una correlación logarítmica.
5. Se determinó que de acuerdo a un análisis de hipótesis nula, por medio del método CIELAB, a un tiempo de 30 minutos de proceso de abrasión el DE, que estadísticamente no puede ser mayor a 1.00, debido a que se obtuvo una  $Z = 17.622$ , que es mayor al valor de  $Z_{\alpha} = 1.96$ ; esta diferencia emite una razón de rechazo de la hipótesis nula planteada, con un nivel de confianza del 95%.
6. Al evaluar la hipótesis estadística por el método CMC 2:1, a un tiempo de 30 minutos de proceso de abrasión el  $DE_{cmc}$  no puede ser estadísticamente mayor a 1.00, debido a que se obtuvo una  $Z = 17.794$ , que es mayor al valor de  $Z_{\alpha} = 1.96$ , igual que en el caso del método CIELAB indica que se debe rechazar la hipótesis nula planteada, con un nivel de confianza del 95%.

### 3.1 Discusión de resultados

Los químicos utilizados en el proceso de lavado, para determinar la tendencia matemática de color, mediante la medición espectrofotométrica de las muestras lavadas, fueron los siguientes: detergente neutro, el cual se utilizó para disminuir el color mediante un proceso de limpieza superficial de la tela; el lubricante se utilizó para eliminar las rayas y tener un mejor acondicionamiento de la tela en la lavadora.

La temperatura de 60 °C utilizada en el proceso de desengome es una temperatura óptima para eliminar o ablandar cualquier tipo de apresto, que la tela contenga entre los cuales se encuentran:

1. Polivinil alcohol
2. Almidón
3. Carboximetil Celulosa

El siguiente paso en la formula es el rinse, el cual se utiliza para eliminar residuos de detergente o lubricante.

El proceso imperante es el paso de abrasión, el cual se utilizó una enzima celulasa la cual disminuye el color, respecto al tiempo en donde se ven afectadas las variables de tiempo, concentración de enzima y temperatura.

El suavizado influye en el cambio de color de la prenda, que genera un oscurecimiento en la tela teniendo un impacto en el color final de la tela. Al analizar las graficas correlacionados de las variables colorimetricos contra el tiempo de abrasión, se determinó que para la gráfica de DE vs.. Tiempo abrasión, la tendencia se presenta una correlación aceptable, debido a que el coeficiente de correlación fue de 0.931. Para el gráfico de DL vs. tiempo de

abrasión, se determinó que la tendencia es polinómica, lo cual indica que a mayor tiempo la variable DL aumenta y el coeficiente de correlación fue de 0.9196.

### **Discusión de variables espectrofotométricas vs. el tiempo de abrasión**

El gráfico DA vs. tiempo de abrasión por el método CIELAB, se determinó que la tendencia de DL al aumentar el tiempo disminuye su valor de positivo a negativo, con un cambio de cast de rojizo a verdoso.

AL evaluar el gráfico DB vs. Tiempo Abrasión por el método CIELAB, se determinó que la variación se presentó como una tendencia de cambio de cast de amarillento a azulado, pero menos marcado que en DA, debido a que tiene una mayor dispersión con similar tendencia, la cual cuenta con un coeficiente de correlación de 0.4329; esto denota que según el método de CIELAB se tiene una mejor descripción de la variación del color, respecto del tiempo de abrasión en el lavado enzimático, descrito por la variable DA, siendo la ecuación que lo representa  $DA = -3E-11T^6 + 7E-09T^5 - 6E-07T^4 + 2E-05T^3 + 0.0002T^2 - 0.0104T + 0.1356$ , lo cual se representa como una ecuación lineal. Al analizar las anteriores tendencias, por medio del método CMC 2:1, se determinó que el gráfico correspondiente a DE vs. tiempo de abrasión presenta una tendencia similar que en el método CIELAB, con un coeficiente de correlación de 0.948.

El gráfico de DLcmc vs. Tiempo de Abrasión presentó una tendencia similar que con el método de CIELAB, pero con mayor dispersión donde se denota en el coeficiente de correlación 0.7086. La siguiente variable que se va a evaluar es el DCcmc vs. Tiempo de abrasión, que como anteriormente se ha visto basado en la teoría de color el DCcmc, representa colorimétricamente la

variación en el *chroma* y tiene una variación entre lo que son los colores brillosos y opacos. Se obtuvo el siguiente coeficiente de correlación 0.8139.

Del gráfico DHcmc vs. Tiempo de Abrasión, se obtuvo el coeficiente de correlación que mejor se ajusta, que es de 0.9645 y la ecuación que lo representa es  $DHcmc=4E-11T^6-1E-08T^5+2E-06T^4-8E05T^2+0.0021T^2-0.0254T+0.01841$ . Se concluye que la ecuación correlacionada describe la tendencia matemática más cercana, para describir la degradación del color negro, de acuerdo con la variación del tiempo de abrasión de un lavado enzimático, descrito por dicha variable anteriormente expuesta. Todo esto nos denota que el DH describe la tendencia de degradación del color, sujeta a las variables de tiempo y lecturas espectrofotométricas.

EL DH representa el tono o la tonalidad, la cual da el atributo global de tonalidad como un resumen de cuál es la tonalidad que prevalece en la tela al analizarla; la tendencia es una tonalidad rojiza en apreciación global, la cual tiene una tendencia al cast azul.

### **Discusión de costos secuenciados (\$unidad), respecto a las variables colorimétricas**

Al analizar el establecimiento de las variaciones de costo, en un lavado enzimático industrial sobre la base de una variación del DE, mediante las mediciones espectrofotométricas utilizando el método CIELAB, se observó que en la gráfica Costo Secuencia 1 (\$ unidad) vs. DE, el coeficiente de correlación fue de 0.5367 y el coeficiente de la secuencia 2 fue de 0.8484. De acuerdo con que esta variación demuestra una dispersión considerable, la cual no presenta una tendencia que se pueda representar con una ecuación y que sea funcional para los procesos de lavado industrial, se ha definido que el DE no es la

variable específica para describir la variación de una variable espectrofotométrica respecto al costo, y que no se puede definir la variación de costo, a pesar de que se graficó en dos secuencias pero en el rango de 0.4 a 0.7 se observó una tendencia de disminución del costo; esta tendencia denota que un lavado industrial se encarece al buscar el alcanzar el std de lavado, debido a que un DE cercano a cero significa que la muestra comparada con el std de lavado es similar, siempre y cuando se encuentre más cerca del std, pero al alejarse del DE=0 el costo es menor, debido a que los esfuerzos son menores para alcanzar el std de lavado.

Al evaluar el DL en el gráfico Costo Secuencia 1 (\$ unidad) vs. DL por el método CIELAB, se observó que el coeficiente de correlación fue de 1.0; para el gráfico de la secuencia 2 fue de 0.999 el coeficiente de correlación. En el gráfico secuencia 1 representa que, a valores negativos, la tendencia es a disminuir el costo respecto al aumento de los valores negativos, considerando que a tonalidades claras, el proceso es económicamente factible a costos bajos, siempre y cuando las demás variables colorimétricas se encuentren dentro de los límites permisibles aprobados, pero al observar la tendencia en el momento en el cual el DL es positivo y aumenta su valor el costo es variable.

El gráfico costo secuencia 1 (\$unidad) vs. DA por el método CIELAB; el coeficiente de correlación, fue de 0.9545, el cual es un valor experimentalmente aceptable de correlación que describe el proceso con la siguiente ecuación  $CT=7.955e^{-5.832DA}$ , y la expresión matemática que correlaciona los datos es exponencial y el costo varía de mayor a menor, respecto a la variación de DA de negativo a positivo.

En la evaluación de la variable DB, se observó en el gráfico Costo secuencia 1 (\$ unidad) vs. DB por el método CIELAB, se obtuvo un coeficiente

de correlación de 0.9974 y la secuencia 2 su coeficiente de correlación fue 1.0; el costo se mostró variable sin una tendencia determinada.

La evaluación del costo de lavado de acuerdo a las variables colorimétricas, por medio del método CMC 2:1; se observó que en el gráfico, Costo secuencia 1 (\$unidad) vs. DEcmc, la curva de correlación no describe confiablemente matemáticamente la evaluación del costo vs. DE, debido a que el coeficiente de correlación fue de 0.7209 y para el gráfico de secuencia 2 el coeficiente de correlación es de 0.7339; en el gráfico secuencia 1, la ecuación que lo representa es de grado 5 polinómica y presenta una dispersión de los datos, entre los cuales no se puede definir una tendencia de costo vs. DEcmc. La evaluación del DLcmc por medio de la figura costo secuencia 1 (\$unidad) vs. DLcmc, presenta una mejor correlación que DEcmc, donde se aprecia que el coeficiente de correlación fue de 1.0, teniendo una tendencia polinómica de grado 6 y para la secuencia 2, que tiene un coeficiente de correlación de 0.9646 y una tendencia polinómica de grado 5, que tiene una mejor definición del proceso en la secuencia 2, en la cual representa una tendencia de aumentar el costo, respecto del aumento de la variable DLcmc.

Por todo lo anterior, se define que en un proceso industrial en una lavandería profesional; el proceso devengará un mayor costo para poder alcanzar un std de lavado predeterminado por el cliente.

Se puede establecer costos menores mediante el control del proceso y disminución de variaciones de químicos, para alcanzar el std de lavado sin necesidad de incurrir en mayores costos que pudieran encarecer el proceso. En la formulación, se busca principalmente la satisfacción del cliente de acuerdo a la satisfacción del cliente y la ganancia de la empresa, que hace rentable el proceso de producción.

El análisis del gráfico costo (\$unidad) vs. DHcmc no se realizaron 2 secuencias, debido a que la ecuación correlacionada presenta un coeficiente de correlación de 0.9729 y la ecuación que lo presenta es  $CT: 9.43e^{-5.2201DHcmc}$ . Esto representa que, de acuerdo al aumento de DHcmc, el costo va disminuyendo, pero se observa que para el rango de datos manejados el DHcmc se encuentra en control. El modelo matemático anterior se puede establecer como el modelo matemático, para la determinación del costo respecto a la variable colorimétrica DHcmc. En el gráfico Costo(\$unidad) vs. tiempo establecida para determinar la relación costo / tiempo, se puede usar para conocer a un tiempo determinado el costo en que se incurrirá, y sería una herramienta de costeo, para el área financiera para poder estimar un costo y poder presentárselo al cliente.

En la figura secuencia 1 costo (\$unidad) vs. DCcmc y en figura secuencia 2, se observó que los coeficientes de correlación respectivamente de 1.00 y 0.6023, las variaciones de datos generan una falta de tendencia del costo, respecto a la variable colorimétrica DCcmc.

### **Discusión de límites de control superior e inferior**

Al analizar estadísticamente los datos obtenidos por el método CIELAB y CMC 2:1 a un tiempo de proceso de 30 min, de acuerdo con los rangos obtenidos por medio de los parámetros UCL (LIMITE DE CONTROL SUPERIOR) y LCL (LIMITE DE CONTROL INFERIOR), se observó que en las variables espectrofotométricas de CIELAB se encontraron datos fuera del rango, a partir de 53.333% hasta 86.667%, y para CMC 2:1, con un rango de 50% a 80% por ciento, lo cual indica que no se pueden establecer rangos de control en las lecturas espectrofotométricas, debido a que tienden a la linealidad y esto hace que se obtengan datos fuera de los límites de control superior e



inferior (UCL/LCL) y la tela en el color tiene una variación inherente al proceso, que a pesar de estar dentro de los parámetros de control del cliente (estándar DE 1), se tiene dicha variación.

Al analizar los resultados obtenidos en el análisis estadísticos de LS (Límite Superior) y el LI (Límite Inferior), en cada uno de los diferentes tiempos de proceso de abrasión, se observó que para el método CIELAB, a un tiempo de 65 min y 70 min la mayor variación en DL, con un máximo de 10.0 % y en DL con un máximo de 7.5% de datos, fuera de los límites superiores e inferiores, con lo cual se observa que los límites superiores e inferiores para un análisis colorimétrico se adecua mejor, porque refleja estadísticamente la dispersión de datos y, según los resultados obtenidos, no se observa una variación considerable.

Por el método CMC 2:1, se observó que la mayor variación se dio desde el tiempo de 40 min, pero éste refleja un comportamiento en control, teniendo como valores máximos para DEcmc a 70 min con 7.05% de los datos fuera del rango en DLcmc a 65 min con un 10.0% y en DCmc a 100 min con 7.14% y en DH con 7.41%, fuera a un tiempo de 20 min.

### **Discusión de análisis de varianzas**

Se discute que, de acuerdo con el planteamiento de la hipótesis de trabajo planteada, se realizó un análisis de varianzas (ANOVA), el cual se practicó a las series de datos de DEcmc, DE, de los cuales se determinó que para el análisis de varianzas a diferentes tiempos para el DEcmc respecto al DE, se observó que, a un tiempo de 0,5,10,20,30,35,45,70,90 min, la comparación de promedios, comparando las variables F y la Fcrit, no existen diferencias estadísticas entre los promedios. Las diferencias significativas que se

encontraron fueron a los tiempos de 15,40,60,65,80,100, a partir de estas diferencias encontradas, se define que el proceso de medición de DE es diferente al DEcmc, según el del tiempo de proceso; en esto radica especialmente el tipo de modelo que se utiliza para calcular dichas variables.

Se establece que el control de calidad debe considerar ambos resultados, y no solamente uno de los dos en base a lo anteriormente expuesto.

El sistema de evaluación de análisis de varianzas se extendió a las variables DLcmc y DL; se observó que el sistema es más consistente en sus valores promedios de medición, debido a que en comparación con el análisis de varianzas del DE/DEcmc, se observó que solamente para el tiempo 10 y 48, existen diferencias significativas, las cuales se pueden adjudicar al proceso de lavado y no al sistema de medición del espectrofotómetro o a la tela en sí por su proceso de teñido procedente del proveedor de tela. Debido a estos resultados estadísticos, se pueden utilizar las variables de DL y DLcmc indistintamente como variable de control de calidad del proceso de lavado; esto indica que la hipótesis planteada respecto al DL/DLcmc es cierta.

### **Discusión de hipótesis nula respecto a una distribución general de prueba de promedios**

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de prueba de hipótesis nula, a través de una distribución general de prueba de promedios, se observó que la hipótesis planteada estadísticamente es falsa, debido a que en el caso del método CIELAB, a un tiempo de 30 minutos de proceso de abrasión y el DE estadísticamente, no es mayor a 1.00, debido a que se obtuvo una  $Z = 17.622$ , lo cual indica que es de 17 desviaciones estándar mayor que el valor supuesto de DE mayor a 1.00, y donde se obtuvo un valor de  $Z_{\alpha} = 1.96$ ;

esta diferencia emite una razón de rechazo de la hipótesis nula planteada, con un nivel de confianza del 95%. Al evaluar la hipótesis estadística por el método CMC 2:1, a un tiempo de 30 minutos de proceso de abrasión el DEcmc, estadísticamente no es mayor a 1.00, debido a que se obtuvo una  $Z = 17.794$ , que es mayor al valor de  $Z_{\alpha} = 1.96$ , y a la vez 17 desviaciones estándar mayor que el valor supuesto de DEcmc mayor a 1.00, en forma similar que en el caso del método CIELAB, lo cual indica que se debe rechazar la hipótesis nula planteada, con un nivel de confianza del 95%.

### **Discusión de gráficas tridimensionales y correlacionadas**

Se realizó un análisis matemático tridimensional, en donde se graficaron las siguientes variables DL vs. DA vs. DB, DE vs. DA vs. DB, COSTO vs. DA vs. DB, TIEMPO vs. DA vs. DB, DL vs. DC vs. DH, DE vs. DC vs. DH, COSTO vs. DC vs. DH, TIEMPO vs. DC vs. DH, las cuales se encuentran en la sección de gráficas tridimensionales del color y se correlacionaron dichos resultados; las gráficas se presentan en la sección de gráficas tridimensionales; correlacionadas del color dichas gráficas se analizaron, de acuerdo con el método de regresión y correlación de tres y más variables, se obtuvo la gráfica correlacionada conjuntamente con su coeficiente de correlación, error estándar de estimación y la estimación no sesgada, los resultados obtenidos se presentan en la sección de fórmulas correlacionadas; para el gráfico correlacionado de DL vs. DA vs. DB, se obtuvo la ecuación correlacionada que se presenta en la sección de tablas de fórmulas correlacionadas tridimensionales por medio de los métodos CIELAB Y CMC 2:1 donde  $X_{1r}$  representa a DL,  $X_2$  representa a DA y  $X_3$  representa a DB; se observó que el coeficiente de correlación fue de 0.977901, lo cual representa ser un coeficiente aceptable matemáticamente para los datos experimentales; al

observar la estimación no sesgada, se definió que la variación de DL se ve afectada en un 95.59% por el efecto de DA y DB, que da a conocer que a una variación en las variables DA y DB, tienen un impacto considerable en DL; el error estándar de la estimación fue de 0.180869.

En el gráfico tridimensional de DE vs. DA vs. DB, se obtuvo como resultado un coeficiente de correlación de 0.971595, en donde es levemente menor al anterior, pero su impacto de la variación del DE respecto al DA y DB, es de 94.34%; esto da a entender que el DA y DB son determinantes, tanto para la claridad como para DE; el error estándar de la estimación que se determinó fue de 0.100199.

Al estudiar el impacto de DA y DB, en el costo de la fórmula de lavado, se observó que tienen una influencia del 98.82%, lo cual representa un alto impacto, que a la vez es aceptable, debido a que la variación del costo es directamente proporcional al tiempo y a la cantidad de químicos utilizados. El coeficiente de correlación obtenido fue de 0.994128 con un error de estimación de 1.59.

En el análisis del gráfico correlacionado de TIEMPO vs. DA vs. DB, se observó que el error de estimación fue de 13.33398, siendo este un error demasiado alto, lo cual establece que la ecuación correlacionada tiene una desviación no aceptable, para poder establecer dicha ecuación correlacionada para usos de estimación de tiempo a partir de DA y DB, a pesar de tener un coeficiente de correlación de 0.993686. En las gráficas correlacionadas correspondientes al método CMC 2:1, se observó que para el gráfico de DL vs. DC vs. DH, el error de estimación fue de 0.303515 y el coeficiente de correlación fue de 0.919261 uno de los más bajos coeficientes de correlación encontrados, pero la estimación no sesgada arroja como resultado que 84.10% de la variación de DL es debido a las variables DC y DH, que es un porcentaje

bajo que indica un impacto bajo en comparación, con el impacto que tiene respecto a DA y DB. En el DC y DH, tienen un mayor impacto sobre DE que sobre DL; porcentualmente se puede decir que fue de 90.66%, en dicha correlación se obtuvo un error de estimación de 0.084551 con un coeficiente de correlación de 0.906603. El costo no se observó afectado a DC y DH en una alta magnitud, debido a que el chroma y el hue son valores que dependen de las variaciones propias del proceso y del color en sí mismo, y no tienen un alto impacto específico en el costo. El impacto encontrado fue de 88.05% con un error de estimación alto de 4.72% y un coeficiente de correlación de 0.939599. En tanto el tiempo como el costo, tienen un impacto bajo en comparación a las anteriores variables, lo cual se determinó en la estimación no sesgada del TIEMPO vs. DC vs. DH, de 87.61%, con un coeficiente de correlación de 0.937336 con un alto error de estimación de 38.799, en donde se define que la ecuación correlacionada para este grupo de datos no es aceptable utilizar, para predecir el tiempo de proceso de lavado en relación con las variables de DC y DH.

### **Discusión de la evaluación matemática de la comparación de los métodos CMC 2:1 y CIELAB, a través de las variables DEcmc, DE, DLcmc y DL**

La evaluación matemática realizada en la comparación de los métodos CMC 2:1 y CIELAB, tomando como variables de estudio el DEcmc vs. DE, y el DLcmc vs. DL. Se observó que para la evaluación del DEcmc vs. DE, la ecuación ideal planteada es  $DE_{cmc} = 1.00 \times DE$ , donde se asumió un comportamiento ideal, es decir que la muestra tenía la misma localización en el plano de color que el estándar, por lo cual la ordenada al origen se definía como cero y  $DE_{cmc_1} = DE_1 = 0$ , como punto de partida para el análisis, lo cual

establecen el punto cero de control. En la correlación, por medio del método de mínimos cuadrados, se obtuvo la siguiente ecuación correlacionada,  $DE_{cmc} = 0.75 \times DE + 0.17$ , que tiene como incertidumbre la pendiente de  $\pm 0.12$  y para la ordenada en el origen de  $\pm 0.02$ . Al observar la gráfica, se identifica que la gráfica real corta la gráfica ideal en la coordenada (0.68,0.68), lo cual ilustra que existe una diferencia entre el  $DE_{cmc}$  y  $DE$ , que se ve afectada por las variables de evaluación, y al método que radica en las tolerancias del mismo. También se comprende la coordenada (0.68,0.68), como el punto máximo, donde se observa la degradación del color respecto a  $DE$  y concuerda con la idealización del proceso.

Seguidamente se realizó el mismo procedimiento para evaluar el  $DL_{cmc}$  vs.  $DL$ , en donde se obtuvo la ecuación de un sistema ideal a un tiempo cero y con  $DL_{1cmc} = DL_1 = 0$ , considerando que no existe diferencia entre el estándar evaluado y la muestra. La ecuación es la siguiente  $DL_{cmc} = 0.94 \times DL - 0.01$ ; la incertidumbre que se obtuvo para la pendiente fue de  $\pm 0.01$  y para la ordenada en el origen fue de  $\pm 9.64E^{-4}$ .

El punto donde se interceptan la gráfica real con la ideal es el punto (-0.17,-0.17), lo cual indica, gráficamente, que la desviación del  $DL_{cmc}$  vs. el  $DL$ , es mínima, de igual forma como se había comentado de acuerdo con el análisis ANOVA; este estudio confirma que las diferencias mediante ambos métodos no son significativas, y que se sí se puede trabajar indistintivamente ambas variables.

## CONCLUSIONES

- 1 La hipótesis de trabajo planteada, respecto al DE CIELAB /DEcmc, se define que es falsa, debido a que estadísticamente se definió que existen diferencias significativas a diferentes tiempos en ambas variables, por lo cual se deben utilizar ambas como variables de control de calidad, por el proceso de lavado enzimático.
- 2 La hipótesis de trabajo que se planteó, respecto al DL cielab /DLcmc, se definió como verdadera, debido a que estadísticamente se observó que no existen diferencias significativas entre ambos resultados.
- 3 Del gráfico de DHcmc vs. tiempo de abrasión, se obtuvo la ecuación correlacionada  $DH_{cmc} = 4E-11T^6 - 1E-08T^5 + 2E-06T^4 - 8E-5T^3 + 0.0021T^2 - 0.0254T + 0.1841$ , la cual describe la correlación matemática más cercana para describir la degradación del color negro, en función del tiempo de abrasión por un lavado enzimático.
- 4 Se determinó que el DE no es la variable específica para describir la variación del proceso, respecto al costo, debido a un análisis de varianza del DE vs. DEcmc de los siguientes tiempos 15, 40, 60, 65, 80, 100, lo cual demuestra diferencias estadísticas significativas considerables.

- 5 La variable que representa la correlación se adecua efectivamente a la variación de costo, respecto a una variable colorimétrica es el DHcmc, que se obtuvo del gráfico de Costo (\$unidad) vs. DHcmc CMC 2:1; la ecuación que describe los datos es la siguiente:  $CT=9.43e^{-5.2201DHcmc}$ , que se considera como la variable de control para la evaluación del costo, respecto del costo, lo cual indica que a mayor DHcmc el costo disminuye.
- 6 Se concluye que la ecuación  $CT=3E-21T^6-5E-18T^5-1E-16T^4+2E-13T^3-2E-11T^2+0.12T+3.822$ , obtenida del gráfico de costo vs. tiempo, da a conocer si el costo lo puede afrontar un cliente, según de la variación del tiempo de abrasión.
- 7 De acuerdo con el análisis de incertidumbre, practicado a la ecuación correlacionada de la comparación de DEcmc vs. DE CIELAB, se observó que la pendiente tiene una incertidumbre de  $\pm 0.12$  y la ordenada al origen tiene una incertidumbre de  $\pm 0.02$ , lo cual indica que el DEcmc, como anteriormente se indicó, tiene diferencias significativas con DE CIELAB, pero se pueden utilizar comparativamente ambos métodos en un análisis de color.
- 8 En el análisis de incertidumbre, practicado a la ecuación correlacionada de la comparación de DLcmc vs. DL CIELAB, se observó que la incertidumbre de la pendiente fue de  $\pm 0.01$ , y para la ordenada al origen, fue de  $\pm 9.64E^{-4}$ , lo cual indica y soporta la conclusión 2, donde se expresa que el DLcmc y DL, se pueden utilizar indistintivamente en un proceso de evaluación colorimétrica.



## RECOMENDACIONES

- 1 Es conveniente ampliar el estudio en una mezclilla 100% algodón teñido con índigo para estudiar el comportamiento a distintos tiempos de proceso de abrasión.
- 2 Se debe ampliar el estudio de costeo de fórmulas de lavado en diferentes lavados, variando el tipo de químico que se va a utilizar empleando lacasa, cloro o glucosa.
- 3 El control estadístico se debe establecer primariamente, de acuerdo con medidas de tendencia central, y principalmente estableciendo los límites superior e inferior de variables espectrofotométricas.
- 4 Se recomienda utilizar indistintivamente las variables de DLcmc y DL, para una evaluación de claro oscuro, ya que un análisis estadístico demuestra su factibilidad.
- 5 El DEcmc y DE deben ser tomados en cuenta en un control de calidad, pero tomando en cuenta cada una de las variables, sin omitir ninguna de ellas, debido a que existe diferencia estadística significativa.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Acheson, J.Duncan. **Control de calidad y estadística industrial**. Estados Unidos de Norteamérica : Editorial Alfa Omega, 1996, 1084 pp.
2. Harris, Daniel C. **Análisis químico cuantitativo**. Estados Unidos de Norteamérica. Editorial Iberoamérica, 1992.
3. Kuehni, Rolf G. **Cielab color difference, and lightness, hue and chroma componentes for objective color control**. Estados Unidos de Norteamérica:s.e.,s.a.
4. Scheaffer, Richard L, James T. McClave. **Probabilidad y estadística para ingenieros**. Estados Unidos de Norteamérica: Editorial Grupo editorial Iberoamericana, 1993, 685 pp.
5. Tew, Jerry G. "The magazine of the textile dyeing, printing, and finishing industry" **Revista Aatcc Review** (Estados Unidos de Norteamérica) (1):37.2001.
6. Valiente Barderas, Antonio. **Diccionario de ingeniería química**. México:Editorial Longman de México editores, S.A. de C.V.,1990,237 pp.

## Apéndice 1

### CÁLCULO DE MUESTRA

El siguiente cálculo de muestra se tomó como base la tabla I de la sección de datos estadísticos, y es la base de los cálculos de las ecuaciones correlacionadas, que se encuentran en la sección de fórmulas correlacionadas. Los cálculos realizados son los siguientes:

#### 1. Análisis estadístico

Los cálculos realizados para la obtención del promedio de las lecturas espectrofotométricas a un tiempo de 30 min. fueron los siguientes:

##### a. Cálculo del promedio

$$0.69+0.6+0.67+0.53+0.51+0.54+0.33+0.49+0.48+0.83+0.33+0.59+0.36+0.53+0.47+0.33+0.4+0.48+0.5+0.28+0.52+0.62+0.24+0.61+0.72+0.55+0.$$

$$63+0.63+0.6+0.79 = 15.85$$

Cálculo de límites superior e inferior

$$LS= X + DESVSTD*2.14 =0.839$$

$$LI = X - DESVSTD*2.14 = 0.217$$

##### b. Calculo de UCL/LCL

$$UCL = 0.52833 + 3(0.1451)/ (30)^{1/2}$$

$$LCL = 0.52833 - 3(0.1451)/ (30)^{1/2}$$

## 2. Análisis de fórmulas correlacionadas de dos variables:

Se realizaron modelos de regresión múltiple, a los datos calculados usando modelos que son más complejos, que el de la simple línea recta, y las correlaciones fueron polinómicas, exponenciales y logarítmicas. Entre los modelos probabilísticos, en los que intervienen  $x^2$ ,  $x^3$ , se tiene el modelo :

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + c$$

En la variable dependiente, se expresa como función de  $k$  variables independientes  $x_1, x_2, \dots, x_k$ . Las correlaciones se realizaron utilizando una calculadora 48 HP.

## 3. Análisis de fórmulas correlacionadas de tres variables

El análisis efectuado, para realizar la correlación de tres variables se llevo a cabo por medio de distribuciones trivariadas de frecuencias, la cual se basa en tres variables, para poder trazar un diagrama que indique las características de la distribución trivariada; las tres variables que se utilizaron fueron  $X_1, X_2$ , y  $X_3$ , las cuales se pueden situar en un punto en el espacio tridimensional; los cálculos realizados para poder obtener las ecuaciones correlacionadas y el cálculo para obtener el coeficiente de correlación son los siguientes, basados en el cálculo de muestra de la correlación del DL, DA, DB:

**Tabla I. Cálculo de productos y sumas, para análisis de regresión de tres variables**

Paso 1	col 1 L	col 2 A	col 3 B	col 4	col 5
$X_{1r}$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_1X_2$	$X_1X_3$
-0.304	-0.443	0.138	0.150	-0.061	-0.066
-0.381	-0.601	0.082	-0.093	-0.049	0.056
-0.324	-0.351	0.052	-0.133	-0.018	0.047
-0.086	0.226	0.068	0.134	0.015	0.030
-0.278	-0.285	0.034	-0.148	-0.010	0.042
-0.302	-0.333	0.023	-0.204	-0.008	0.068
-0.071	-0.089	-0.059	-0.247	0.005	0.022
-0.161	0.117	-0.038	-0.263	-0.004	-0.031
-0.078	-0.020	-0.064	-0.268	0.001	0.005
0.058	0.013	-0.091	-0.228	-0.001	-0.003
-0.004	-0.014	-0.071	-0.224	0.001	0.003
0.091	-0.061	-0.094	-0.209	0.006	0.013
0.143	0.143	-0.133	-0.282	-0.019	-0.040
$\Sigma$	-1.697	-0.154	-2.015	-0.141	0.145

col 6 col 7 col 8 col 9 col 10 col 11 col 12 col 13

$X_2X_3$	$X_1^2$	$X_2^2$	$X_3^2$	$(X_1+X_2+X_3)$	$(X_1+X_2+X_3)X_1$	$(X_1+X_2+X_3)X_2$	$(X_1+X_2+X_3)X_3$
0.021	0.196	0.019	0.023	-0.155	0.068	-0.021	-0.023
-0.008	0.361	0.007	0.009	-0.612	0.368	-0.050	0.057
-0.007	0.123	0.003	0.018	-0.432	0.152	-0.022	0.057
0.009	0.051	0.005	0.018	0.428	0.097	0.029	0.057
-0.005	0.081	0.001	0.022	-0.400	0.114	-0.013	0.059
-0.005	0.111	0.001	0.042	-0.514	0.171	-0.012	0.105
0.015	0.008	0.003	0.061	-0.395	0.035	0.023	0.098
0.010	0.014	0.001	0.069	-0.184	-0.022	0.007	0.048
0.017	0.000	0.004	0.072	-0.351	0.007	0.022	0.094
0.021	0.000	0.008	0.052	-0.306	-0.004	0.028	0.070
0.016	0.000	0.005	0.050	-0.308	0.004	0.022	0.069
0.020	0.004	0.009	0.044	-0.365	0.022	0.034	0.076
0.037	0.021	0.018	0.079	-0.271	-0.039	0.036	0.076

0.141	0.970	0.084	0.557	-3.865	0.974	0.083	0.844
-------	-------	-------	-------	--------	-------	-------	-------

**Tabla II. Verificación de resultados  
paso 2**

$\Sigma \text{col.}(1)$	+	$\Sigma \text{col}(2)$	+	$\Sigma \text{col}(3)$	=	$\Sigma \text{col}(1+2+3)$	=	$\Sigma \text{col}(10)$
-1.697	+	-0.154	+	-2.015	=	-3.865	=	-3.865
$\Sigma \text{col.}(4)$	+	$\Sigma \text{col}(5)$	+	$\Sigma \text{col}(7)$	=	$\Sigma \text{col}(11)$	=	$\Sigma \text{col}(11)$
-0.141	+	0.145	+	0.970	=	0.974	=	0.974
$\Sigma \text{col.}(4)$	+	$\Sigma \text{col}(6)$	+	$\Sigma \text{col}(8)$	=	$\Sigma \text{col}(12)$	=	$\Sigma \text{col}(12)$
-0.141	+	0.141	+	0.084	=	0.083	=	0.083
$\Sigma \text{col.}(5)$	+	$\Sigma \text{col}(6)$	+	$\Sigma \text{col}(9)$	=	$\Sigma \text{col}(13)$	=	$\Sigma \text{col}(13)$
0.145	+	0.141	+	0.557	=	0.844	=	0.844

**Tabla III. Resumen de cálculos de variables paso 3**

Promedio $X_1$	-0.131
Promedio $X_2$	-0.012
Promedio $X_3$	-0.155
$\Sigma X_1^2$	0.748
$\Sigma X_2^2$	0.082
$\Sigma X_3^2$	0.245
$\Sigma X_1 X_2$	-0.161
$\Sigma X_1 X_3$	-0.118
$\Sigma X_2 X_3$	0.117

Las fórmulas, que se utilizaron para obtener los resultados del paso 3, son las siguientes:

**Tabla IV. Fórmulas utilizadas en el paso 3**

PROMEDIO $X_1$	$\Sigma X_1/n$
PROMEDIO $X_2$	$\Sigma X_2/n$
PROMEDIO $X_3$	$\Sigma X_3/n$
$\Sigma x_1^2$	$\Sigma x_1^2 - nX_1^2$
$\Sigma x_2^2$	$\Sigma x_2^2 - nX_2^2$
$\Sigma x_3^2$	$\Sigma x_3^2 - nX_3^2$
$\Sigma x_1x_2$	$\Sigma x_1x_2 - n X_1 X_2$
$\Sigma x_1x_3$	$\Sigma x_1x_3 - n X_1 X_3$
$\Sigma x_2x_3$	$\Sigma x_2x_3 - n X_2 X_3$

Determinación de los coeficientes de la ecuación correlacionada

Paso 4

$$0.0817 b_{12.3} + 0.1174 b_{13.2} = -0.1615$$

$$0.1174 b_{12.3} + 0.2452 b_{13.2} = -0.1178$$

Suma ecuaciones

$$0.1991 b_{12.3} + 0.3626 b_{13.2} = -0.2793$$

$$b_{12.3} = -3.4156$$

$$b_{13.2} = 1.1049$$

$$a_{1.23} = 4E-04$$

La fórmula utilizada para calcular el  $a_{1.23}$  fue la siguiente:

$$a_{1.23} = X_1 - b_{12.3} X_2 - b_{13.2} X_3$$

De aquí que la estimación de la regresión de universo de  $X_1$  sobre  $X_2$  Y  $X_3$  es

$$X_{1r} = 0.0004 + (-3.416 X_2) + 1.105 X_3$$

El error estándar de la estimación ( $S_{1.23}$ ) viene dado por:

$$S_{1.23}^2 = 0.033$$

$$S_{1.23} = 0.181$$

$$\Sigma U_{1.23}^2 = 0.033$$

$$R_{1.23} = 0.978$$

$$I(R_{1.23}^2) = 0.956$$

La ecuación utilizada para calcular el  $S_{1.23}^2$ ,  $R_{1.23}$ ,  $I(R_{1.23}^2)$ :

$$S_{1.23}^2 = \frac{\Sigma X_1^2 - b_{12.3} \Sigma X_1 X_2 - b_{13.2} \Sigma X_1 X_3}{n - 3}$$

$$R_{1.23} = \sqrt{1 - \frac{S_{1.23}^2}{\Sigma X_1^2 / (n-1)}}$$

$$I(R_{1.23}^2) = R_{1.23}^2 - 2(1 - R_{1.23}^2)^2 / (n-1)$$

4. Evaluación del DEcmc vs. DE y DLcmc vs. DL mediante la correlación, por el método de mínimos cuadrados;



el cálculo de muestra que se expone a continuación es con base en DEcmc vs. DE.

Ecuación de una recta,

$$Y = mX + b$$

Donde,

Y = Es la variable dependiente, ordenada,

X = Es la variable independiente, abscisa ,

m = Pendiente,

Si la muestra a un tiempo = 0 de proceso, tiene las mismas coordenadas en el plano de color que el estándar, el  $DE_{cmc_1} = DE_1 = 0$ , por tal motivo

$$Decmc_3 = m \times DE_3 + b,$$

$$Decmc_3 = Decmc_2 - Decmc_1,$$

$$DE_3 = DE_2 - DE_1,$$

$$0 = 0 + b$$

Si  $b = 0$ , se define la pendiente como,  $m = DE_{cmc_2}/DE_2 = 1.101$ , por lo tanto, la ecuación ideal del proceso es  $DE_{cmc_3} = 1.101 \times DE_3$ ; al realizar la correlación por el método de mínimos cuadrados, utilizando una calculadora 48 HP, se obtuvo la ecuación correlacionada  $DE_{cmc} = 0.75 \times DE + 0.17$ ; el

calculo de las incertidumbres se realizó de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$D = \begin{vmatrix} \sum DE_i^2 & \sum DE_i \\ \sum DE_i & n \end{vmatrix}$$

$$D = 8.7991$$

La incertidumbre para el m fue de +/-0.12, la cual se obtuvo de acuerdo con a la siguiente matriz,

$$\frac{\begin{vmatrix} \sum DE_i DE_{cmc_i} & \sum DE_i \\ \sum DE_{cmc_i} & n \end{vmatrix}}{D}$$

La incertidumbre para el b fue de +/- 0.02, que se obtuvo de acuerdo a la siguiente matriz,

$$\frac{\begin{vmatrix} \sum DE_i^2 & \sum DE_i \\ \sum DE_i & n \end{vmatrix}}{D}$$

## 5. Análisis de costeo de fórmulas

### a. Cálculo del costo de fórmulas

Para el costeo de formulas, se desarrollo siguiendo la siguiente

fórmula:

Costeo desengome = \$ 0.772

Costeo rinse = \$ 0.000

Se estableció el costo del rinse despreciable, debido a que el tiempo del mismo es de 2 min.

Costeo abrasión = \$ 0.772

Desactivación = \$ 0.066

Suavizado = \$ 1.249

Al tener todos los costos de cada paso, se concluye realizando la sumatoria de todos los costos de químicos.

Costo total = \$ 2.15

El costo por batch se estableció, según la siguiente formula:

Costo/batch = tiempo total x  $fc_0$  + total  
químicos x  $fc_1$

costo/batch = \$ 7.542

Los factores mencionadas  $FC_0$  /  $FC_1$  se refieren a costos fijos del proceso.

## Apéndice 2

### Sección de datos estadísticos

**Tabla V. Resultados de datos calculados del límite superior y límite inferior de los datos obtenidos por el método CIELAB**

Code	Descripción	DE	DL	DA	DB
0 min	LS	1.069095	0.197567	0.357065	0.188923
	LI	0.042405	-1.08257	-0.08156	-0.48942
	%Fuera LS/LI	0.00	0.00	0.00	2.50
5 min	LS	1.239978	0.115664	0.282212	0.146711
	LI	0.094522	-1.31766	-0.11871	-0.33171
	%Fuera LS/LI	2.50	5.00	0.00	0.00
10 min	LS	0.730861	0.103329	0.232867	0.094337
	LI	0.130139	-0.80533	-0.12887	-0.36034
	%Fuera LS/LI	0.00	0.00	5.00	0.00
15 min	LS	0.647546	0.426551	0.19101	0.06567
	LI	-0.00646	-0.54006	-0.10182	-0.50513
	%Fuera LS/LI	2.70	2.70	5.41	2.70
20 min	LS	0.730626	0.144905	0.23958	0.123817
	LI	0.024041	-0.71491	-0.17225	-0.42048
	%Fuera LS/LI	0.00	0.00	6.67	0.00
30 min	LS	0.825887	0.288733	0.225134	0.030129
	LI	0.134113	-0.95407	-0.1798	-0.43813
	%Fuera LS/LI	3.33	0.00	6.67	0.00
35 min	LS	0.828017	0.252394	0.197426	0.258775
	LI	0.085483	-0.88739	-0.19743	-0.55228
	%Fuera LS/LI	2.50	2.50	0.00	2.50
40 min	LS	0.710086	0.502992	0.197985	-0.00997
	LI	-0.00309	-0.60149	-0.22449	-0.47253
	%Fuera LS/LI	0.00	0.00	5.00	2.50
45 min	LS	0.877151	0.787757	0.171844	0.167895
	LI	0.102261	-0.9654	-0.29008	-0.66201
	%Fuera LS/LI	2.94	0.00	0.00	0.00
60 min	LS	0.767271	0.785677	0.153605	-0.01073
	LI	0.070063	-0.55101	-0.22961	-0.51594
	%Fuera LS/LI	3.33	0.00	0.00	0.00
65 min	LS	0.705632	0.547245	0.0718	-0.05421
	LI	0.070368	-0.58725	-0.1988	-0.48079
	%Fuera LS/LI	5.00	10.00	2.50	2.50
70 min	LS	0.7998	0.755362	0.070047	0.085435
	LI	0.0617	-0.72986	-0.25155	-0.54194
	%Fuera LS/LI	7.50	5.00	5.00	2.5000
80 min	LS	0.594655	0.38507	0.102062	0.055734
	LI	0.025345	-0.41234	-0.24449	-0.50301
	%Fuera LS/LI	6.06	6.06	9.09	6.06
90 min	LS	0.73334	0.506271	0.081928	0.147915
	LI	-0.01601	-0.62894	-0.27059	-0.56658
	%Fuera LS/LI	3.03	0.00	3.33	0.00
100 min	LS	0.721475	0.773163	0.027781	-0.10991
	LI	0.167998	-0.48632	-0.29357	-0.45325
	%Fuera LS/LI	2.63	0.00	0.00	2.63

**Tabla VI. Resultados de datos calculados del limite superior y limite inferior, de los datos obtenidos por el método CMC 2:1**

Code	Descripción	DE	DL CMC	DC cmc	DH cmc
0 min	LS	1.095821	0.192992	0.678649	0.387469
	LI	0.099679	-1.04349	-0.27215	-0.06636
	%Fuera LS/LI	0.00%	0.00%	0	2.777778
5 min	LS	1.150485	0.047492	0.43663	0.376218
	LI	0.177915	-1.20429	-0.17703	-0.18862
	%Fuera LS/LI	0	2.00	4.00	6.00
10 min	LS	0.746921	0.601211	0.592517	0.315221
	LI	0.209746	-0.88588	-0.09985	-0.29322
	%Fuera LS/LI	0	0.00	3.33	0.00
15 min	LS	0.814704	0.457477	0.732802	0.252988
	LI	0.014925	-0.54637	-0.09132	-0.09891
	%Fuera LS/LI	3.703704	3.703704	3.703704	0.00
20 min	LS	0.755016	0.133187	0.549336	0.327032
	LI	0.054614	-0.67689	-0.18119	-0.2137
	%Fuera LS/LI	0	0	0	7.41
30 min	LS	0.839013	0.279269	0.611566	0.297064
	LI	0.217654	-0.9206	-0.0409	-0.18906
	%Fuera LS/LI	0	0	0	6.67
35 min	LS	0.898509	0.242169	0.765021	0.274735
	LI	0.108491	-0.85317	-0.35152	-0.24723
	%Fuera LS/LI	0	0	5.00	2.50
40 min	LS	0.805167	0.484414	0.654208	0.271742
	LI	0.070833	-0.57941	0.028792	-0.24524
	%Fuera LS/LI	2.50	7.5	2.50	5.00
45 min	LS	1.020716	0.631976	0.989732	0.256359
	LI	0.07595	-0.39198	-0.1014	-0.37053
	%Fuera LS/LI	0.00	8.333333	0.00	4.17
60 min	LS	0.834215	0.758551	0.712552	0.232682
	LI	0.173118	-0.52922	0.034115	-0.25802
	%Fuera LS/LI	0.00	0	3.00	4.00
65 min	LS	0.794646	0.52685	0.669022	0.133267
	LI	0.164354	-0.56735	0.096478	-0.21827
	%Fuera LS/LI	2.50	10.00	2.50	2.50
70 min	LS	0.889513	0.726932	0.76868	0.114798
	LI	0.117487	-0.70143	-0.09868	-0.2713
	%Fuera LS/LI	7.50	5.00	0.00	5.00
80 min	LS	0.752011	0.367363	0.708328	0.154769
	LI	0.033444	-0.39585	-0.05924	-0.27227
	%Fuera LS/LI	6.06	6.06	6.06	6.25
90 min	LS	0.874944	0.485239	0.803021	0.130556
	LI	-0.00361	-0.60257	-0.18502	-0.30656
	%Fuera LS/LI	3.33	0.00	3.33	3.33
100 min	LS	0.820462	0.733978	0.675631	0.091222
	LI	0.268109	-0.53684	0.182941	-0.31336
	%Fuera LS/LI	3.57	0.00	7.14	0.00

Tabla de datos calculados de las variables colorimétricas a un tiempo de 30 min de proceso de abrasión, obtenidas por el método CIELAB/CMC 2:1 y de los resultados estadísticos UCL/ LCL

**Tabla VII. Variables colorimétricas a un tiempo de 30 min de proceso de abrasión que fueron obtenidas por el método CIELAB y de los resultados estadísticos UCL/LCL**

Tiempo	Código	Descripción	DE	DL	DA	DB	UCL				LCL			
							DE	DL	DA	DB	DE	DL	DA	DB
30 min	542	55	0.44	-0.03	-0.01	-0.44	0.569	-0.174	0.074	-0.144	0.391	-0.492	-0.029	-0.264
30 min	372	38	0.43	0.04	0.16	-0.4	0.569	-0.174	0.074	-0.144	0.391	-0.492	-0.029	-0.264
30 min	374	38	0.39	0.03	0.05	-0.38	0.569	-0.174	0.074	-0.144	0.391	-0.492	-0.029	-0.264
30 min	541	55	0.38	0.1	-0.1	-0.35	0.569	-0.174	0.074	-0.144	0.391	-0.492	-0.029	-0.264
30 min	379	38	0.37	0.02	0.11	-0.35	0.569	-0.174	0.074	-0.144	0.391	-0.492	-0.029	-0.264
30 min	378	38	0.34	0.02	-0.03	-0.34	0.569	-0.174	0.074	-0.144	0.391	-0.492	-0.029	-0.264
30 min	545	55	0.66	-0.57	-0.13	-0.31	0.569	-0.174	0.074	-0.144	0.391	-0.492	-0.029	-0.264
30 min	550	55	0.73	-0.61	0.27	-0.29	0.569	-0.174	0.074	-0.144	0.391	-0.492	-0.029	-0.264
30 min	377	38	0.29	0.05	0.01	-0.28	0.569	-0.174	0.074	-0.144	0.391	-0.492	-0.029	-0.264
30 min	371	38	0.23	0.01	-0.05	-0.23	0.569	-0.174	0.074	-0.144	0.391	-0.492	-0.029	-0.264
30 min	198	20	0.45	-0.39	0.01	-0.23	0.569	-0.174	0.074	-0.144	0.391	-0.492	-0.029	-0.264
30 min	193	20	0.64	-0.59	0.13	-0.21	0.569	-0.174	0.074	-0.144	0.391	-0.492	-0.029	-0.264
30 min	373	38	0.27	0.07	-0.19	-0.18	0.569	-0.174	0.074	-0.144	0.391	-0.492	-0.029	-0.264
30 min	548	55	0.62	-0.59	-0.01	-0.18	0.569	-0.174	0.074	-0.144	0.391	-0.492	-0.029	-0.264
30 min	192	20	0.59	-0.56	0.04	-0.18	0.569	-0.174	0.074	-0.144	0.391	-0.492	-0.029	-0.264
30 min	547	55	0.63	-0.6	-0.04	-0.16	0.569	-0.174	0.074	-0.144	0.391	-0.492	-0.029	-0.264
30 min	191	20	0.69	-0.67	-0.02	-0.16	0.569	-0.174	0.074	-0.144	0.391	-0.492	-0.029	-0.264
30 min	549	55	0.6	-0.57	-0.07	-0.15	0.569	-0.174	0.074	-0.144	0.391	-0.492	-0.029	-0.264
30 min	546	55	0.55	-0.52	0.07	-0.15	0.569	-0.174	0.074	-0.144	0.391	-0.492	-0.029	-0.264
30 min	194	20	0.53	-0.51	-0.02	-0.14	0.569	-0.174	0.074	-0.144	0.391	-0.492	-0.029	-0.264
30 min	199	20	0.48	-0.46	-0.01	-0.14	0.569	-0.174	0.074	-0.144	0.391	-0.492	-0.029	-0.264
30 min	544	55	0.61	-0.59	0.03	-0.14	0.569	-0.174	0.074	-0.144	0.391	-0.492	-0.029	-0.264
30 min	40	20	0.83	-0.8	0.16	-0.14	0.569	-0.174	0.074	-0.144	0.391	-0.492	-0.029	-0.264
30 min	543	55	0.19	0.11	0.08	-0.13	0.569	-0.174	0.074	-0.144	0.391	-0.492	-0.029	-0.264
30 min	380	38	0.27	-0.25	-0.02	-0.1	0.569	-0.174	0.074	-0.144	0.391	-0.492	-0.029	-0.264
30 min	195	20	0.52	-0.51	0.06	-0.1	0.569	-0.174	0.074	-0.144	0.391	-0.492	-0.029	-0.264
30 min	375	38	0.46	-0.43	0.13	-0.09	0.569	-0.174	0.074	-0.144	0.391	-0.492	-0.029	-0.264
30 min	196	20	0.55	-0.55	-0.01	-0.08	0.569	-0.174	0.074	-0.144	0.391	-0.492	-0.029	-0.264
30 min	197	20	0.33	-0.32	-0.02	-0.07	0.569	-0.174	0.074	-0.144	0.391	-0.492	-0.029	-0.264
30 min	376	38	0.33	-0.31	0.1	-0.02	0.569	-0.174	0.074	-0.144	0.391	-0.492	-0.029	-0.264

**Tabla VIII.**

**Variables colorimétricas a un tiempo de 30 min de proceso de abrasión que fueron obtenidas por el método CMC 2:1 y de los resultados estadísticos UCL/LCL**

Tiempo	Code	Descripcion	DE	DL	DCcmc	DHcmc	UCL				LCL			
							Decmc	DLcmc	DCcmc	DHcmc	Decmc	DLcmc	DCcmc	DHcmc
30 min	373	38	0.36	0.07	0.29	-0.2	0.608	-0.167	0.369	0.116	0.449	-0.474	0.202	-0.008
30 min	545	55	0.72	-0.55	0.45	-0.11	0.608	-0.167	0.369	0.116	0.449	-0.474	0.202	-0.008
30 min	549	55	0.6	-0.55	0.23	-0.07	0.608	-0.167	0.369	0.116	0.449	-0.474	0.202	-0.008
30 min	541	55	0.52	0.09	0.51	-0.07	0.608	-0.167	0.369	0.116	0.449	-0.474	0.202	-0.008
30 min	371	38	0.33	0.01	0.32	-0.03	0.608	-0.167	0.369	0.116	0.449	-0.474	0.202	-0.008
30 min	547	55	0.63	-0.58	0.23	-0.02	0.608	-0.167	0.369	0.116	0.449	-0.474	0.202	-0.008
30 min	196	20	0.54	-0.53	0.11	-0.01	0.608	-0.167	0.369	0.116	0.449	-0.474	0.202	-0.008
30 min	197	20	0.33	-0.31	0.11	-0.01	0.608	-0.167	0.369	0.116	0.449	-0.474	0.202	-0.008
30 min	380	38	0.28	-0.24	0.15	-0.01	0.608	-0.167	0.369	0.116	0.449	-0.474	0.202	-0.008
30 min	194	20	0.53	-0.49	0.19	-0.01	0.608	-0.167	0.369	0.116	0.449	-0.474	0.202	-0.008
30 min	199	20	0.48	-0.44	0.19	0	0.608	-0.167	0.369	0.116	0.449	-0.474	0.202	-0.008
30 min	191	20	0.69	-0.65	0.23	0	0.608	-0.167	0.369	0.116	0.449	-0.474	0.202	-0.008
30 min	378	38	0.48	0.02	0.47	0	0.608	-0.167	0.369	0.116	0.449	-0.474	0.202	-0.008
30 min	548	55	0.63	-0.57	0.25	0.01	0.608	-0.167	0.369	0.116	0.449	-0.474	0.202	-0.008
30 min	198	20	0.49	-0.38	0.31	0.04	0.608	-0.167	0.369	0.116	0.449	-0.474	0.202	-0.008
30 min	377	38	0.4	0.05	0.39	0.04	0.608	-0.167	0.369	0.116	0.449	-0.474	0.202	-0.008
30 min	542	55	0.62	-0.03	0.62	0.04	0.608	-0.167	0.369	0.116	0.449	-0.474	0.202	-0.008
30 min	544	55	0.61	-0.57	0.19	0.06	0.608	-0.167	0.369	0.116	0.449	-0.474	0.202	-0.008
30 min	192	20	0.6	-0.54	0.25	0.07	0.608	-0.167	0.369	0.116	0.449	-0.474	0.202	-0.008
30 min	195	20	0.51	-0.49	0.14	0.09	0.608	-0.167	0.369	0.116	0.449	-0.474	0.202	-0.008
30 min	374	38	0.53	0.03	0.52	0.1	0.608	-0.167	0.369	0.116	0.449	-0.474	0.202	-0.008
30 min	546	55	0.55	-0.5	0.2	0.11	0.608	-0.167	0.369	0.116	0.449	-0.474	0.202	-0.008
30 min	543	55	0.24	0.11	0.18	0.12	0.608	-0.167	0.369	0.116	0.449	-0.474	0.202	-0.008
30 min	376	38	0.33	-0.3	0.02	0.14	0.608	-0.167	0.369	0.116	0.449	-0.474	0.202	-0.008
30 min	379	38	0.5	0.02	0.47	0.17	0.608	-0.167	0.369	0.116	0.449	-0.474	0.202	-0.008
30 min	375	38	0.47	-0.41	0.12	0.19	0.608	-0.167	0.369	0.116	0.449	-0.474	0.202	-0.008
30 min	193	20	0.67	-0.57	0.28	0.19	0.608	-0.167	0.369	0.116	0.449	-0.474	0.202	-0.008
30 min	200	20	0.83	-0.77	0.19	0.22	0.608	-0.167	0.369	0.116	0.449	-0.474	0.202	-0.008
30 min	372	38	0.59	0.04	0.55	0.22	0.608	-0.167	0.369	0.116	0.449	-0.474	0.202	-0.008
30 min	550	55	0.79	-0.59	0.4	0.35	0.608	-0.1671	0.3688	0.1162	0.4488	-0.474	0.2018	-0.008

**Tabla IX.****Análisis anova DEcmc vs. DE/DLcmc vs. DL  
CIELAB, a diferentes tiempos de 0 a 100 min**

Tiempo(min)	DLcmc vs. DL		DEcmc vs. DE	
	F	Fcrit	F	Fcrit
	Entre grupos	Entre grupos	Entre grupos	Entre grupos
0	0.063	3.963	0.581	3.963
5	0.101	3.949	0.003	3.949
10	5.756	4.043	1.586	4.043
15	0.045	3.996	4.919	3.996
20	0.064	4.016	1.485	4.007
30	0.027	4.007	1.485	4.007
35	0.04	3.963	1.299	3.963
40	9.00E-04	3.936	4.591	3.963
45	5.337	4.013	1.309	4.013
60	0.001	4.007	4.301	4.007
65	2.00E-05	3.963	6.315	3.963
70	0	3.963	3.13	3.963
80	2.00E-04	3.991	4.695	3.991
90	0.002	4.007	2.444	4.007
100	8.06E-01	4.02	6.641	4.02



## Sección de fórmulas correlacionadas

Tablas de formulas correlacionadas obtenidas de los resultados de lecturas espectrofotométricas, a diferentes tiempos de proceso de abrasión por el método CIELAB y CMC 2:1

**Tabla X. Variables espectrofotométricas vs. Tiempo / CIELAB**

Descripción	Fórmula	Coefficiente de correlación
DE vs. tiempo	$DE = 7E-11T^6 - 2E-08T^5 + 3E-06T^4 - 0.0002T^3 + 0.0081T^2 - 0.1323T + 1.1485$	0.9316
DL vs. tiempo	$DL = 6E-11T^6 - 2E-08T^5 + 1E-06T^4 - 6E-05T^3 + 0.0013T^2 - 0.002T - 0.4876$	0.9196
DA vs. tiempo	$DA = -3E-11T^6 + 7E-09T^5 - 6E-07T^4 + 2E-05T^3 + 0.0002T^2 - 0.0104T + 0.1356$	0.9473
DB vs. tiempo	$DB = 2E-11T^6 - 8E-09T^5 + 1E-06T^4 - 7E-05T^3 + 0.002T^2 - 0.0287T + 0.0094$	0.911

**Tabla XI. Variables espectrofotométricas vs. Tiempo / CMC 2:1**

Descripción	Fórmula	Coefficiente de correlación
DEcmc vs. tiempo	$DEcmc = -3E-12T^6 - 6E-11T^5 + 2E-07T^4 - 4E-05T^3 + 0.0018T^2 - 0.0331T + 0.5978$	0.948
DLcmc vs. tiempo	$DLcmc = 7E-11T^6 - 2E-08T^5 + 2E-06T^4 - 7E-05T^3 + 0.0008T^2 + 0.0144T - 0.4933$	0.7086
DCcmc vs. tiempo	$DCcmc = -8E-11T^6 + 3E-08T^5 - 3E-06T^4 + 0.0002T^3 - 0.004T^2 + 0.0361T + 0.2063$	0.8139
DHcmc vs. tiempo	$DHcmc = 4E-11T^6 - 1E-08T^5 + 2E-06T^4 - 8E-05T^3 + 0.0021T^2 - 0.0254T + 0.1841$	0.9645

Tablas de fórmulas correlacionadas del costo por unidad en dólares, contra las variables espectrofotométricas por los métodos CIELAB y CMC 2:1

**Tabla XII. Costo (\$unidad) vs. variables espectrofotométricas / CIELAB**

Descripción	Fórmula	Coefficiente de correlación
DE secuencia 1	$CT = -6833.9DE^4 + 8757.8DE^3 - 4449.1DE^2 + 1028.1DE - 75.141$	0.5367
DE secuencia 2	$CT = -1290.7DE^3 + 2461.8DE^2 - 1558.2DE + 331.47$	0.8484
DL secuencia 1	$CT = 14886DL^5 + 26304DL^4 + 17399DL^3 + 5320.7DL^2 + 747.91DL + 44.492$	1
DL secuencia 2	$CT = 1E+06DL^5 - 675167DL^4 + 125655DL^3 - 6886.7DL^2 - 72.989DL + 14.325$	0.9999
DA secuencia 1	$CT = 7.955e^{-5.832}DA$	0.9545
DB secuencia 1	$CT = -3E+09DB^6 - 5E+09DB^5 - 3E+09DB^4 - 1E+09DB^3 - 2E+08DB^2 - 2E+07DB - 773396$	0.9974
DB secuencia 2	$CT = 0.0637DB^6 - 1.4208DB^5 + 12.185DB^4 - 50.556DB^3 + 104.93DB^2 - 101.78DB + 42.882$	1

**Tabla XIII. Costo (\$unidad) vs. variables espectrofotométricas/ CMC 2:1**

Descripción	Fórmula	Coficiente de correlación
DEcmc secuencia 1	$CT = -6E+07DEcmc^5 + 1E+08DEcmc^4 - 1E+08DEcmc^3 + 5E+07DEcmc^2 - 1E+07DEcmc + 1E+06$	0.7204
DEcmc secuencia 2	$CT = -24.881Ln(DEcmc) - 6.8809$	0.7339
DLcmc secuencia 1	$CT = -0.0766DLcmc^6 + 1.6456DLcmc^5 - 13.618DLcmc^4 + 54.805DLcmc^3 - 111.23DLcmc^2 + 107.54DLcmc - 34.618$	1
DLcmc secuencia 2	$CT = 0.0181DLcmc^5 - 0.3264DLcmc^4 + 2.2487DLcmc^3 - 8.5743DLcmc^2 + 20.297DLcmc - 7.958$	0.9464
DHcmc secuencia 1	$CT = 9.43e^{-5.2201DHcmc}$	0.9729
DCcmc secuencia 1	$CT = 3.074e^{3.3945DCcmc}$	0.5216
DCcmc secuencia 2	$CT = 3.074e^{3.3945DCcmc}$	0.5216

Tablas de fórmulas correlacionadas tridimensionales por medio de los métodos CIELAB y CMC 2:1

**Tabla XIV.**

**Ecuaciones correlacionadas de los gráficos DL vs. DA vs. DB/ DE vs. DA vs. DB / costo vs. DA vs. DB / tiempo vs. DA vs. DB**

Descripción	Ecuación correlacionada	Error estándar de estimación	Coefficiente de correlación	Estimación no sesgada
DL vs. DA vs. DB	$DL = 0.0004 - 3.416DA + 1.105DB$	0.181	0.978	0.956
DE vs. DA vs. DB	$DE = 0.280098 + 2.020687DA - 1.07955DB$	0.100	0.972	0.943
COSTO vs. DA vs. DB	$CT = 9.03597 - 48.771DA + 1.047655DB$	1.595	0.994	0.988
TIEMPO vs. DA vs. DB	$T = 41.06142 - 379.847DA + 1.055194DB$	13.340	0.994	0.987

**Tabla XV.**

**Ecuaciones correlacionadas de los gráficos DL<sub>cmc</sub> vs. DC<sub>cmc</sub> vs. DH<sub>cmc</sub> / DE<sub>cmc</sub> vs. DC<sub>cmc</sub> vs. DH<sub>cmc</sub> / costo vs. DC<sub>cmc</sub> vs. DH<sub>cmc</sub> / tiempo vs. DC<sub>cmc</sub> vs. DH<sub>cmc</sub>**

Descripción	Ecuación correlacionada	Error estándar de estimación	Coefficiente de correlación	Estimación no sesgado
DL <sub>cmc</sub> vs. DC vs. DH	$DL_{cmc} = -0.38231 + 0.723872DC_{cmc} + 2.945567DH_{cmc}$	0.304	0.919	0.841
DE <sub>cmc</sub> vs. DC vs. DH	$DE_{cmc} = 0.48426 + 0.032799DC_{cmc} + 0.248664DH_{cmc}$	0.085	0.953	0.907
COSTO vs. DC vs. DH	$CT = 13.2523 - 12.6599DC_{cmc} - 1.96528DH_{cmc}$	4.726	0.940	0.881
TIEMPO vs. DC vs. DH	$T = 77.25162 - 106.501DC_{cmc} - 2.08607DH_{cmc}$	38.799	0.937	0.871

## Sección de datos originales

Tabla de resultados originales promedios de las variables colorimétricas por el método cielab y los resultados de los costos por fórmula, al variar el tiempo de proceso

**Tabla XVI. Variables espectrofotométricas promedios, a diferentes tiempos de proceso de abrasión y costos por formula, al variar el tiempo de proceso todo por medio del método CIELAB**

Tiempo (min)	DE	DL	DA	DB	Costo(\$)
0	0.5575	-0.4425	0.13775	0.15025	3.822
5	0.66725	-0.601	0.08175	-0.0925	4.442
10	0.4305	-0.351	0.052	-0.133	5.062
15	0.152806	0.225845	0.068418	0.13364	5.682
20	0.37733	-0.285	0.03366	-0.14833	6.302
30	0.48	-0.33267	0.022667	-0.204	7.542
35	0.45675	-0.3175	2.08E-18	-0.14675	8.162
40	0.17377	0.26912	0.0587	0.11271	8.782
45	0.4897	-0.08882	-0.05912	-0.24706	9.402
60	0.418666	0.117333	-0.038	-0.26333	11.262
65	0.388	-0.02	-0.0635	-0.2675	11.882
70	0.43075	0.01275	-0.09075	-0.22825	12.502
80	0.31	-0.01364	-0.07121	-0.22364	13.742
90	0.35866	-0.06133	-0.09433	-0.20933	14.982
100	0.44473	0.143421	-0.13289	-0.28158	16.222

**Tabla XVII**

**Variables espectrofotométricas promedios a diferentes tiempos de proceso de abrasión y costos por fórmula, al variar el tiempo de proceso, todo evaluado por medio del método CMC 2:1**

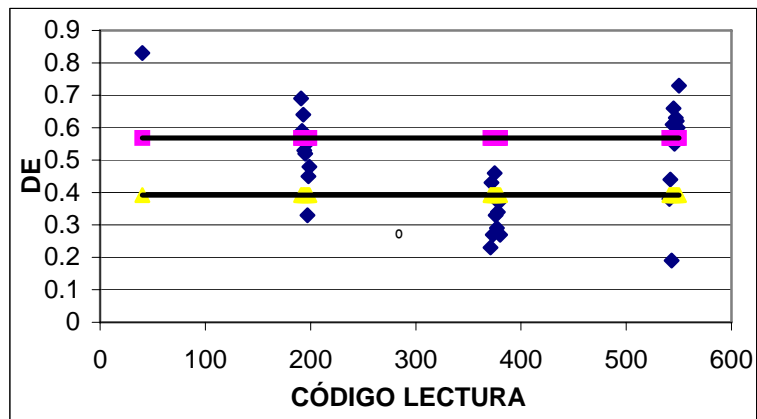
Tiempo	DE	DLcmc	DCcmc	DHcmc	Costo(\$)
0	0.59775	-0.4253	0.20325	0.18725	3.822
5	0.6642	-0.5784	0.1298	0.0938	4.442
10	0.5123	-0.5412	0.12987	0.09412	5.062
15	0.414814	-0.0444	0.320741	0.077037	5.682
20	0.40481	-0.2719	0.18407	0.056667	6.302
30	0.52833	-0.3207	0.28533	0.054	7.542
35	0.5035	-0.3055	0.20675	0.01375	8.162
40	0.438	-0.0475	0.3415	0.01325	8.782
45	0.5483	0.12	0.4441	-0.05708	9.402
60	0.50366	0.11467	0.3733	-0.01267	11.262
65	0.4795	-0.0203	0.38275	-0.0425	11.882
70	0.4789	-0.1427	0.21478	-0.3125	12.502
80	0.39272	-0.0142	0.32454	-0.05939	13.742
90	0.43566	-0.0587	0.309	-0.088	14.982
100	0.54428	0.0985	0.4292	-0.11107	16.222

### Apéndice 3

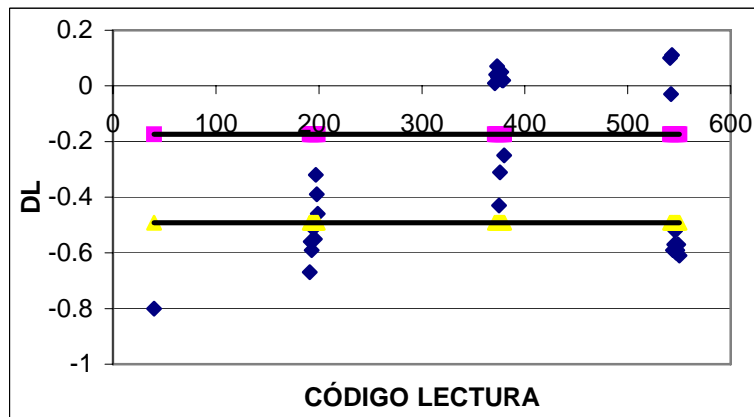
#### Sección efecto del tiempo de abrasión a 30 min

Figura 30 min de abrasión vs. los códigos de lecturas método cielab

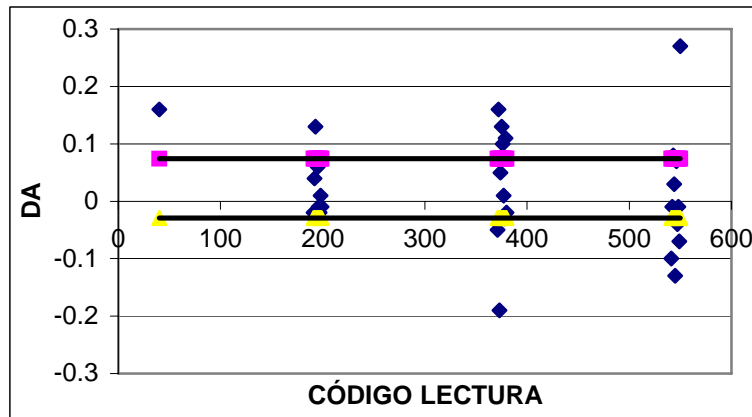
**Figura 17.** Resultados de DE por el método CIELAB ploteados vs. el código de lectura, respecto a UCL/LCL



**Figura No.18** Resultados de DL por el método CIELAB ploteados vs. el código de lectura, respecto a UCL/LCL



**Figura No.19** Resultados de DA por el método CIELAB  
 ploteados vs. el código de lectura, respecto a  
 UCL/LCL



**Figura No.20** Resultados de DB por el método CIELAB  
 ploteados vs. el código de lectura, respecto a  
 UCL/LCL

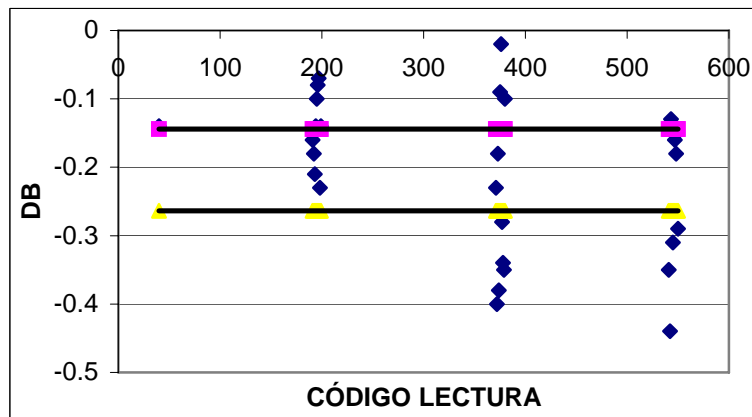
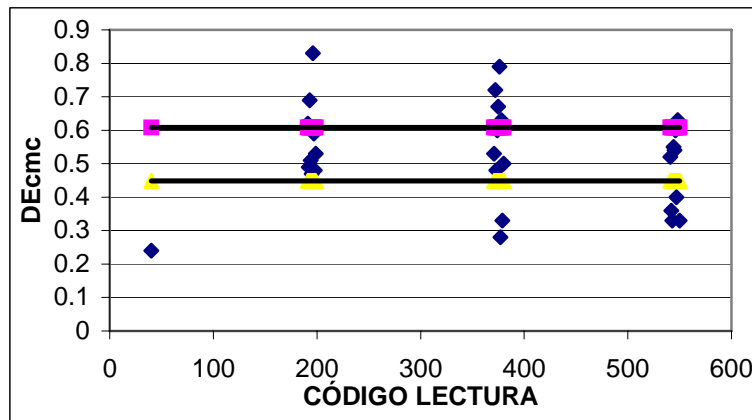


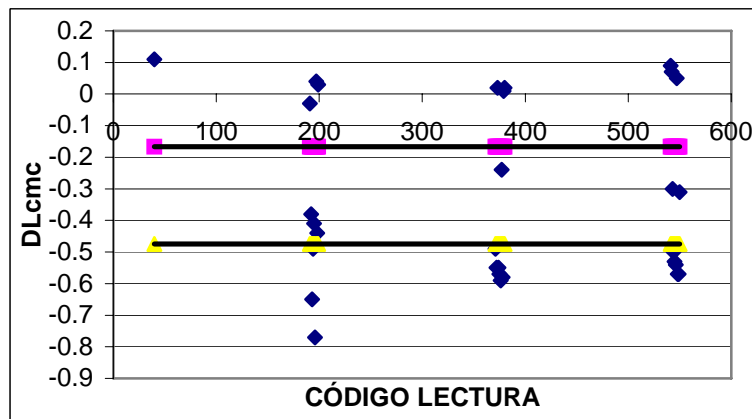


Figura tiempo de 30 min de abrasión vs. los códigos de lecturas método cmc 2:1

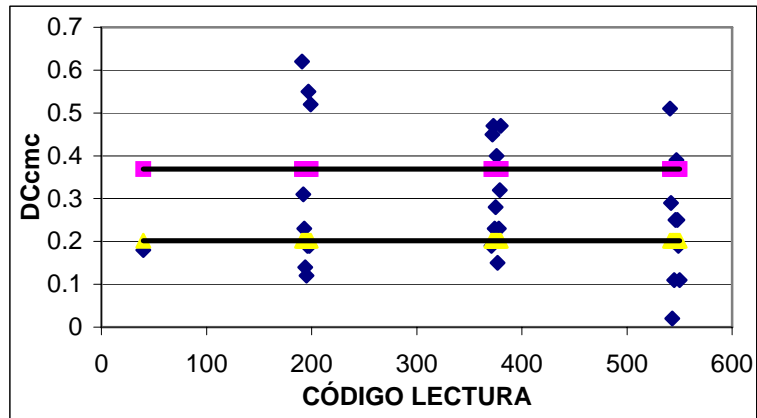
**Figura No.21** Resultados de DEcmc por el método CMC 2:1 ploteados vs. el código de lectura, respecto a UCL/LCL



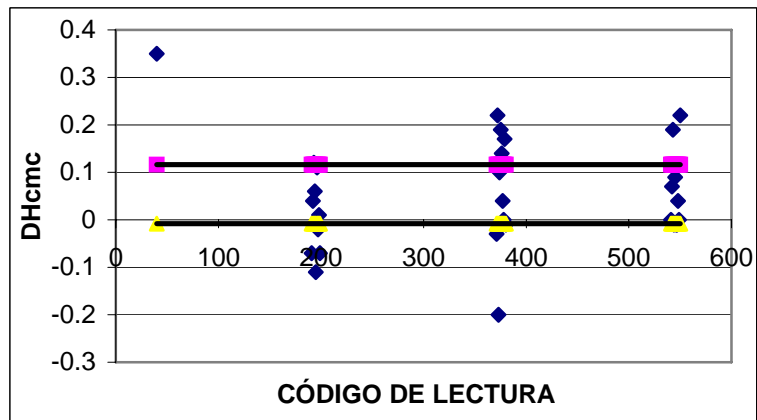
**Figura No.22** Resultados de DLcmc por el método CMC 2:1 ploteados vs. el código de lectura, respecto a UCL/LCL



**Figura No.23** Resultados de DEcmc por el método CMC 2:1  
 ploteados vs. el código de lectura, respecto a  
 UCL/LCL



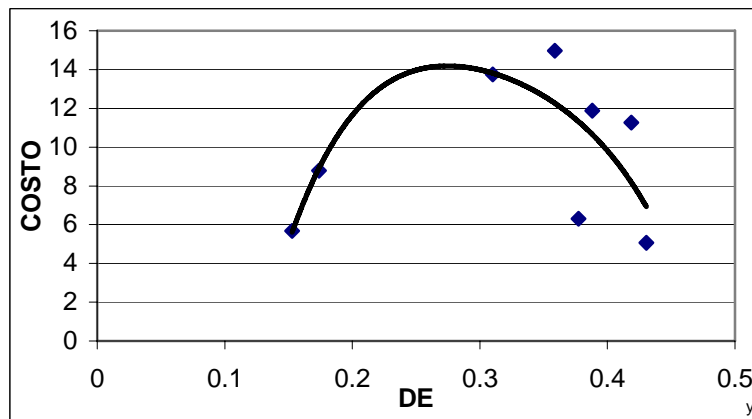
**Figura No.24** Resultados de DHcmc por el método CMC 2:1  
 ploteados vs. el código de lectura, respecto a  
 UCL/LCL



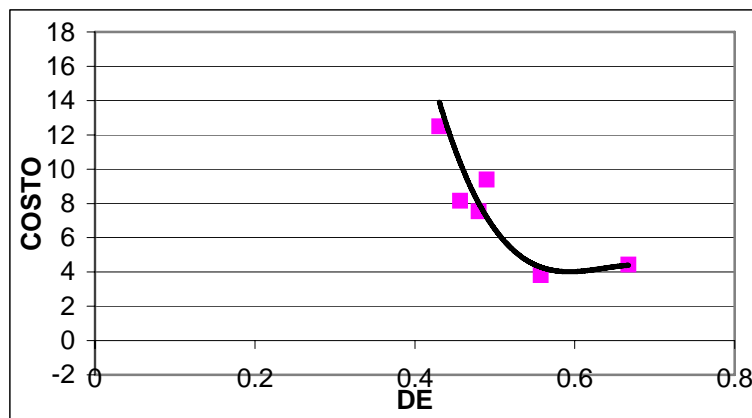
## Sección efecto del costo respecto del tiempo

Figuras costo (\$unidad) vs. variables colorimétricas por el método CIELAB

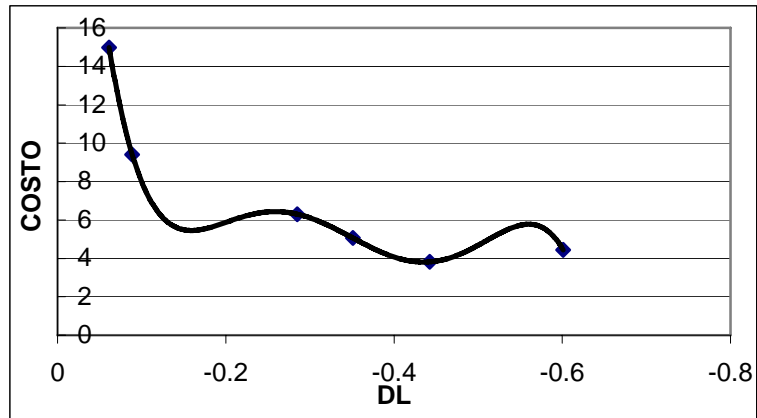
**Figura No.25** Resultados correlacionados del costo respecto a DE, por el método CIELAB establecido como secuencia 1



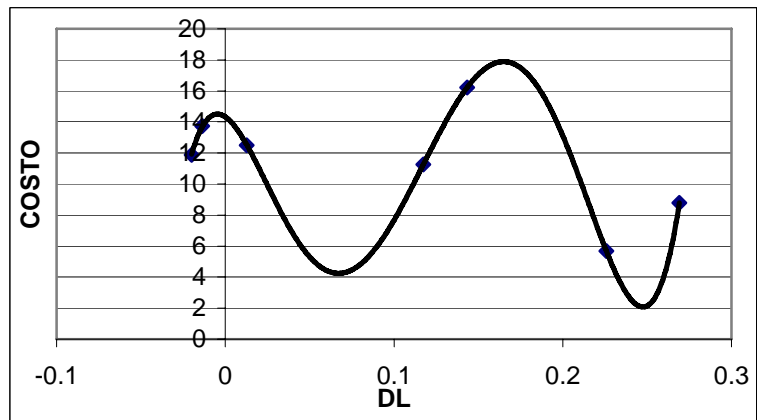
**Figura No.26** Resultados correlacionados del costo respecto a DE, por el método CIELAB establecido como secuencia 2



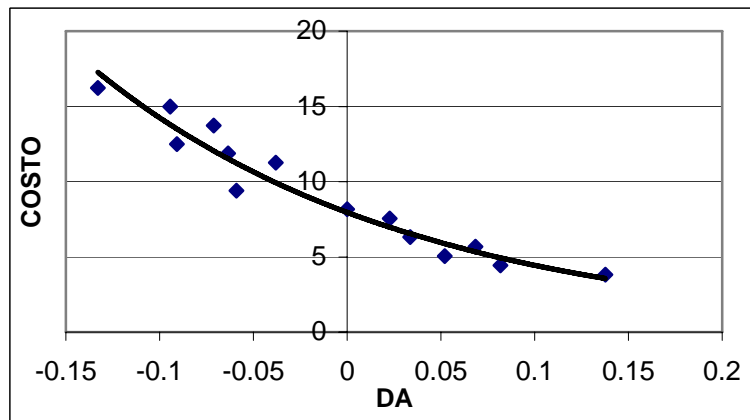
**Figura No.27** Resultados correlacionados del costo respecto a DL, por el método CIELAB establecido como secuencia 1



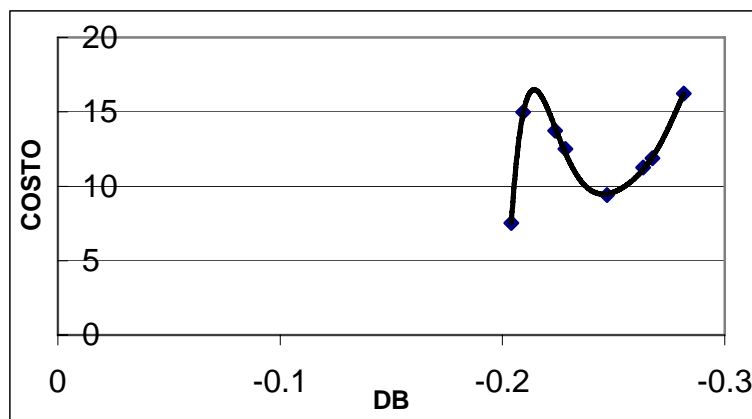
**Figura No.28** Resultados correlacionados del costo respecto a DL, por el método CIELAB establecido como secuencia 2



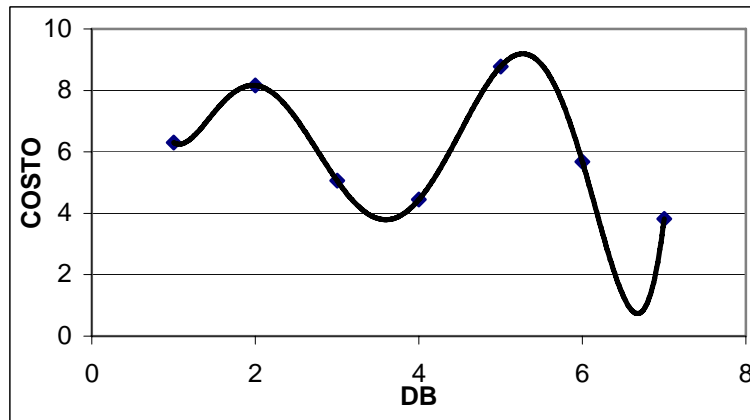
**Figura No.29** Resultados correlacionados del costo respecto a DA, por el método CIELAB establecido como secuencia 1



**Figura No.30** Resultados correlacionados del costo respecto a DB, por el método CIELAB establecido como secuencia 1

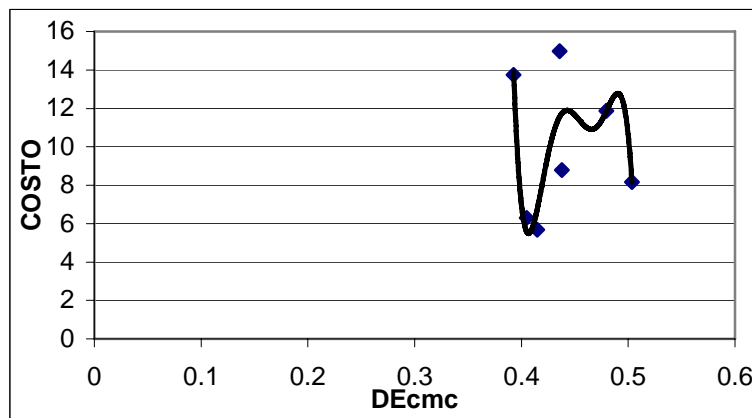


**Figura No.31** Resultados correlacionados del costo respecto a DB, por el método CIELAB establecido como secuencia 2

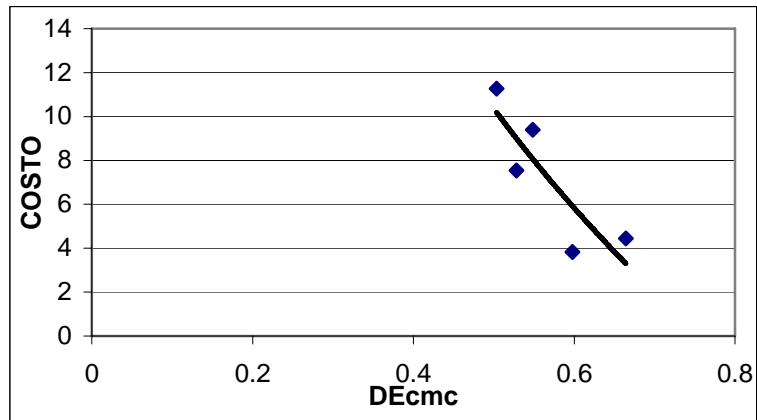


FIGURAS COSTO (\$unidad) VS. VARIABLES COLORIMÉTRICAS POR EL MÉTODO CMC 2:1

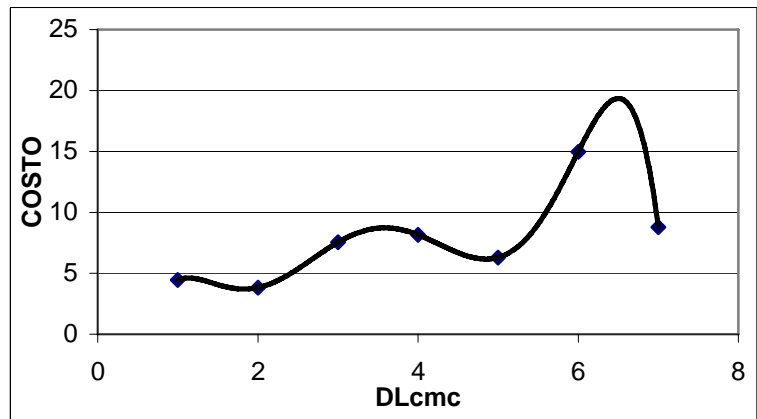
**Figura No.32** Resultados correlacionados del costo respecto a DEcmc, por el método CMC 2:1 establecido como secuencia 1



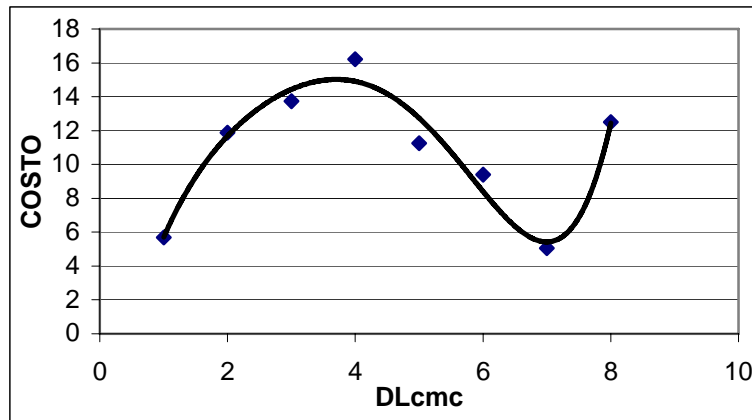
**Figura No.33** Resultados correlacionados del costo respecto a DEcmc, por el método CMC 2:1 establecido como secuencia 2



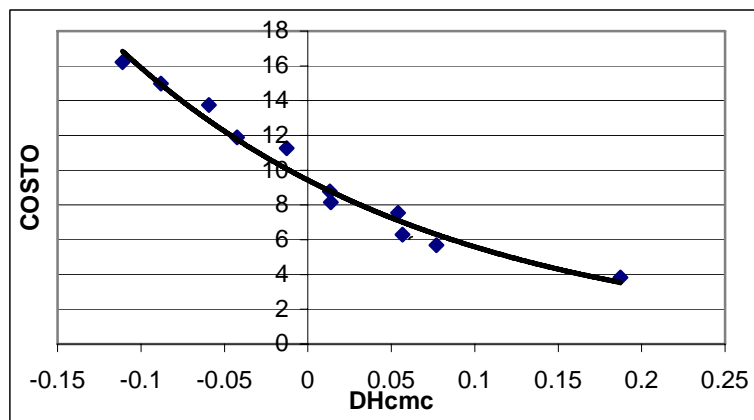
**Figura No.34** Resultados correlacionados del costo respecto a DLcmc, por el método CMC 2:1 establecido como secuencia 1



**Figura No.35** Resultados correlacionados del costo respecto a DLcmc, por el método CMC 2:1 establecido como secuencia 2

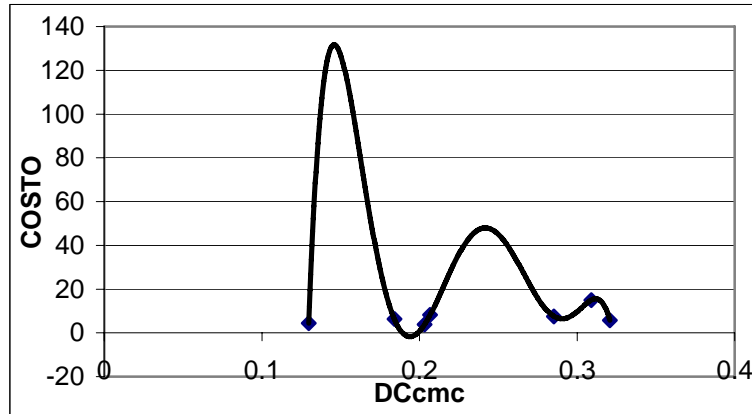


**Figura No.36** Resultados correlacionados del costo respecto a DHcmc, por el método CMC 2:1 establecido como secuencia 1

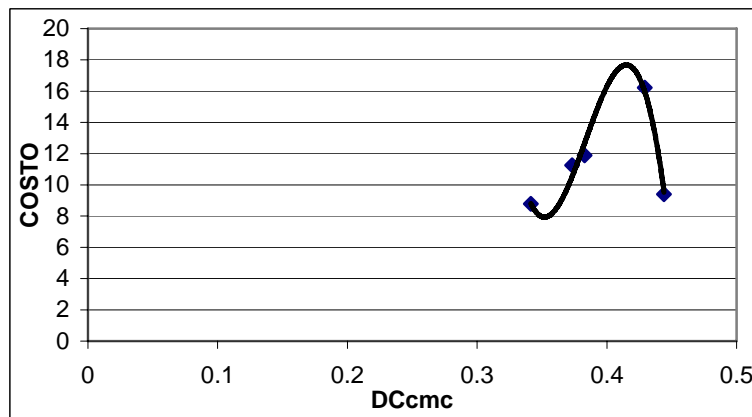




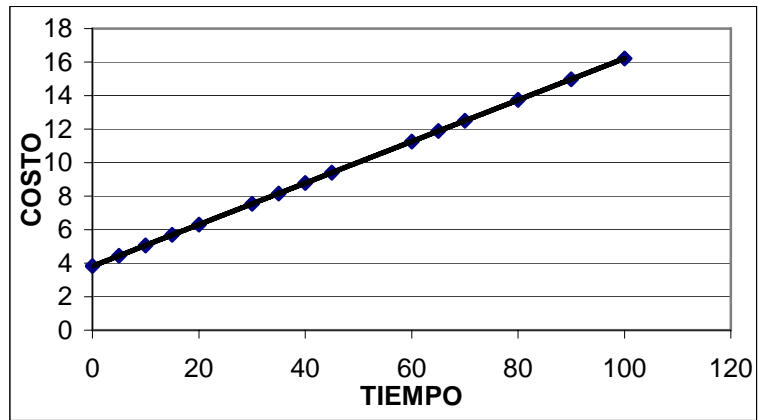
**Figura No.37** Resultados correlacionados del costo respecto a DCcmc, por el método CMC 2:1 establecido como secuencia 1



**Figura No.38** Resultados correlacionados del costo respecto a DCcmc, por el método CMC 2:1 establecido como secuencia 2

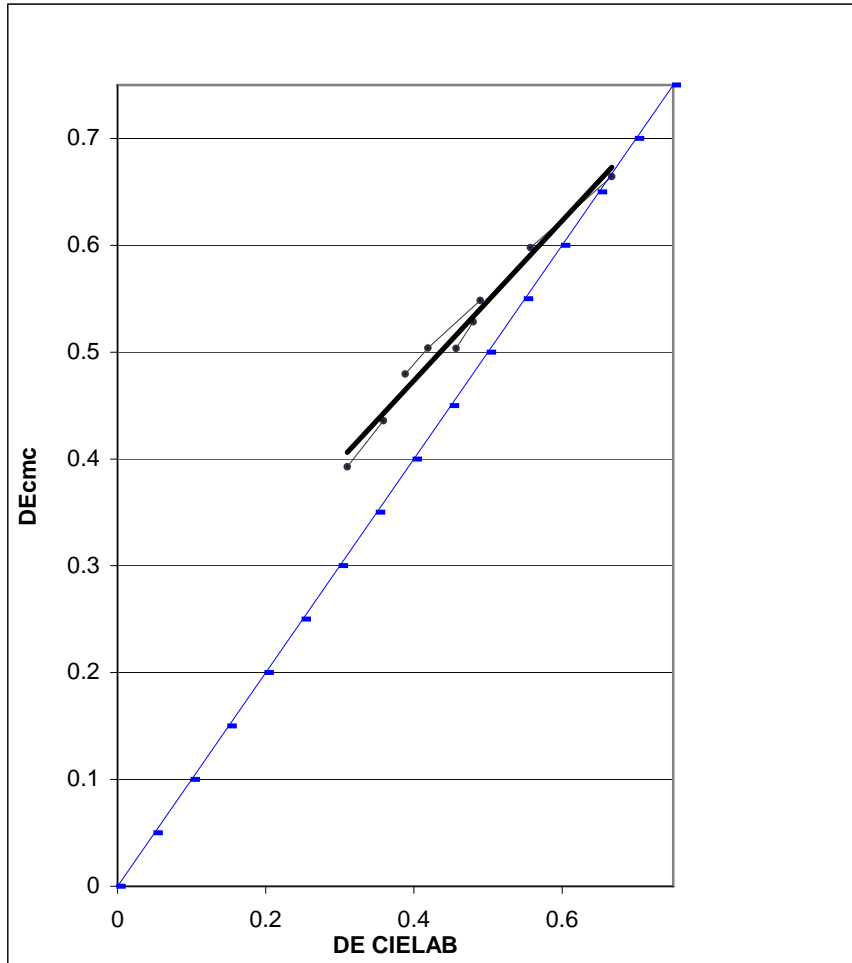


**Figura No.39** Resultados correlacionados del costo, respecto al tiempo de proceso de abrasión

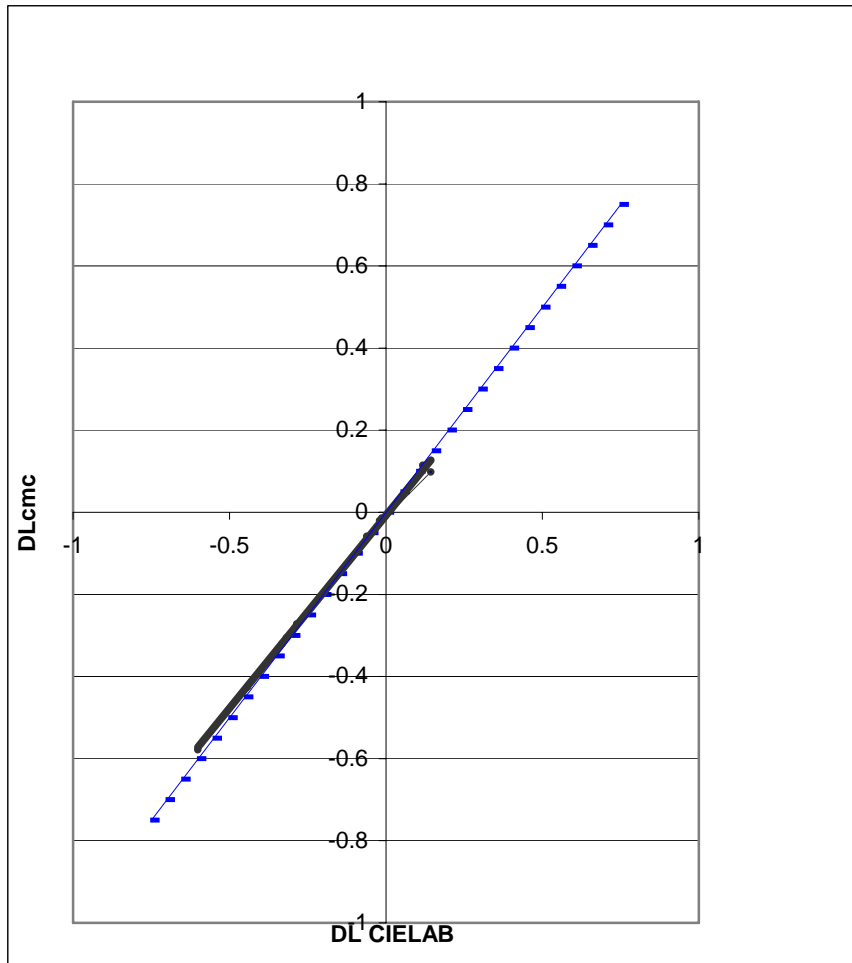


**Figura No.40**

**Resultados correlacionados del DEcmc vs. DE ideal, comparado con los datos reales de DEcmc vs. DE**



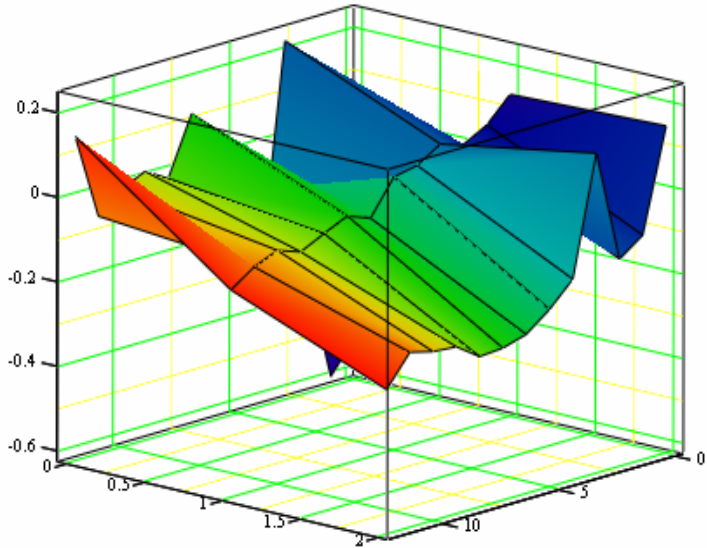
**Figura No.41** Resultados correlacionados del DLcmc vs. DL ideal, comparado con los datos reales de DLcmc vs. DL



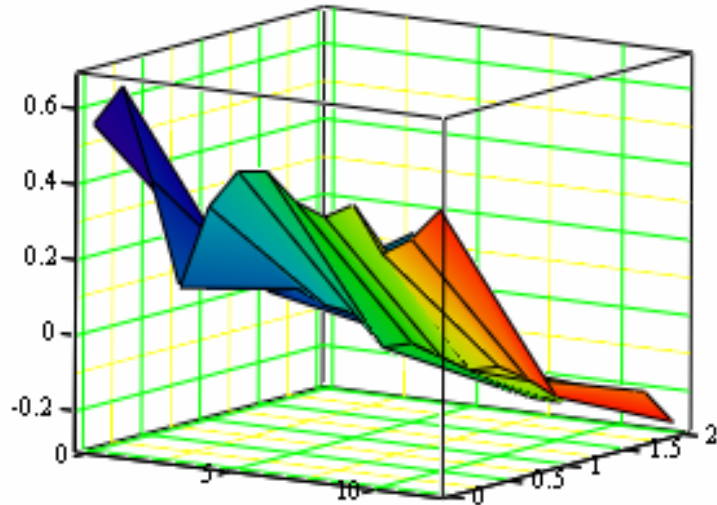
**Sección de gráficas tridimensionales del color**

Figuras tridimensionales del color, por los métodos cielab y cmc 2:1

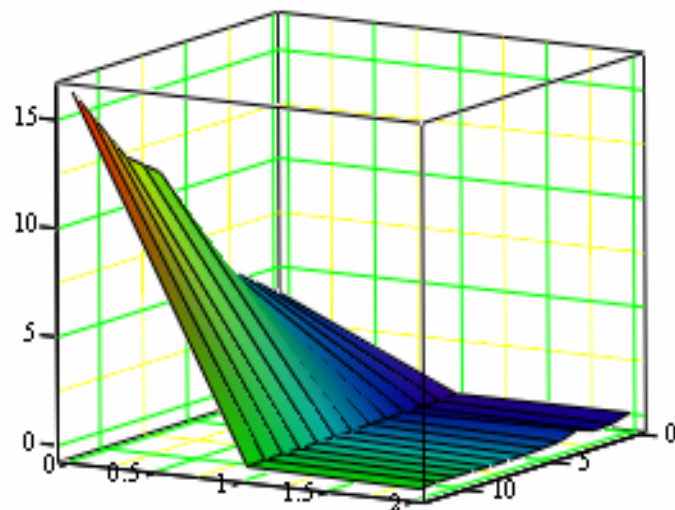
**Figura No.42      Resultados originales graficados en un plano tridimensional, de acuerdo con DL vs. DA vs. DB**



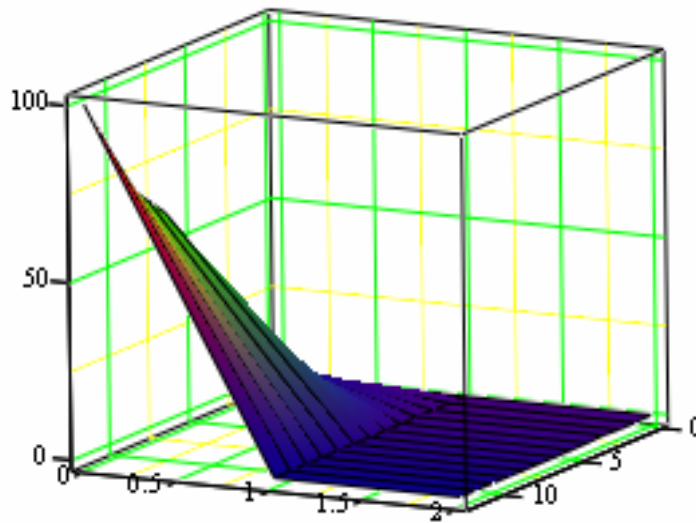
**Figura No.43** Resultados originales graficados en un plano tridimensional, de acuerdo con DE vs. DA vs. DB



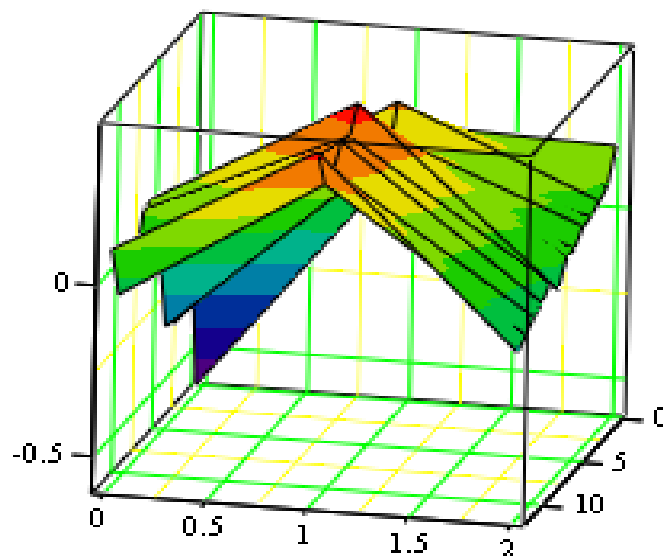
**Figura No.44** Resultados originales graficados en un plano tridimensional, de acuerdo con el COSTO vs. DA vs. DB



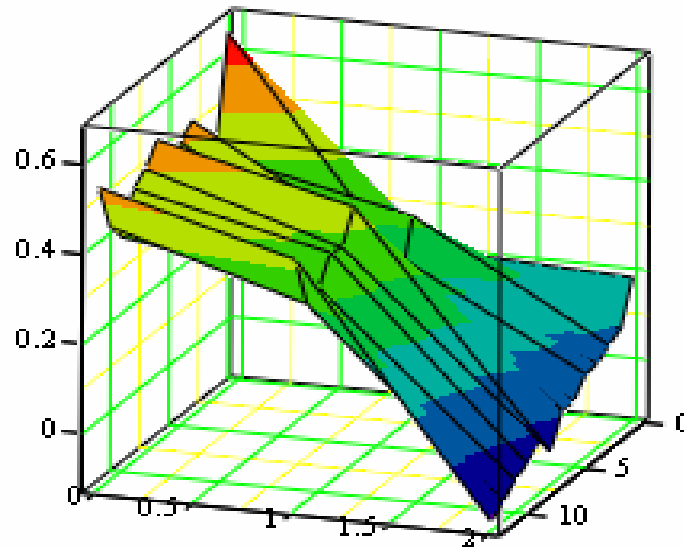
**Figura No.45** Resultados originales graficados en un plano tridimensional, de acuerdo con el TIEMPO vs. DA vs. DB



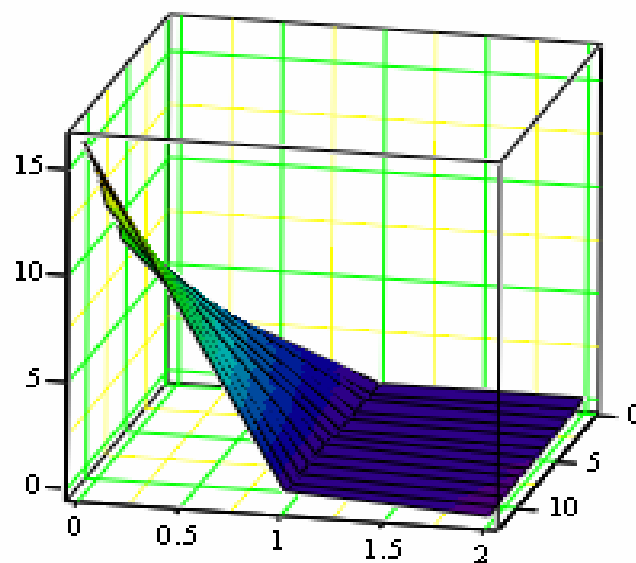
**Figura No.46** Resultados originales graficados en un plano tridimensional, de acuerdo con DLcmc vs. DCcmc vs. DHcmc



**Figura No.47** Resultados originales graficados en un plano tridimensional, de acuerdo con DEcmc vs. DÇcmc vs. DHcmc

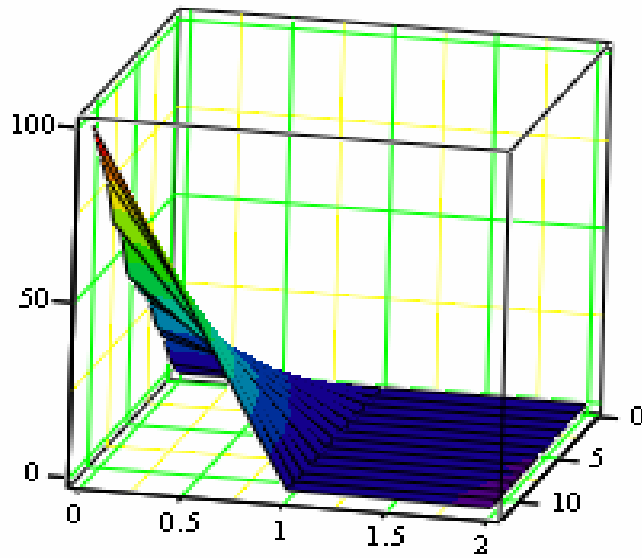


**Figura No.48** Resultados originales graficados en un plano tridimensional, de acuerdo con COSTO vs. DCcmc vs. DHcmc





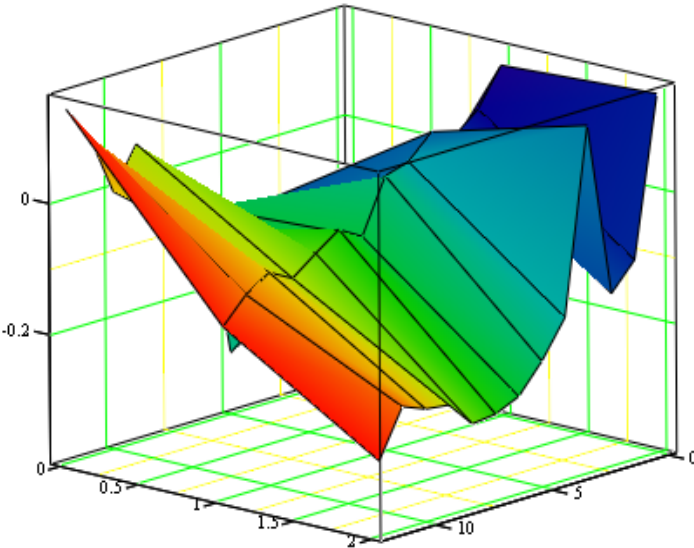
**Figura No.49** Resultados originales graficados en un plano tridimensional, de acuerdo con el TIEMPO vs. DCcmc vs. DHcmc



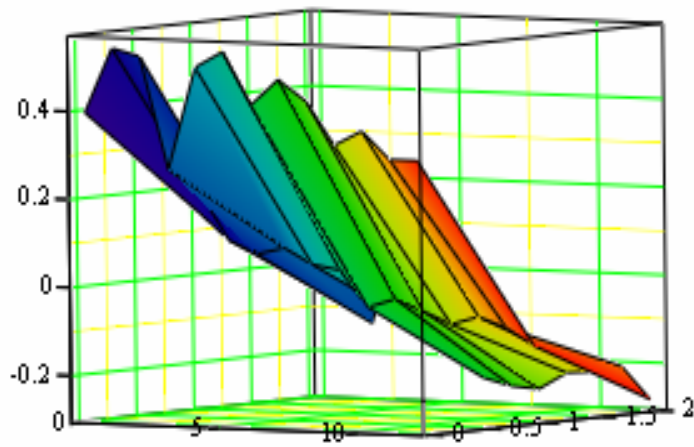
**Sección gráficas correlacionadas tridimensionales del color**

Figuras correlacionados tridimensionales del color por los métodos cielab y cmc 2:1

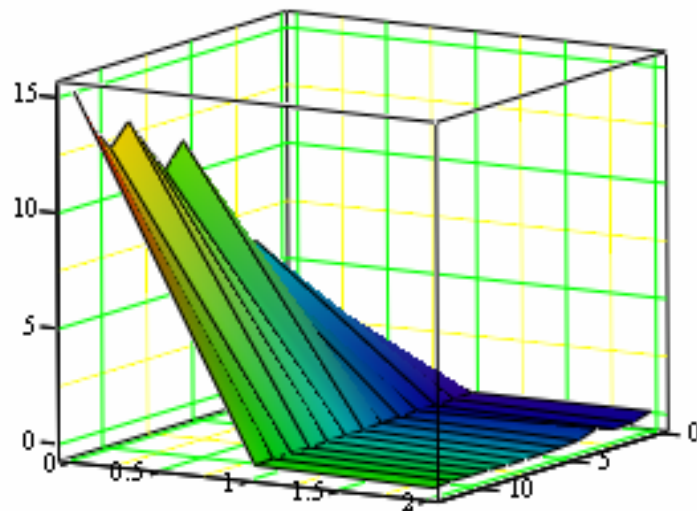
**Figura No.50** Resultados correlacionados, graficados en un plano tridimensional, de acuerdo con DL vs. DA vs. DB



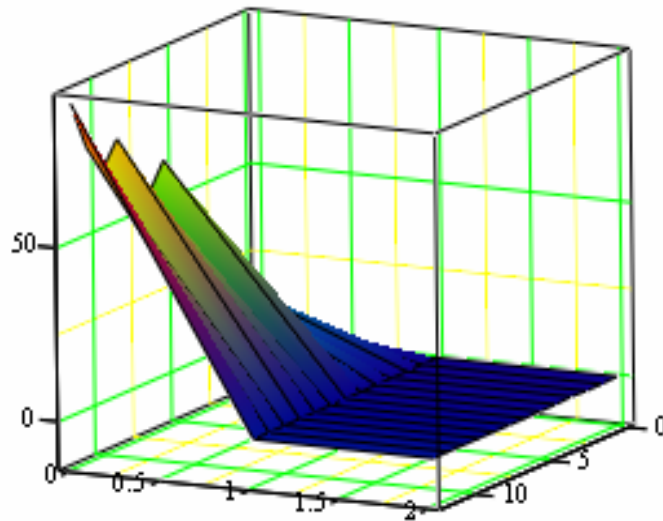
**Figura No.51** Resultados correlacionados graficados en un plano tridimensional, de acuerdo con DE vs. DA vs. DB



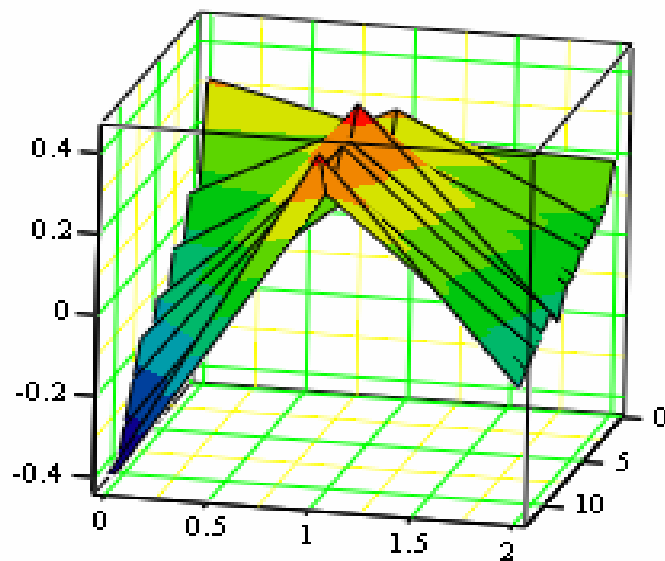
**Figura No.52** Resultados correlacionados graficados en un plano tridimensional, de acuerdo con el COSTO vs. DA vs. DB



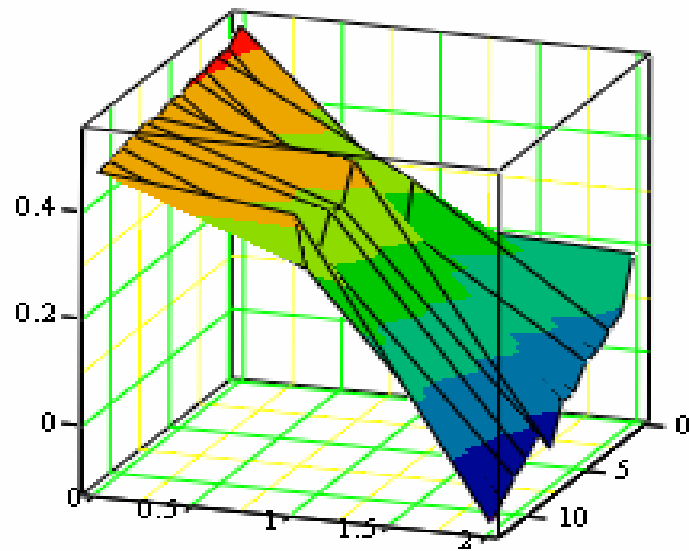
**Figura No.53** Resultados correlacionados graficados en un plano tridimensional, de acuerdo con el TIEMPO vs. DA vs. DB



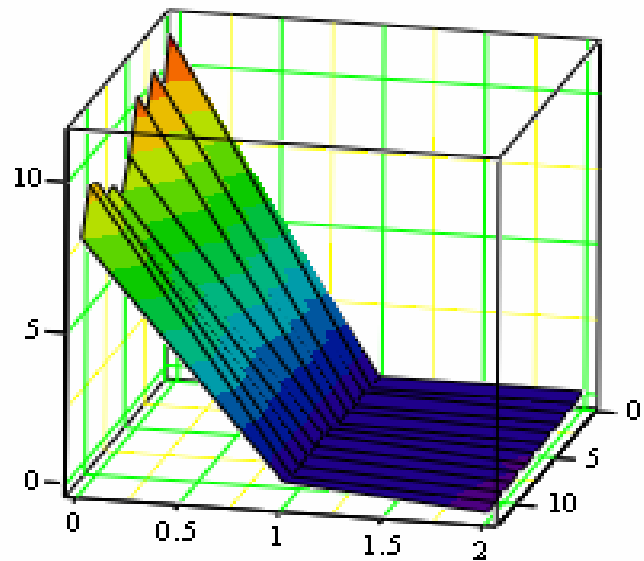
**Figura No.54** Resultados correlacionados graficados en un plano tridimensional, de acuerdo con DLCmc vs. DCcmc vs. DHcmc



**Figura No.55** Resultados correlacionados graficados en un plano tridimensional, de acuerdo con DEcmc vs. DCcmc vs. DHcmc



**Figura No.56** Resultados correlacionados graficados en un plano tridimensional, de acuerdo con el COSTO vs. DCcmc vs. DHcmc



**Figura No.57** Resultados correlacionados graficados en un plano tridimensional, de acuerdo con el TIEMPO vs. DCcmc vs. DHcmc

