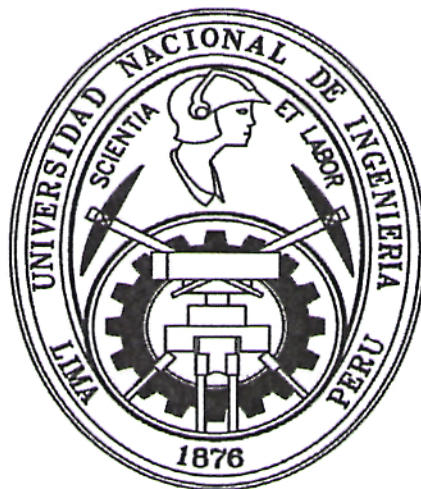


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y TEXTIL



**“ESTUDIO CINÉTICO DEL AGOTAMIENTO DE
COLORANTES REACTIVOS EN TRICOMÍA EN
FIBRAS DE ALGODÓN”**

TESIS

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN
INGENIERÍA QUÍMICA**

PRESENTADO POR

HERNAN JULIO PARRA OSORIO

LIMA – PERÚ
2010

INDICE

1.- Planteamiento del problema.	
1.1.-Formulación de problema.	02
1.2.- Objetivos de la investigación.	03
1.2.1.- Objetivo General.	03
1.2.2.- Objetivos Específicos.	04
1.3.- Justificación e importancia.	04
1.4.- Limitaciones de la investigación.	05
1.5.- Antecedentes teóricos y actuales de la investigación.	06
2.- Marco teórico	
2.1.- La fibra del algodón	08
2.1.2.- Características físicas.	09
2.1.2.1.- Estructura y características.	10
2.1.2.2.- Longitud.	10
2.1.2.3.- Finura.	11
2.1.2.4.- Los anillos del algodón.	11
2.1.2.5.- Microestructura del algodón.	12
2.1.2.6.- Lúmen de la fibra.	14
2.1.2.7.- Estructura cristalina – amorfa.	15
2.1.2.8.- Acción del agua en la fibra.	15
2.1.3.- Estructura química del algodón.	16
2.1.3.1.- Propiedades químicas.	18
2.1.3.2.- La celulosa en el algodón.	22
2.2.- La tintura	
2.2.1.- Fundamentos de la teoría del color.	23
2.2.1.1.- La luz	23
2.2.1.2.- El color	23
2.2.1.3.- Biofísica y química de la visión.	24
2.2.2.- La colorimetría.	25
2.2.2.1.- Los colores primarios.	25

2.2.2.2.- Leyes de síntesis de colores.	27
2.2.2.2.1.- La síntesis aditiva.	27
2.2.2.2.2.- La síntesis sustractiva.	27
2.2.2.3.- Especificaciones del color percibido.	28
2.2.2.4.- Medida y reproducción del color.	28
2.2.2.4.1.- El espectrofotómetro.	29
2.2.2.5.- Colorimetría textil.	30
2.2.2.5.1.- La ley de Beer.	30
2.3.- Los colorantes textiles.	31
2.3.1.- Definición de colorante.	31
2.3.2.- Los colorantes reactivos.	32
2.3.2.1.- Introducción a los colorantes.	32
2.3.2.2.- Parámetros de tintura.	33
2.3.2.2.1.- Efecto de la temperatura.	33
2.3.2.2.2.- Efecto de electrolito.	35
2.3.2.2.3.- Efecto de la relación de licor.	35
2.3.2.2.4.- Efecto de pH.	36
2.3.2.3.- Clasificación de los núcleos reactivos.	36
2.3.2.4.- Modo de fijación del colorante de la fibra.	37
2.3.2.4.1.- La ionización del algodón.	37
2.3.2.4.2.- Etapas de fijación del colorante.	39
2.4.- Difusión Cinética y reacción	41
2.4.1.- Definiciones generales.	41
2.4.1.1.- La difusión.	41
2.4.1.2.- La adsorción.	41
2.4.1.3.- La difusión sólida.	41
2.4.1.4.- La fijación.	42
2.4.2.- La difusión del colorante.	42
2.4.2.1.- Las leyes de Fick.	42
2.4.2.2.- Coeficientes de difusión.	42
2.4.3.- Las isotermas de adsorción.	43
2.4.3.1.- Isotermas y afinidad.	43
2.4.3.2.- Isotermas de Adsorción.	45

2.4.3.2.1.- Isoterma de Nernst.	45
2.4.3.2.2.- Isoterma de Freundlich.	47
2.4.3.2.3.- Isoterma de Langmuir.	47
2.4.3.3.- La adsorción en la fibra textil.	51
2.4.4.- Termodinámica del proceso de tintura.	54
2.4.5.- La velocidad de reacción.	57
2.4.5.1.- Los enlaces químicos en las fibras textiles.	60
2.4.5.1.1.- El enlace covalente.	61
2.4.5.1.2.- El enlace iónico.	61
2.4.6.- Las ecuaciones cinéticas de tintura.	62
2.4.6.1.- Los modelos cinéticos empíricos.	63
2.4.6.1.1.- La ecuación de Vickerstaff.	64
2.4.6.1.2.- La ecuación de Cegarra y Puente.	66
2.4.6.1.3.- La ecuación de McGregor.	71
2.4.7.- Influencia de las condiciones tintóreras.	73
2.4.7.1.- Los factores de difusión.	74
2.4.7.1.1.- La concentración del colorante.	74
2.4.7.1.2.- La afinidad colorante fibra.	75
2.4.7.1.3.- La presencia de la sal.	75
2.4.7.1.4.- La influencia de la temperatura.	76
2.4.7.1.5.- El sustrato a tintar.	77
2.4.7.1.6.- La velocidad de tintura.	77
2.4.7.1.7.- Los factores mecánicos.	79
2.4.7.2.- El poder igualador de un colorante.	79
2.4.7.2.1.- La compatibilidad de colorantes.	80
3.- Descripción del método de la investigación.	81
3.1.- Tipo y nivel de investigación.	81
3.2.- Diseño de desarrollo de la investigación.	82
3.2.1.- Programa de desarrollo.	82
3.2.2.- Variables de estudio.	83
3.2.2.1.- La temperatura de teñido.	83
3.2.2.2.- La concentración del electrolito.	84
3.2.2.3.- Los tipos de colorantes.	84

3.2.2.4.- Tipo de tela.	84
3.2.2.5.- Plan de tinturas.	84
3.2.2.6.- Relación de baño.	85
3.3.- Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	85
3.4.- Procedimientos de recolección de datos.	86
3.5.- Técnicas de procesamiento de datos.	87
4.- Procedimiento experimental.	88
4.1.- Datos generales de experimento	88
4.2.- Relación de pruebas en el laboratorio.	89
4.2.1.- Relación absorbancia y longitud de onda.	90
4.2.2.- Estabilidad con la temperatura.	92
4.2.3.- Estabilidad del colorante en medio acuoso.	92
4.2.3.1.- Estabilidad a la dureza del agua.	92
4.2.3.2.- Estabilidad a los iones metálicos.	93
4.2.3.3.- Estabilidad a los auxiliares textiles.	93
4.2.4. Estabilidad con el pH.	94
4.3.- Relación de pruebas en planta textil.	94
4.3.1.- Desarrollo de pruebas.	95
4.3.2.- Procedimiento de las pruebas.	96
4.3.2.1.- Plan de toma de datos.	96
4.3.2.2.- Preparación de muestras.	98
4.3.2.3.- Descripción de equipo de teñido.	98
4.3.2.4.- Receta de teñido.	98
4.4.- La curva de teñido.	100
5.- Resultados experimentales.	103
5.1.- Estudios preliminares.	103
5.2.- Caracterización de auxiliares y alcalígenos. Gráficos.	104
5.3.- Caracterización de colorantes. Gráficos.	105
5.4.- Caracterización de colorantes para su identificación.	110
5.5.- Caracterización de colorantes en tricómia. Gráficos.	113
5.6.- Caracterización de colorantes en planta.	114
5.6.1.- Colorantes puros a T=60°C , Sal=100g/L , RB=1:7	115

5.6.2.- Tricomía de colores a T=60°C , Sal=100g/L , RB=1:7	116
5.6.3.- Colorantes puros a T=60°C , Sal=50g/L , RB=1:7	117
5.6.4.- Tricomía de colores a T=60°C , Sal=50g/L , RB=1:7	119
5.6.5.- Colorantes puros a T=60°C , Sal=150g/L , RB=1:7	120
5.6.6.- Tricomía de colores a T=60°C , Sal=150g/L , RB=1:7	122
5.6.7.- Colorantes puros a T=40°C , Sal=100g/L , RB=1:7	123
5.6.8.- Tricomía de colores a T=40°C , Sal=100g/L , RB=1:7	125
5.6.9.- Colorantes puros a T=80°C , Sal=100g/L , RB=1:7	126
5.6.10.- Tricomía de colores a T=80°C , Sal=100g/L , RB=1:7	128
5.6.11.- Dependencia de la sal común por tiempo.	135
5.6.12.-. Dependencia de la sal común por colorante.	140
5.6.13.- Dependencia de la temperatura por tiempo.	142
5.6.14.- Dependencia de la temperatura por colorante.	146
6.- Discusión de resultados.	149
6.1.- Tratamiento de resultados.	149
6.2.- Regresiones cinéticas de los colorantes.	150
6.3.- Curva de Arrhenius.	155
6.4.- Constantes de reparto - isothermas de adsorción.	159
6.5.- Constantes de difusión.	165
7.- Conclusiones.	172
8.- Bibliografía.	178
9.- Anexos.	181

“ESTUDIO CINETICO DEL AGOTAMIENTO DE COLORANTES REACTIVOS EN TRICOMIA EN FIBRAS DE ALGODÓN”

RESUMEN DEL TEMA DE TESIS:

Este estudio de investigación se desarrolla debido a la necesidad de contar con herramientas para hacer un análisis más eficiente del proceso de agotamiento de colorantes reactivos en la tintura del algodón. Dicho estudio nos llevará a predecir la tendencia en forma cuantitativa del nivel de difusión, absorción y reacción del color, y poder así determinar cuál es su comportamiento cinético durante el proceso de tintura.

El estudio es corroborado con simulaciones de tintura experimental a nivel laboratorio y de planta. Los valores obtenidos en esta fase nos permitirán determinar el comportamiento de la difusión y agotamiento del colorante reactivo con diferentes colores y marcas industriales, del tipo vinilsulfónicos y bi-funcionales, luego este estudio es comparado con los modelos matemáticos planteados de difusión y cinética química, lo que se hará identificando las variable más importantes, como los electrolitos, la temperatura, la curva de teñido.

Los resultados obtenidos permitirán ver si el grado de agotamiento del colorante está acorde con los estándares usados en la industria. También permitirán estudiar la igualación y repetitividad en la tela de algodón teñida, y analizar si está acorde con la curva utilizada para cada colorante; así mismo poder plantear aumentos de tiempo para su mejor rendimiento, o acortar el tiempo de teñido para optimizar costos en recursos humanos, equipos e insumos.

KINETIC STUDY OF THE DEPLETION OF REACTIVE DYES IN TRICOMI IN COTTON FIBRE

ABSTRACT

This research study is developed due to the need for tools to make a more efficient process of exhaustion of reactive dyes in the dyeing of cotton. This study will lead us to predict quantitatively the trend in the level of diffusion, absorption and color reaction, and thus to determine the kinetic behavior during the dyeing process.

The study is corroborated by experimental simulations at laboratory dyeing and plant. Values obtained in this phase will enable us to determine the behavior of the diffusion and depletion of the reactive dye with different colors and industrial brands vinylsulfonic type and bi-functional, then this study is compared with the mathematical models posed diffusion and chemical kinetics, what will be done by identifying the most important variable, as the electrolyte, temperature, dye curve.

The results allow you to see if the degree of dye exhaustion is consistent with the standards used in industry. Also possible to study the equalization and repetitividad on dyed cotton fabric, and analyze whether it is consistent with the curve used for each dye, so it increases the time to ask for a better performance, or shorten the dyeing time to optimize resource costs human, equipment and supplies.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Lo seres humanos siempre han recurrido a la ropa y el alimento para sobrevivir. La industria textil empezó con la historia de la humanidad y el algodón empezó a tejerse y tricotarse a mano para transformarse en tejidos y prendas de vestir; la revolución industrial no alteró esta forma de confección hasta finales del siglo XVIII y principios del XIX, no obstante, el algodón siguió siendo una de las principales materias primas.

A través de toda su historia el algodón siempre ha presentado en su tintura problemas frecuentes, principalmente en colorantes textiles del tipo reactivo para exportación, debido a las exigencias y normas que hay que cumplir. Estos problemas se dan especialmente cuando se trata de teñidos de hilados de algodón con algunos tipos de colores en tricromía, problemas de agotamiento y fijación, como la aparición de manchas de colorante a través de todo el material, así como la tendencia al manchado por transferencia de tono obtenido.

Las naturalezas distintas de los colorantes reactivos desde el punto molecular, hacen que en la difusión del colorante hacia la fibra y posteriormente dentro de la fibra estos se comporten de maneras diferentes, generando interacciones de orden molecular, tales como la presencia de fuerzas intermoleculares entre la fibra de algodón húmedo en estado positivo. Estas distintas interacciones para cada colorante hacen que el agotamiento entre el baño y la fibra sea diferente, dando lugar a que a

determinadas condiciones de teñido se genere una marcada variación de velocidades de difusión del colorante. Esto produce problemas de falta de igualación a lo largo de determinado lote de tela, o que el tono no sea el esperado en las recetas ideales, generando por lo tanto reprocesos en los teñidos, consumiendo tiempo para generar la nueva receta para llegar al tono, o en su defecto generar un proceso de destiña para iniciar el proceso nuevamente.

Debido a las variedades de colores que necesita el mercado se hacen necesarias las tricromías de colorantes para obtener tales colores. El problema se agudiza cuando se tiene que usar colorantes de características químicas diferentes o distintos proveedores, debido a veces por presiones en bajar los costos de las recetas que se utilizan en los teñidos o a cambios permanentes de auxiliares, alcalígenos y electrolitos por exigencias ambientalistas.

Finalmente, el problema se agrava cuando se tiene que comparar distintos lotes de teñido con la muestra base tela del cliente, ya que toda la tela no se tiñe en una sola máquina debido a que estas tienen una capacidad limitada. Los lotes son cargados en distintas máquinas, en distintos turnos y a veces hasta se pueden variar algunos productos auxiliares o electrolitos, debido a que se podría haber acabado el stock del producto. Por lo tanto, necesitamos que la tricromía de colores seleccionada sea lo más reproducible posible, con un grado de confiabilidad muy alto, y que los factores de teñido sean lo más controlables posibles y que los efectos externos sean mínimos, tales como la relación de baño, la curva de teñido, maquinaria usada en el teñido, productos auxiliares y alcalígenos.

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Los objetivos que se plantean en este trabajo de investigación son:

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar el comportamiento cinético de los colorantes reactivos frente al agotamiento en una fibra de algodón, su sensibilidad de este a la temperatura y el efecto de la variación de la concentración de electrolito en medio acuoso.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Explicar el comportamiento de colorantes en tintura con los modelos cinéticos planteados.
- Predecir el comportamiento de los colorantes en nuevas tricromías, y así evitar malas combinaciones de colorantes.
- Hacer más eficientes los procesos de tintura en la etapa de agotamiento, ya sea acortando o alargando el tiempo de tintura, para evitar posibles problemas.
- Verificar la información técnica de los fabricantes sobre el agotamiento y fijación del colorante en la fibra de algodón, y poder plantear mejoras en las curvas de tintura.
- Proponer soluciones para los re-procesos y los fuera de tono en planta, evitando costos innecesarios.
- Probar nuevos productos, como auxiliares textiles, electrolitos o alcalinatos, y poder observar su comportamiento frente al colorante.

1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Debido a los objetivos trazados en el trabajo, se podrá observar que los resultados de esta investigación servirán indudablemente para tomar decisiones muy importantes para elegir, los tipos de tricromías en colorantes textiles; su importancia y justificación están aseguradas ya que se usaron colorantes industriales con gran presencia en el mercado peruano.

La información obtenida en la fase de experimentación nos permitirá determinar el modelo cinético para el agotamiento en todas sus fases, tales como la difusión del colorante desde el baño hacia la superficie de la fibra, la

absorción del colorante por las superficies miscelares de la superficie exterior de la fibra, y la difusión del colorante en la fibra, desde la superficie hacia el centro de la misma, y su posterior fijación con un álcali. Así, esta información le permitirá al tintorero hacer la mejor elección de los colorantes para una tricromía más eficiente, ya que podrá inmediatamente comparar las velocidades de agotamiento del baño de tintura, saber los valores máximos de agotamiento de colorante, y poder observar con buen criterio el tiempo de tintura.

Además contará con una valiosa tendencia de comportamiento frente a las otras variables, tales como la temperatura, los auxiliares textiles, los electrolitos y los alcalinatos, estas variables influyen en el proceso de tintura final. A un rango de temperaturas de teñido se podrá observar grados de agotamiento distintos, inclusive dependiendo del valor de la concentración del electrolito; el colorante incrementa su valor de agotamiento hasta llegar a un máximo, para luego descender a un valor mínimo, generando los procesos de desorción y adsorción en los procesos de tintura.

Los resultados nos permitirán ver si el grado de agotamiento de colorante está acorde con los estándares usados en la industria para poder modificar las variables pertinentes y así poder tender al grado de agotamiento planteado del fabricante. También estudiar la igualación y repetitividad en la tela de algodón teñido, y analizar si es consecuencia de la tricromía del colorante, de las variables indirectas tales como temperatura o electrolitos por ejemplo, inclusive dependiendo del grado de agotamiento se podría replantear una nueva curva de teñido con aumentos de tiempo para su mejor rendimiento, o acortar el tiempo de teñido para reducir costos en recursos humanos, equipos y insumos.

1.4 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo de investigación está limitado solo al tipo algodón tanguis, otras especies de algodón no fueron considerados en este trabajo, ni tampoco otras fibras como la lana, o fibras artificiales celulósicas o no celulósicas, u otras por no tener un uso masivo en la industria textil nacional, tales como el mohair, la seda, etc. . Otro factor limitante también es el tipo de tejido, en nuestro caso se usó el yérsey 30/1 con un tratamiento de descrude con soda cáustica; como se verá hoy existe en la industria textil un sin número de tratamientos de la tela tanto con diferentes productos de pre tratamiento como el proceso en si (curva de proceso).

Otra limitación de este trabajo es la referente con el tipo de colorantes que se usaron. Se estudia a los colorantes reactivos vinilsulfónicos y los bifuncionales, acotando que en el mercado textilero existen muchas variedades, tales como los colorantes directos azoicos, tina, al azufre, dispersos, etc.

1.5 ANTECEDENTES TEORICOS Y ACTUALES DE LA INVESTIGACIÓN

Hasta la fecha no se han realizado estudios relacionados con la cinética de la tintura en algodón con colorantes reactivos. Existe mucha bibliografía de procesos y métodos de tintura en diferentes fibras y con diversas técnicas propuestas, pero ninguna llega al nivel molecular y cinético que involucra un estudio de las tricomías de los colorantes reactivos. La mayor parte de información se refiere a técnicas para mejorar los rendimientos de los colorantes a nivel macromolecular.

El mejor avance que se ha hecho hasta la fecha es realizado por los doctores Valldeperas y Gonzales^(10,12), en un estudio a fibras Tencel con colorantes directos, donde se llega a plantear ecuaciones cinéticas semi-empíricas y modelos matemáticos provenientes de la primera y segunda ley

de Fick, para un agotamiento en donde se definen las variables cinéticas más importantes. Otro estudio fue realizado por Cegarra, Puente, Riva, Pepio y Prieto⁽³¹⁾ en el cual se estudia “Los aspectos cinéticos de la tintura de la lana a baja temperatura”, pero solo menciona aspectos genéricos. De igual manera sucede con el estudio “Análisis electrocinético y termodinámico del proceso de adsorción de azul ácido 45 sobre tejido de poliamida” por Espinoza, Ontiveros y Padilla⁽³⁷⁾.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. LA FIBRA DE ALGODÓN

En términos generales se denomina fibra textil a los materiales compuestos de filamentos y susceptibles de ser usados para formar hilos o telas, bien sea mediante tejido o mediante otros procesos físicos o químicos.

En general las fibras están compuestas por polímeros de alto peso molecular, en que la forma de la molécula es alargada, Las características de una fibra textil se concretan en su flexibilidad, finura y gran longitud, referida a su tamaño (relación longitud/diámetro: de 500 a 1000 veces).

La fibra del algodón es una fibra vegetal natural de gran importancia económica como materia prima para la fabricación de tejidos y prendas de vestir, el algodón es una planta que son cultivadas para su procesamiento (ver figuras 2.1.1 y 2.1.2). La generalización de su uso se debe sobre todo a la facilidad con la que la fibra se puede trenzar en hilos. La resistencia, la absorbencia y la facilidad con que se lava y se tiñe también contribuyen a



Figura 2.1.1. Plantaciones de algodón



Figura 2.1.2. Capullo de algodón

que el algodón se preste a la elaboración de géneros textiles muy variados, En la figura 2.1.3 se puede observar fibras de algodón vistas por un microscopio después de un tratamiento de blanqueo⁽⁰¹⁾.

Durante los últimos 200 años los algodones han evolucionado por hibridación hasta convertirse en los algodones industriales que conocemos hoy en día. Los algodones de América se dividen en grados, según la longitud de la fibra, uniformidad, color, resistencia, limpieza y flexibilidad. Estos algodones se comparan con el estándar y se dan 6 grados por encima y 6 grados por debajo del tipo medio. Los grados más comunes son:

- Mediano estricto (Strict middling)
- Mediano bueno (Good middling)
- Bueno mediano estricto (Strict good middling)
- Mediano (middling)
- Bajo mediano estricto (Strict low middling)
- Bajo mediano (Low middling)
- Ordinario bueno estricto (Strict good ordinary)

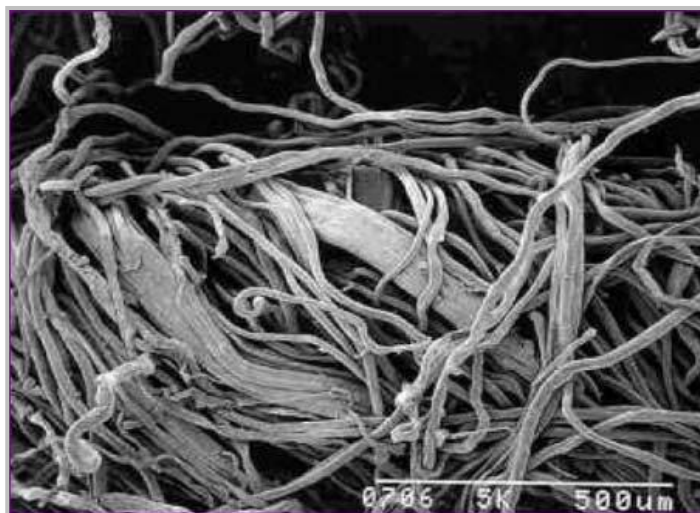


Figura 2.1.3. Tratamiento de una fibra de algodón expuesta solamente a un blanqueamiento

2.1.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA FIBRA DE ALGODÓN

La fibra de algodón tiene de $\frac{3}{4}$ a $1 \frac{1}{2}$ pulgadas (20 a 40 milímetros) de longitud y su diámetro varía a partir de un extremo al otro, en un promedio de $\frac{1}{100}$ pulgada (0,025 milímetros), Estas dimensiones varían con el tipo de algodón y es de resaltar que son valores promedio. Las fibras de la India y de América son cortas y las de Egipto y de las islas del mar son fibras más largas. Usualmente una fibra larga es correspondientemente la más fina⁽⁰²⁾.

2.1.2.1 ESTRUCTURA Y CARACTERÍSTICAS

Una de las características del algodón es la gran variedad de formas que sus fibras demuestran. Cualquier muestra de algodón crudo contendrá fibras en las diversas etapas del desarrollo, y las características microscópicas de estas fibras diferenciarán extensamente una de otra. Por otra parte, la muestra de algodón de diversas variedades de la planta y de plantas crecidas bajo diversas condiciones también marcarían diferencias. En su aspecto microscópico presenta un aspecto de cinta aplastada y de características retorcidas como se muestra en la figura 2.1.5, La masa de la fibra está envuelta en una serie de finas micro fibras denominadas Bundless (ver figura 2.1.6).

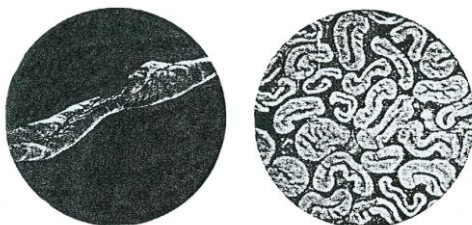


Figura 2.1.5. La fibra del algodón.



Figura.2.1.6. Los Bundless, cada uno integrado por cerca de 400 micro-fibrillas.

2.1.2.2 LONGITUD

La longitud de la fibra individual del algodón varía grandemente, dependiendo de la variedad de la planta, de las condiciones en las cuales ha crecido, y del estado de madurez de la fibra a la hora de la cosecha. Comercialmente el algodón de las tierras altas americanas está clasificado en fibra:

- Fibra corta: hasta 1 pulgada (2.5 cm).
- Fibra mediana: desde 1-1/32 (2.58 cm) hasta 1-3/32 pulgadas (2.73 cm) y
- Fibra larga: de más de 1-3/32 pulgadas (2.73 cm).

2.1.2.3. FINURA

La finura determina el comportamiento y la sensación al tacto de los textiles tales como fibras gruesas, finas, rígidas o ásperas. Cabe indicar que la finura determina la calidad y el precio de la fibra textil y es determinada por la medida de su grosor y está relacionado con el diámetro de la fibra aparentemente, ya que no es constante ni regular y se expresa en Micras ($1 \text{ micra} = 10^{-6} \text{ m} = 0,001 \text{ mm}$).

La finura influye en aspectos tecnológicos durante el proceso textil tan importantes como:

- ❖ Comportamiento en el proceso de hilatura.
- ❖ Regularidad de los hilos.
- ❖ Distribución de fibras en la mezcla.
- ❖ Brillo de hilos y tejidos.
- ❖ Absorción del colorante, dependiendo de la finura da intensidades diferentes.

2.1.2.4 LOS ANILLOS DEL ALGODON

Cuando la fibra, ya se ha desarrollado en forma longitudinal, el crecimiento de la fibra del algodón consiste en estirarse en su estructura interna. Las capas de celulosa son agregadas una después de otra a la membrana más delgada de la celulosa de dentro de la célula ⁽⁰³⁾. Cada día se ve una nueva capa depositada creando una estructura parecida a la sección transversal que muestra el crecimiento en anillos en un árbol. Cada aro de crecimiento en la fibra del algodón corresponde a cada día de crecimiento y deposición de la celulosa; cada anillo consiste de dos capas, una capa solida y compacta y, la otra es porosa (ver figura 2.1.8). La celulosa se coloca bajo la forma de fibras espirales o como hilos de rosca minúsculos, algunos de aproximadamente uno o más micrones por cada anillo.

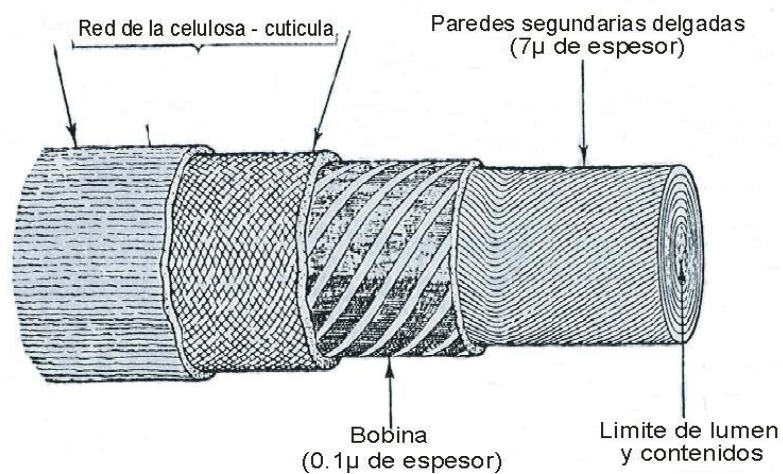


Figura 2.1.8 El diagrama del algodón mostrando sus componentes en capas de la pared de una célula de una fibra de algodón.

2.1.2.5 LA MICROESTRUCTURA DEL ALGODON

En los últimos años, los estudios que se han hecho sobre la estructura de la fibra del algodón usando las modernas técnicas e instrumentos más

avanzados, tales como el microscopio electrónico, han permitido examinar y conocer mejor la fibra interiormente, determinándose que la pared de la fibra varía en grueso y consiste de dos secciones principales ⁽⁰⁵⁾

- La pared primaria que forma la capa externa, y
- La pared secundaria que forma la capa interna.

La pared primaria es una capa resistente y protectora que inicialmente formó la cáscara de la fibra durante sus días de crecimiento, El análisis químico del material de la pared primaria ha demostrado que contiene cera, proteínas, sustancias pectinosas y celulosa. En la figura 2.1.10 se observa una cinta que tiene la forma de un haz clásico característica en muchos vegetales, estas cintas están formadas por unos haces denominadas macrofibrillas. La resistencia de parte de la pared primaria se debe en gran medida al arreglo enmarañado de las fibrillas de la celulosa que forman la red de la pared.

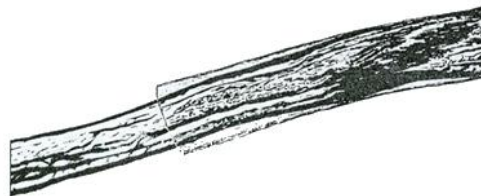


Figura 2.1.10. Algodón. En esta fotomicrografía, la membrana externa de la fibra del algodón tiene una vista lisa de la superficie de la fibra – After Mary L. Rollinns, U.S. Dept. of Agriculture..

La capa interna o secundaria de celulosa forma una acumulación de la fibra del algodón. Ésta es la celulosa que se coloca durante la segunda etapa del crecimiento de la fibra y después de que la fibra haya logrado un total crecimiento ocurre la consolidación de la pared de la celulosa.

2.1.2.6 EL LUMEN DE LA FIBRA

Se denomina lumen a los canales huecos de las fibras secas, estos canales en un determinado momento sirvieron para alimentar la fibra con una solución acuosa. Se puede decir que la fibra seca parece una barra sólida como un conducto tubular, y la fibra no madura por otro lado puede tener tan poca celulosa secundaria y un lumen ancho y suelto.

En una fibra normal del algodón, el lumen colapsado representa un volumen considerable del espacio vacante, la cual permite a la fibra del algodón absorber el agua por la atracción capilar, por ello este fenómeno tiene una influencia importante en las características del algodón textil, En la figura 2.1.11 se puede observar este comportamiento, Un lumen con humedad (fig. 2.1.11-1) y otra un lumen en un proceso de teñido (fig. 1.1.11 -2 y 3).

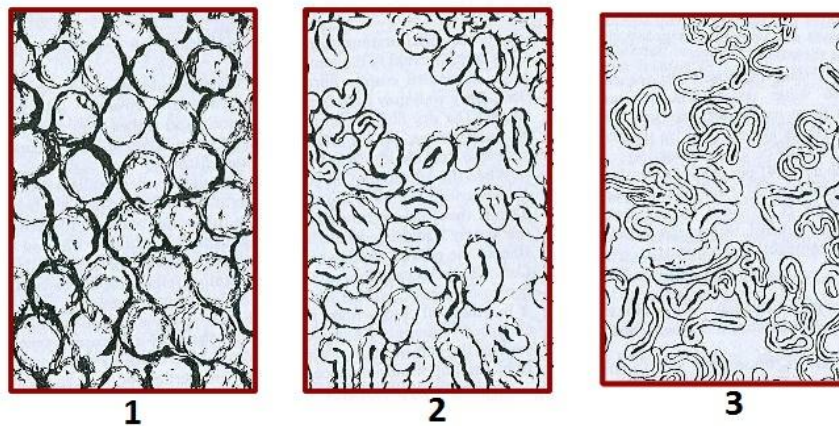


Figura 2.1.11. El algodón: corte de la sección de la fibra del algodón.

1.- Crecimiento de la fibra con la humedad de la planta alrededor de la sección cortada.

2.-Pared gruesa de la fibra natural colapsada en forma ovalada en un teñido.

3.-Pared delgada de la fibra inmadura colapsada en formas distorsionadas en un teñido.

Mary L. Rollinns, U.S. Dept. of Agriculture.

El lumen, sin embargo, representa una parte muy importante del espacio ocupado de las paredes del algodón, ya que son porosas y pueden absorber considerables cantidades de agua en su estructura. Aunque las fibrillas de la celulosa que forman las paredes de la fibra son compactas y relativamente

impermeables a la penetración del agua, los espacios submicroscópicos entre los tubos capilares hacen que la red de la superficie celulosa sea porosa. Se ha estimado que el volumen vacío de una fibra de algodón es del 20 al 41% del volumen total.

2.1.2.7 ESTRUCTURA CRISTALINO – AMORFA

Según las teorías sobre la estructura de la fibra de la celulosa, las moléculas largas de la celulosa pueden formar individualmente parte de dos o más regiones cristalinas. Entre estas regiones cristalinas las moléculas de la celulosa se arreglan al azar, formando regiones de celulosa denominada amorfas.

Las cantidades relativas de celulosa cristalina y amorfa tienen una influencia importante en las características de la fibra celulosa. El agua puede penetrar fácilmente entre las moléculas en la región amorfa, mientras que encuentra difícil entrar a las estructuras cristalinas. Los colorantes y otras sustancias tenderán también penetrar más fácilmente en las regiones de celulosa amorfa.

2.1.2.8 ACCIÓN DEL AGUA EN ALGODÓN

Generalmente las tinturas se efectúan en medios acuosos, y se observa que cuando una fibra textil se sumerge en el agua tiene tendencia a “hincharse” más o menos, según los grupos hidrofílicos de la molécula del algodón. Los rayos X nos demuestran que los espacios de las cadenas cristalinas en las fibras no muestran variación cuando la fibra está en estado seco o húmedo y que, por consiguiente, es necesario buscar la causa del “hinchamiento” de la fibra en la sustancia amorfa; esta fibra forma poros que aumentan extraordinariamente de tamaño al encontrarse la fibra en estado húmedo, facilitando la difusión del colorante hacia el interior de la fibra.

La fibra seca del algodón está construida por fibrillas de celulosa y es una estructura bastante dura y rígida. Las moléculas de la celulosa se sostienen

firmemente juntas una de otra dentro de las fibrillas, solo limitadas por los enlaces establecidos entre molécula y molécula. El agua, sin embargo puede penetrar en la red de la celulosa de la fibra del algodón, y lo hace en los tubos capilares y en los espacios entre las fibrillas y en menor proporción en las áreas compactas de las fibrillas. En este camino, las moléculas de agua tienden a forzar a las moléculas de la celulosa separadas a una disminución de las fuerzas que las sostienen juntas, además de la destrucción de la rigidez de la estructura de la celulosa entera.

El agua actúa, de esta manera, como un plastificante para el algodón, penetrando en la estructura rígida de la red de moléculas de la celulosa, lo cual permite que las moléculas se muevan a través de toda la masa de algodón. La celulosa se ablanda más libremente, y puede cambiar su forma más fácilmente bajo efectos de esta fuerza externa.

2.1.3 ESTRUCTURA QUIMICA DEL ALGODON

El soporte de la constitución química de todas las fibras vegetales es la celulosa, la cual está presente en proporciones más o menos grandes y mezcladas con otros compuestos (ver tabla 2.1.1), dando lugar a una serie de fibras que se extienden desde su forma más simple en el algodón, hasta los compuestos tales como el rayón viscosa, el acetato, etc.

Se puede afirmar que el algodón cuando es cosechado contiene aproximadamente un 94% de celulosa (principalmente en la pared secundaria) y una capa superficial de ceras, grasas pépticas y minerales.

Mucho del material superficial es eliminado por procesos tales como el descruce, blanqueado, teñido etc. La presencia o ausencia de estos componentes tiene un efecto definido sobre el comportamiento de los hilados de algodón.

TABLA 2.1.1

constituyente	% de Peso Seco		
	Típica	Mínimo	Máximo
Celulosa	94	88,0	96,0
Proteína (Nitrógeno x 6,25)	1,3	1,1	1,9
Substancias pépticas	1,2	0,7	1,2
Ceniza	1,2	0,7	1,6
Ceras y grasas	0,6	0,4	1,0
Azucares totales	0,3		
Pigmento	Trazas		
Acido málico	0,5		
Acido cítrico	0,07		
Acido oxálico	0,0004		
Otros ácidos orgánicos	0,3		
Otros ácidos orgánicos	0,52		

La celulosa es la base de la fibra de planta, En la figura 2.1.13 se puede observar como la celulosa está compuesta de micro fibrillas y estas a su vez integran las fibrillas o macro fibrillas, La cadena de celulosa con una fórmula empírica de $(C_6H_{10}O_5)_n$ es un material polimérico formado por la condensación de las moléculas de la glucosa.

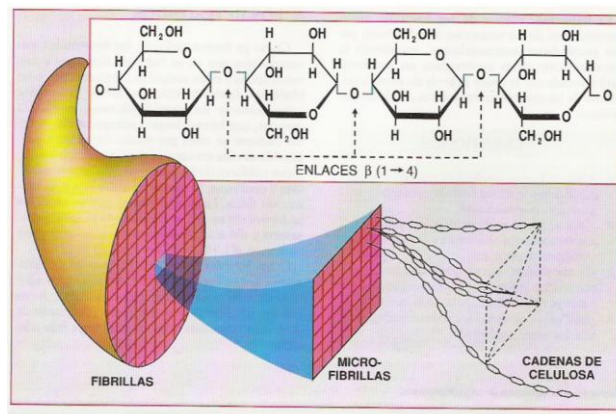


Figura 2.1.13. Molécula de celulosa

El peso molecular de la celulosa en el algodón varía ampliamente, dependiendo de su fuente de obtención y para la celulosa del algodón se estima en un peso molecular de 200,000 a 400,000 ⁽⁰⁶⁾.

2.1.3.1 PROPIEDADES QUIMICAS

La celulosa es una sustancia muy resistente y durable, consiste solamente de carbono, hidrógeno y oxígeno; la fórmula $C_6H_{10}O_5$ indica que cada molécula de la celulosa está formada de seis carbonos, diez de hidrogeno y cinco de oxígeno en átomos. La humedad es uno de los componentes naturales, esta agua se afirma que el algodón absorbe agua en dos fases, en la primera fase las moléculas de hidroxilo de la celulosa atraen las moléculas de agua; en la segunda el agua absorbida físicamente llena los espacios entre las fibrillas. La figura 2.1.14 muestra las diferencias en el contenido de humedad a idénticos niveles de la misma, dependiendo de si el algodón está perdiendo humedad o absorbiéndola (histéresis).

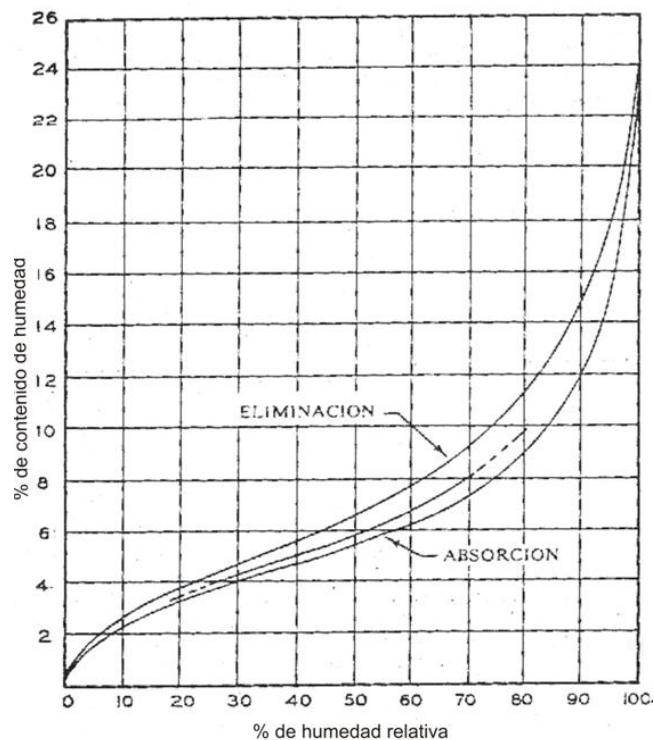


Figura 2.1.14. Relación entre humedad relativa y el contenido de humedad del algodón en rama a 25°C.

Otro elemento es la Grasa y ceras en el algodón otorgándole repelencia al agua. El algodón crudo flotará casi indefinidamente sobre la superficie de un frasco de agua, mientras que el algodón sin ceras se hundirá en pocos segundos.

TABLA 2.1.2 – Las cenizas en algunas variedades de algodón.

fuelle del algodón	Numero de variedades analizadas	porcentaje promedio de cenizas	
Sub América	7	1,16	
África e Irak (algodón americano)	15	1,47	
Algodón americano crecido en India	7	1,25	
Original de India	10	1,28	
Egipto	10	1,22	
Algodón Sea Island	6	0,98	

La composición de la ceniza varía mucho, dependiendo de la fuente. Esto es debido probablemente a la naturaleza del suelo. Sin embargo, normalmente la planta por si misma selecciona del suelo ciertos minerales. Los rangos que se dan a continuación son normalmente para el material mineral más importante :

Material mineral	Rango (%)	Material mineral	Rango (%)
Potasio	20-40	Cloruro	03-10
Sodio	3-8	Carbonato	10-20
Calcio	5-10	Fosfato	3-5
Hierro	5-10	Sílice	1-5
Magnesio	1-3	Cobre	Trazas
Aluminio	2-4	Manganeso	Trazas
Sulfato	5-15		

La mayoría de la ceniza puede eliminarse mediante cualquier proceso de lavado.

Los agentes humectantes para el algodón deben tener la capacidad para humectar debidamente el material. Las operaciones de blanqueo y descolado eliminarán solo un pequeño porcentaje de las ceras del algodón natural. Los contenidos monócelulosicos de la fibra de algodón, como la pectina, son muy importantes. Se estima que el contenido péptico de la fibra puede variar entre el 0,6% y el 1,2%. Químicamente, las pectinas de los vegetales son hidratos de carbono de alto peso molecular con una estructura de cadena similar a la celulosa. Prácticamente toda la pectina de algodón se eliminará mediante un descruce simple de media hora con 1% de hidróxido de sodio.

Las materias minerales (ver cuadro) tienen un porcentaje muy superior al 1% de cenizas o materias minerales y se debe usualmente a suciedad y a la arena dentro del mismo. El contenido normal de cenizas es del orden del 1% al 3%.

La tabla 2.1.2 muestra el contenido promedio de cenizas de algunas variedades del algodón, indicando porcentajes de minerales que lo componen.

Además de los productos químicos ya mencionados, se encuentran en el algodón en cantidades muy pequeñas, una gran variedad de ácidos orgánicos, varios tipos diferentes de azúcar, hidratos de carbono y varios otros minerales de menor importancia.

2.1.3.2 LA CELULOSA EN EL ALGODÓN

La celulosa está presente en las plantas como una sustancia esquelética y también ocurre en una forma pura en la fibra del algodón. Después de una purificación cuidadosa por retiro de toda la materia extraña, se tiene la fórmula empírica de un anhídrido de la hexosa, $C_6 H_{10} O_5$. (Ver figura 2.1.15). Sus propiedades físicas y químicas muestran que es un alto polímero.

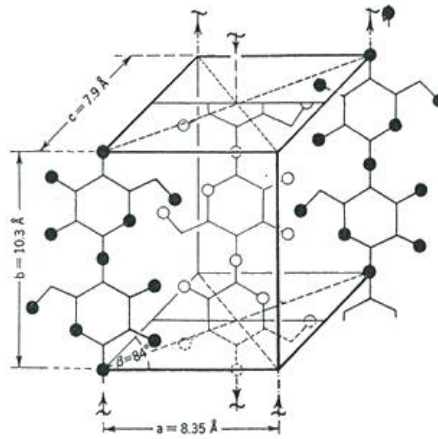


Figura 2.1.15 Diagrama representativo de la celda unitaria de la celulosa natural diseñada por Meyer y Misch.

Los pesos moleculares de este polímero pueden variar en alrededor de 100000. La figura 2.1.16 muestra el alto grado de polimerización (D.P), que es el valor de n en $(C_6H_{10}O_6)_n$, esta variación es de cerca de 600 a 10000.

El D.P. de la celulosa en la fibra del algodón con las paredes primarias y secundarias, se estima que están en el orden de 6000 y 10650 respectivamente.

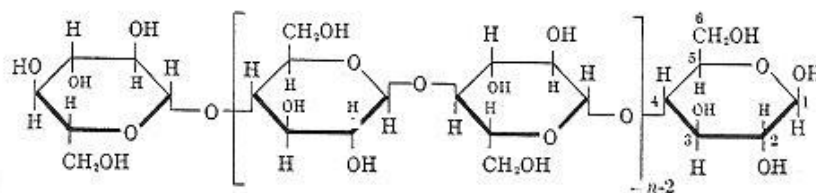


Figura 2.1.16. La celulosa mostrando su alto grado de polimerización

La figura 2.1.17 muestra un modelo de la celulosa con sus moléculas empaquetadas en una configuración no aplanada en la molécula^(08,09).

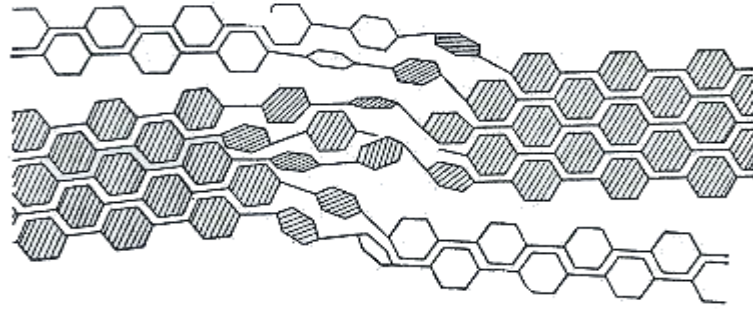


Figura 2.1.17. Cadenas de la celulosa estirada que pertenece parcialmente a los cristales y está parcialmente en desorden.

2.2.- LA TINTURA

2.2.1 FUNDAMENTOS DE LA TEORÍA DEL COLOR

2.2.1.1 LA LUZ

La luz (del latín *lux, lucis*) es la clase de energía electromagnética radiante que puede ser percibida por el ojo humano. En un sentido más amplio, el término luz incluye el rango entero de radiación conocido como el espectro electromagnético. La gran teoría de la luz y del color que cada persona tenemos elaborada en la experiencia de cada día, en toda nuestra vida, es esencialmente un producto cerebral humano, lo que nuestros ojos entregan a nuestro cerebro es mucho menos de lo que en nosotros hay almacenado como conocimiento visual; no vivimos sólo con una percepción biofísica y bioquímica del color; es mucho más; es un vasto conjunto de sensaciones e ideas muy elaboradas lo que conforma nuestra final percepción de luz y color; es una cultura humana del color.

Comúnmente llamamos luz al espectro visible de radiaciones electromagnéticas, que tienen una longitud de onda comprendida entre $4 \text{ y } 7 \times 10^{-7}$ metros. Por extensión, luz se llama también a las franjas de radiaciones fronteras a ésta, con longitudes de onda superiores e inferiores, infrarrojas y ultravioleta. Ese espectro visible para el ojo humano está situado entre las frecuencias de 10^{15} y 10^{14} Hz.

2.2.1.2. EL COLOR

El color es una percepción visual que se genera en el cerebro al interpretar las señales nerviosas que le envían los fotorreceptores de la retina del ojo y que a su vez interpretan y distinguen las distintas longitudes de onda que captan de la parte visible del espectro electromagnético.

La sensación "color" es el producto conceptual elaborado por nuestro cerebro a partir de los datos emitidos por el ojo que ve un objeto iluminado,

un objeto sobre el que incide la energía que llamamos luz. En términos absolutos, al hablar de luz nos referimos a la luz del sol, la luz día, que posee completo el espectro de luz visible. En ese sentido, ver blanco (sensación de color blanco) es ver todo el espectro visible, comprendido entre el infrarrojo y el ultravioleta, ambos excluidos. Ver negro (sensación de color negro) es no ver nada de ese espectro visible. Si en vez de referirnos a la luz nos referimos al objeto que vemos: lo vemos blanco si ese objeto refleja todo el espectro visible; y lo vemos negro si ese objeto no refleja nada del espectro visible. El aspecto color de un objeto recibe el nombre de color de ese objeto.

2.2.1.3. BIOFÍSICA Y QUÍMICA DE LA VISIÓN

Los estudios más recientes hacen pensar que el proceso visual es un fenómeno híbrido de física y bioquímica. Por una parte, corrientes eléctricas nerviosas, en el ojo, funcionan como una computadora visual en sistema binario: células ganglionares que se encienden o no se encienden con un estímulo, sí y no, 0 y 1, respondiendo selectivamente ante determinadas longitudes de onda del espectro luminoso visible, separando estas longitudes en los colores rojo, verde y azul. Por otra parte, la bioquímica, fija el principio del estímulo visual en la absorción de la luz en la retina por los pigmentos visuales.

Todo el proceso visual puede dividirse en las siguientes partes o tramos:

- Estimulación: la energía luz excita la retina.
- Conversión fotoquímica: la energía luz provoca una reacción bioquímica que se transforma en impulsos nerviosos.
- Codificación y transmisión: los impulsos nerviosos que nacen en la retina se combinan entre sí y entran en las fibras del nervio óptico que las transporta a su área correspondiente en la zona occipital del cerebro.

- Elaboración de información: en el área de la visión en el cerebro, los datos llegados del ojo se analizan y traducen mediante el código correspondiente, dando lugar a la sensación visual de luz y color.
- Interpretación: las distintas áreas del cerebro asumen las sensaciones visuales procedentes del área visual, las procesan con otras sensaciones procedentes de cada área cerebral y proporcionan la información final completa, que debe llamarse nuestra percepción visual del mundo exterior a nosotros.

2.2.2. LA COLORIMETRÍA

La colorimetría es la ciencia que trata de la medida del color y la técnica de medir los estímulos del color y relacionarlos con una calculada respuesta o reacción de un observador tipo.

Un color queda determinado por sus componentes espectrales:

- Longitud de onda (dada en nanómetros)
- Anchura de banda (en nanómetros)
- Cantidad de energía (en julios).

2.2.2.1. LOS COLORES PRIMARIOS

Se considera color primario al color que no se puede obtener mediante la mezcla de ningún otro. Los colores primarios de la luz se clasifican según los conos que nuestros ojos pueden captar. Biológicamente nuestros ojos tienen unas células denominadas conos, Existen conos de 3 tipos, unos que detectan Rojos (sobre longitudes de onda de 700-600 nm), otros para los Verdes (Longitudes de onda de 550 nm) y otros para los azules (que detectan radiaciones de 450-400 nm). De la combinación de dos de ellos salen los colores primarios de la pigmentación (Cyan, Magenta y amarillo), siempre que se utilicen dos, ya que la unión de los tres colores en proporciones iguales forma el blanco , la claridad absoluta, y la ausencia de

los mismos forma el negro, ya que el negro es lo contrario a luz, la oscuridad absoluta.

El RGB (Red, Green, Blue) formarían los colores primarios de la luz, ya que con ellos, se pueden representar todos los colores, y la mezcla de los colores primarios en forma adecuada forma el amarillo, el cian y el magenta (ver tabla 2.2.1).

TABLA 2.2.1 EQUIVALENCIAS DE COLORES PRIMARIOS VS COLORES ELEMENTALES.

COLORES PRIMARIOS	COLORES ELEMENTALES
azul+verde+rojo	blanco
verde+rojo	amarillo
azul+rojo	magenta
azul+verde	cian
azul	azul
verde	verde
rojo	rojo
ningún color	negro

❖ Los colores elementales

Los conos en la retina de nuestro ojo son el origen de tres tipos de sensaciones de color distintas: una de nombre azul-violáceo, otra verde y otra rojo anaranjado. Estas tres sensaciones las correspondemos conceptualmente con los tres colores primarios. Por otra parte, la

combinación entre sí de estos tres colores con todas sus posibilidades nos da las ocho posiciones extremas de impresión del órgano de la vista (ver tabla 2.2.1).

❖ Colores complementarios

Son aquellos que sumados producen negro o blanco, según su síntesis, en la tabla 2.2.2 se muestra las posibles tres posibilidades de producir blanco o negro con la presencia o ausencia del color respectivo.

TABLA 2.2.2 COMBINACION DE COLORES DE NEGRO O BLANCO

MAGENTA + CYAN	=	VIOLETA + AMARILLO	=	NEGRO o BLANCO
MAGENTA + AMARILLO	=	NARANJA + CYAN	=	NEGRO o BLANCO
CYAN + AMARILLO	=	VERDE + MAGENTA	=	NEGRO o BLANCO

2.2.2.2. LEYES DE SÍNTESIS DE COLORES

2.2.2.2.1. LA SÍNTESIS ADITIVA

La síntesis aditiva es la mezcla simultánea de estímulos de color. Siempre entendemos por síntesis aditiva la mezcla aditiva. Es una simulación técnica del funcionamiento del órgano de vista y es el principio que constituye la base de la pantalla reticular de la televisión en color.

2.2.2.2.2. LA SÍNTESIS SUSTRACTIVA

Es la ley complementaria de la síntesis aditiva, la síntesis sustractiva es la mezcla simultánea de tres filtros translúcidos, capaces de la absorción (de sustraer algo) de luz. Es el proceso básico de la reproducción fotográfica. Los tres filtros sustractivos empleados son los correspondientes a los tres colores complementarios.

En la síntesis aditiva el color acromático es el negro y en sustractiva es el blanco.

2.2.2.3 ESPECIFICACIONES DEL COLOR PERCIBIDO

En la industria textil son tres los atributos que suelen usarse para la definición de un color: matiz, brillo, intensidad.

❖ EL MATIZ (TONO)

Atributo de un estímulo de color que lo asemeja a uno de los siguientes colores percibidos: Rojo, Amarillo, Verde, Azul.

❖ EL BRILLO (CROMA)

Atributo que expresa la cuantificación de color refiriéndola a otro que aparece como blanco.

❖ LA INTENSIDAD (CLARIDAD)

Atributo que expresa la cantidad de luz que aparentemente emite un color en relación con otro que aparece como blanco. Un color puede representarse en coordenadas espaciales (coordenadas colorimétricas): Y x x y y .

En donde x y y son las coordenadas de croma e Y es la luminosidad.

2.2.2.4 MEDIDA Y REPRODUCCIÓN DEL COLOR

Las normas internacionales han establecido patrones observadores estándar, es decir instrumentos que miden directamente un color, con la cuantificación de sus atributos. Estos instrumentos se llaman Colorímetros tri-estímulos. Otro instrumento es el Espectrofotómetro, que mide directamente la curva de reflectancia espectral y que se usa para el control más estricto de calidad de color.

2.2.2.4.1. EL ESPECTROFOTÓMETRO

El espectrofotómetro es un equipo que consta de una fuente de iluminación, que es una lámpara de gas xenón correspondiente al patrón iluminante, un portamuestras de color para ser examinado, un discriminador de longitudes de onda, un célula fotoeléctrica como detector de la luz procedente de la muestra.

En la colorimetría textil se miden estas longitudes de onda a intervalos suficientes como para definir los colores ⁽⁰⁷⁾, ver tabla 2.2.3 (detalles adicionales ver anexo I).

TABLA 2.2.3 RELACION DE COLORES CON LONGUITUD DE ONDA

LONGITUD DE ONDA	COLORES ABSORBIDOS	COLORES COMPLEMENTARIOS REFLEJADOS
400 - 435	violeta	verde-amarillo
435 - 480	azul	amarillo
480 - 490	azul verdoso	anaranjado
490 - 500	verde azulado	rojo
500 - 560	verde	púrpura
560 - 580	verde-amarillo	violeta
580 - 595	amarillo	azul
595 - 605	anaranjado	azul verdoso
605 - 650	rojo	verde azulado
650 750	púrpura	verde

2.2.2.5. COLORIMETRÍA TEXTIL

2.2.2.5.1. La ley de Beer

(También conocida como ley de Beer-Lambert-Bouguer: Pierre Bouguer, 1729; Johann Heinrich Lambert; 1760 y August Beer, 1852.)

Aunque esta ley es más conocida como ley de Beer, sin embargo es a Lambert a quien más se le podría atribuir la autoría de ésta. Quiso la casualidad que Lambert desarrollara esta ley que es tan importante para la tintura en los materiales de confección, que es la base principal de todas las teorías posteriores.

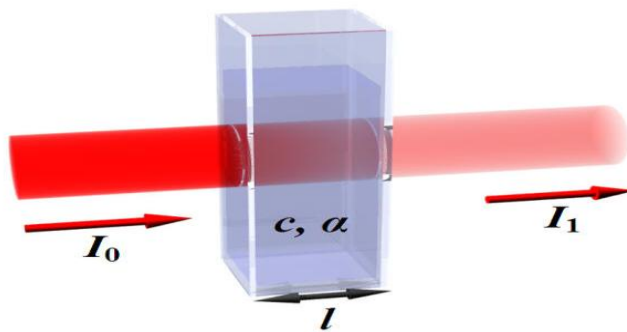


Figura 2.2.2 Efectos de la luz monocromática en una cubeta

Una representación de la ley de Beer puede describirse teniendo una cubeta transparente la cual contiene un líquido que recibe un haz luminoso; después de atravesar la cubeta, el haz de luz saliente es diferente en intensidad tal como se muestra en la figura 2.2.2. Esta representación en forma matemática la podemos definir así:

$$A = -\log \frac{I_1}{I_0}$$

A: Absorbencia de luz al atravesar la masa en la cubeta.

I_0 : Es la intensidad de la luz que entra a la cubeta de líquidos.

I_1 : Es la intensidad de la luz después de atravesar la cubeta de líquidos.

Por lo general, la colorimetría en el proceso tintóreo de la industria textil consiste en medir las diferencias entre el color muestra y el color duplicado, reproduciendo un color a partir de una muestra elegida.

Para cuantificar el color en una solución tintórea se aplica la ley de Beer, según la cual un rayo de luz monocromática al pasar por una solución coloreada pierde intensidad según el grado de concentración de la sustancia absorbente que en ella existe. En la solución tintórea, esa sustancia absorbente es el colorante, y este fenómeno es aprovechado para determinar cuantitativamente la concentración de ese colorante, comparándola con un patrón de color preexistente. La apreciación de esas diferencias, en la práctica de la tintura, debe ser llevada a cabo de forma rápida y precisa utilizando los aparatos llamados colorímetros.

2.3. LOS COLORANTES TEXTILES

2.3.1. DEFINICIÓN DE COLORANTE

El término colorante abarca todo compuesto que cuando es aplicado sobre un objeto, le confiere color y que mantiene sus propiedades de color por un tiempo prolongado. Desde el punto de vista textil, los colorantes pueden ser clasificados en: colorantes propiamente dichos, o las llamadas anilinas y pigmentos.

Un colorante para uso textil (desde ahora solo así referido en esta tesis) es un compuesto soluble que tiene color o capacidad de formar color cuando es absorbido preferencialmente desde la solución por la fibra.

Desde que al agua es el solvente más abundante y económico que se conoce para nuestra definición será requisito indispensable que sea soluble en agua. De otro lado, los pigmentos podrían ser definidos como colorantes insolubles en agua. Es muy difícil en ciertos casos clasificar a un compuesto coloreado como colorante o como pigmento, ya que en algunos casos

compuestos coloreados solubles en agua reaccionan una vez dentro de la fibra para formar un pigmento insoluble en agua retenido dentro de la fibra por atracción ^(33,34).

2.3.2. LOS COLORANTES REACTIVOS

2.3.2.1. INTRODUCCIÓN A LOS COLORANTES

El desarrollo de los colorantes reactivos para las fibras celulósicas abarca una aplicación de aproximadamente sesenta años; sin embargo, fueron las investigaciones llevadas a cabo por Rattee y Stephen en 1953, las que hicieron factible un método para la obtención de teñidos, en los cuales un enlace covalente era formado entre el colorante y la fibra. De esta manera se dio inicio a los colorantes con un modo de fijación por reacción química.

Debe indicarse que existían dos modos principales por los que un colorante podía ser fijado a la fibra, una por adsorción física y la otra por retención mecánica. El teñido de las fibras celulósicas con los colorantes directos ejemplifica el primer tipo; la coloración en masa de las fibras sintéticas durante su fabricación, el segundo. El teñido con los colorantes tina, azoicos y azufre es una mezcla secuencial del primero y segundo tipo respectivamente.

La idea de fijar cualquier cromógeno a la fibra con la ayuda de un punto reactivo siempre ha sido deseada. La parte coloreada o cromógeno puede pertenecer, al menos teóricamente, a cualquier grupo químico que posee la afinidad necesaria por la fibra. En general, se usa cromógenos monoazos libres de metales para conseguir colorantes amarillos, naranjas y rojos; cromógenos mono y diazos que contienen cobre para colorantes de rubís, violetas y azules marinos; derivados de ftalocianina para turquesas y azules brillantes y cromógenos diazos para colorantes negros.

Debido a que los cromógenos utilizados para la fabricación de estos colorantes pueden ser seleccionados, sólo los de óptima solidez a la luz son empleados. La atracción principal de estos colorantes reactivos es la brillantez y solidez a los procesos húmedos de sus tejidos.

La brillantez es debida a la angosta banda de absorción característica de las estructuras moleculares simples; mientras que la solidez a los procesos húmedos se la deben al enlace covalente entre la fibra y el colorante ⁽⁰⁴⁾ (ver anexo II).

2.3.2.2. PARAMETROS EN LA TINTURA

Los parámetros más importantes en todo proceso de tintura con colorantes reactivos son:

2.3.2.2.1. EFECTO DE LA TEMPERATURA

Es conocido que en todos los sistemas de teñido, el agotamiento del colorante aumenta cuando se incrementa su temperatura. En la práctica, este efecto no es siempre visible, ya que la velocidad de teñido disminuye al disminuir la temperatura; así, si el teñido es llevado a cabo por un tiempo corto limitado, no puede obtenerse un agotamiento elevado porque el teñido ha sido demasiado lento para llegar al equilibrio.

Los colorantes de bajo peso molecular, poseen una alta velocidad de difusión al interior de la fibra, de tal manera que un equilibrio puede ser alcanzado rápidamente aún a temperatura ambiente y en tiempos tan cortos como treinta minutos. Sin embargo, la velocidad de difusión del colorante y la velocidad de reacción aumentan con la temperatura.

Estas consideraciones, poseen influencias en las técnicas de aplicación. En licores de teñido neutros el colorante reactivo se comporta como un colorante directo; al agregar el álcali, la reacción comienza a tomar lugar ayudada por la temperatura óptima para cada núcleo reactivo.

La figura 2.3.1 muestra que los diferentes núcleos conocidos comercialmente, poseen diferentes reactividades promedio y por consiguiente diferentes temperaturas de aplicación.

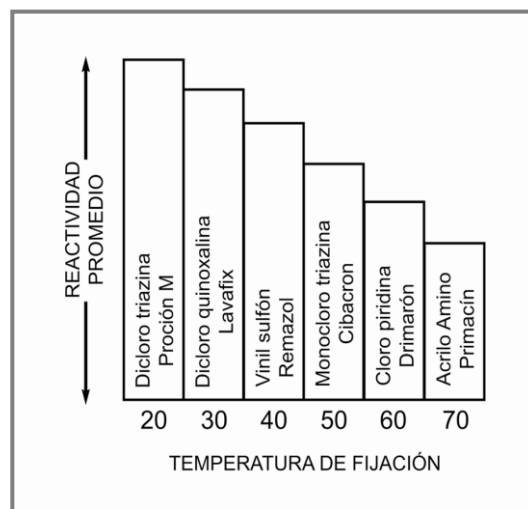


FIGURA: 2.3.1 Reactividades relativas promedio de los diferentes grupos reactivos comerciales.

La eficiencia de la tintura depende de la selección de estos parámetros en las que la reacción del colorante con la fibra toma lugar al máximo. En general, todo el proceso de tintura, la etapa de agotamiento y la de fijación, se llevan a cabo a la misma temperatura; dependiendo de la temperatura óptima para el núcleo reactivo. De esta manera se logra una fijación completa del colorante y se acelera su velocidad de difusión al interior de la fibra.

2.3.2.2.2. EFECTO DE ELECTROLITO

Los colorantes reactivos deben su solubilidad en agua a la presencia de grupos sulfónicos en su molécula. En licores de teñidos neutros (licor previa a la adición de álcali), los colorantes reactivos poseen afinidades hacia la celulosa comparables a aquellas de los colorantes directos de pobre afinidad. Por consiguiente, su agotamiento mejora en presencia de electrolitos.

Generalmente, se requiere concentraciones altas de electrolito, de alrededor de 30 gramos por litro a más. El agotamiento de los colorantes reactivos es esencialmente controlado por las adiciones del electrolito, ya que su control por la temperatura está determinado por la reactividad del núcleo reactivo.

Se requiere que la mayor parte del colorante reaccione con la fibra y no con el agua; ésta se logra por un agotamiento paulatino controlado por las adiciones de electrolito y una activación posterior del núcleo reactivo mediante la temperatura, una vez que el colorante se encuentra en la fibra.

2.3.2.2.3. EFECTO DE LA RELACIÓN DE LICOR DE TINTURA

Se mencionó que los colorantes reactivos poseen afinidades sólo comparables a aquellas de los colorantes directos de baja afinidad. La razón principal para la selección de cromógenos de baja afinidad por la celulosa en la fabricación de colorantes reactivos, es el comportamiento del colorante hidrolizado.

Al usar estructuras cromogénicas de alta afinidad, siempre habrá parte del colorante hidrolizado que poseerá una afinidad comparable al colorante original y de difícil remoción durante el lavado. Este colorante absorbido es capaz de migrar a las prendas vecinas que se laven juntas durante el uso doméstico. Los cromógenos que poseen baja afinidad por la celulosa, al

hidrolizarse son desplazados hacia el baño, por lo que son más fácilmente eliminados durante el lavado.

2.3.2.2.4. EFECTO DE PH

El teñido con colorantes reactivos toma lugar en dos etapas: la adsorción del colorante por la fibra de una manera análoga a la de los colorantes directos; seguido de la reacción del colorante adsorbido por la fibra. La reacción sólo toma lugar en medio alcalino cuando los grupos hidroxilos de la celulosa son convertidos en agentes nucleofílicos celulosatos para reaccionar con el colorante.

El efecto del álcali es doble: en primer lugar, al aumentar el pH del medio aumenta la velocidad de reacción; pero al excederse de 11, disminuye considerablemente el poder de agotamiento del colorante y con éste la eficiencia de fijación.

El pH óptimo es un compromiso con el más bajo posible para obtener un agotamiento completo en un tiempo apropiado de fijación. De esto se hace uso en la práctica para evitar la hidrólisis del colorante en solución, se usa álcalis más débiles y se prolonga el tiempo de reacción a una temperatura constante ^(06,30).

2.3.2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS NÚCLEOS REACTIVOS

Muchos núcleos reactivos poseen propiedades tintoreras, pero algunos pocos han sido seleccionados para su uso industrial. Los sistemas reactivos que se usan en la actualidad, pueden ser clasificados en dos grandes grupos generales de acuerdo a su mecanismo de reacción con la fibra.

- Colorantes reactivos capaces de tomar parte en una reacción de sustitución nucleofílica, en la cual un grupo saliente es sustituido

ante el ataque de una base sobre un carbón saturado, para formar un enlace del tipo éster.

- Colorantes reactivos que poseen un sistema no saturado, capaz de tomar parte en reacciones nucleofílicas de adición, formando un enlace del tipo éter.

NÚCLEOS REACTIVOS MÁS IMPORTANTES EN EL MERCADO

La idea de fijar cualquier cromógeno a la fibra con ayuda de un punto reactivo siempre ha sido deseada. La parte coloreada o cromógeno puede pertenecer, a cualquier grupo químico que posee la afinidad necesaria por la fibra. En general, se usan cromógenos tales como los Diclorotriazinicos o bi-funcionales, Vinilsulfónicos, Monoclorotriazinicos, Triclorotriazinicos, Vinilsulfónamidicos, Monocloro-difluor-pirimidinicos, siendo a la fecha los dos primeros los más usados. La tabla 2.3.1 muestra los núcleos reactivos de acuerdo al grupo cromofórico indicando su año de puesta en el mercado.

2.3.2.4. MODO DE FIJACIÓN DEL COLORANTE A LA FIBRA

2.3.2.4.1. LA IONIZACION DE ALGODON

El algodón es un polímero de celulosa que consiste de anillos de d-glucopiranosos unidos en los carbonos 1 y 4. La figura 2.3.2 muestra a la glucosa sufriendo una ciclación hacia su forma hemiacetálica para dar sus formas furano y pirano (D-glucofuranosa y D-glucopiranososa). En su forma D-glucopiranososa, una molécula de glucosa se une a otra gracias a los -OH de sus carbonos 1-4, y al unirse varias de estas moléculas, forman celulosa.

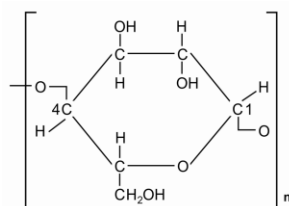
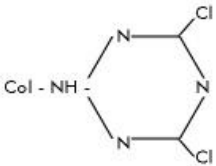
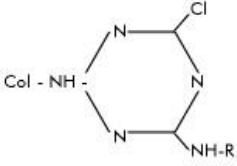
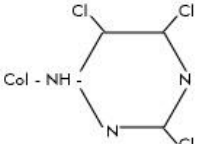
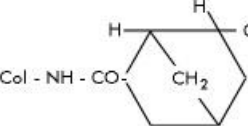
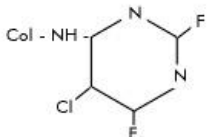


Figura 2.3.2. Molécula de d – GLUCOPIRANOSA

TABLA 2.3.1 Clasificación de los colorantes por a su constitución química.

Grupo Reactivo	Año de aparición	Nombre comercial
 <p>Diclorotriazinicos</p>	1956	Proción M (I.C.I.)
 <p>Monoclorotriazinicos</p>	1957	Cibacron (CIBA) Proción H (I.C.I.)
<p>Vinilsulfónicos Colorante - SO₂ - CH₂ - CH₂ - SO₃H</p>	1958	Remazol (de Hoechst)
 <p>Triclorotriazinicos</p>	1960	Drimaren (de Sandoz) Reacton (de Geigy)
<p>Vinilsulfónamidicos Colorante - SO₂ - NH - CH₂ - CH₂ - OSO₃H</p>	1960	Levafix (de Bayer)
 <p>Vinilsulfónicos</p>	1967	Solidazol N (de C.F.M.)
 <p>Monocloro-difluor-pirimidinicos</p>	1971	Drimaren R (Sandoz)

Por lo tanto, la celulosa puede ser referida como un alcohol polihídrico capaz de reaccionar como tal. Los compuestos alcohólicos poseen en cada grupo oxidrilico, un átomo de hidrogeno ligado a uno de oxígeno muy electronegativo; esto ocasiona un efecto inductivo que favorece la ionización

Tabla 2.3.2

Compuesto	Velocidad Relativa de Reacción
Agua	1.0
Alcohol metílico	12.3
Alcohol etílico	7.4
n-propanol	4.0
Iso-propanol	0.7
Glucosa	5.5

Es interesante notar en la tabla 2.3.2, que la velocidad de reacción del agua es más lenta que de la mayoría de compuestos orgánicos, y por consiguiente, excesiva hidrólisis del colorante (reacción del colorante con los grupos oxídricos del agua) no es de temerse.

2.3.2.4.2. ETAPAS DE FIJACION DEL COLORANTE REACTIVO

La tintura con este tipo de colorante se realiza en tres etapas:

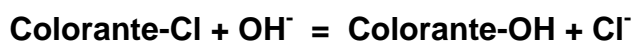
A. PRIMERA ETAPA

Absorción del colorante por la fibra, en un medio neutro y con adición de electrolito, seguida de una absorción en medio alcalino. En el proceso de la absorción, el colorante se difunde hacia el interior de la fibra, donde es atrapado por las cadenas moleculares celulósicas. Estos colorantes son escasos en afinidad pero poseen un elevado coeficiente de difusión.

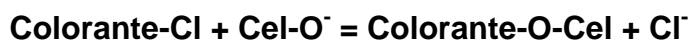
- La etapa de absorción se da en baño de PH neutro, si hubiera un incremento del PH aumentaría la cantidad de colorante que reaccionaría con el agua y sería menos lo que absorbería la fibra.
- Los electrolitos influyen en el agotamiento de estos colorantes. La cantidad de sal a utilizar se relaciona con la concentración de colorante en el baño.
- La temperatura del baño es inversamente proporcional al agotamiento del colorante.
- El tipo de fibra condiciona también el proceso de absorción.

B. SEGUNDA ETAPA

Reacción del colorante con los hidroxilos de la celulosa y del agua en medio alcalino. La reacción que se da entre el colorante y el agua es de la forma siguiente:



La reacción del colorante con la fibra sería:



La velocidad de reacción del colorante con la fibra es varios cientos de veces mayor que la velocidad de reacción del colorante con el agua. Diferencia ésta que aumenta al aumentar la concentración de colorante en el agua, y disminuye al aumentar el agotamiento del colorante. Producen matices de coloreado muy vivos y brillantes.

C. TERCERA ETAPA

Eliminación del colorante hidrolizado, pero sin fijación covalente con la celulosa. Para la eliminación del colorante hidrolizado que esté en el baño, se deshecha sencillamente éste vaciando la máquina. Para eliminar el colorante hidrolizado en la fibra se lava utilizando agua en caliente ⁽⁰⁶⁾.

2.4 CINÉTICA DE LA TINTURA

2.4.1. DEFINICION

La tintura es el proceso en el que la materia textil, al ser puesta en contacto con una solución de colorante, absorbe éste, de manera que habiéndose teñido ofrece resistencia a devolver el colorante al baño. El proceso molecular tintóreo es lo que se llama cinética tintórea. En torno a esta definición de tintura, establecemos dos principios fundamentales:

- Que la tintura consiste en una compenetración entre colorante y fibra, que no es el recubrimiento exterior de una fibra con un colorante, sino absorción de colorante al interior de la fibra.
- Que es un proceso de efecto durable; si una fibra se destiñe fácilmente es que no ha sido teñida.

Sea en teoría o experimentalmente, se puede seguir el proceso tintóreo a nivel molecular, observándose las diferentes fases por las que tiene que atravesar una molécula de colorante:

2.4.1.1. DIFUSIÓN:

Es el proceso de movimiento de la molécula a través del líquido donde el colorante se acerca difundiendo hasta que se deposita a la fibra textil.

2.4.1.2. ADSORCIÓN:

Contacto de la molécula de colorante con la fibra y penetración en su cuerpo físico.

2.4.1.3. DIFUSIÓN SÓLIDA:

La difusión del colorante a través del interior de la fibra.

2.4.1.4. FIJACION:

Es el establecimiento de enlaces estables entre las moléculas de la fibra y del colorante. Llegado a este punto de fijación se puede decir que el colorante ha teñido la fibra y el proceso de tintura ha terminado, estando todas las moléculas de fibra enlazadas con moléculas de colorante.

2.4.2. LA DIFUSIÓN DEL COLORANTE

Existen diversos factores que condicionan la difusión del colorante, acelerándola o retardándola, por ejemplo: el estado de agregación del colorante, la estructura cristalina de estas moléculas, las fuerzas de repulsión eléctrica desde las fibras, o el tamaño de los "poros" amorfos en la estructura cristalina molecular de la fibra. Las moléculas del colorante que hay en una solución tintórea pueden agregarse formando macromoléculas, además de existir monomoléculas en el mismo baño. La difusión del colorante se manifiesta exteriormente por lo que llamamos la igualación, la apariencia de regularidad y uniformidad que presenta la materia teñida.

2.4.2.1. LEYES DE FICK

Al principio del proceso tintóreo el colorante se distribuye en forma anular alrededor de la fibra; ello hace que en la superficie de esa fibra haya una elevada concentración de colorante y muy escasa o nula en su interior. Esa concentración exterior provoca el flujo de colorante hacia el centro del cuerpo a tintar. Las leyes de funcionamiento de este flujo son llamadas Leyes de Fick.

2.4.2.2. COEFICIENTE DE DIFUSIÓN

De acuerdo a la primera ley de Fick el flujo de las moléculas de colorante es directamente proporcional al gradiente de concentración.

$$J = -D \frac{dC}{dx} \quad (2.4.1)$$

J es el flujo y dC/dX es el gradiente de concentración. **D** es la constante correspondiente al coeficiente de difusión. El sentido negativo (-) es consecuencia del sentido del gradiente de concentración, que es opuesto al del flujo, el coeficiente de difusión se mide en cm^2/seg .

La difusión en régimen permanente es un caso especial de uno de los más generales de la difusión transitoria, en la cual los flujos y la concentración varían con el tiempo. Esta ley postula una relación lineal entre el flujo y el gradiente de concentración.

La segunda ley de Fick establece la siguiente relación:

$$-\frac{dC}{dT} = \frac{dC}{dx} D \frac{C}{x} \quad (2.4.2)$$

2.4.3. ISOTERMAS DE ADSORCION

El estudio de las isotermas de adsorción y las velocidades de reacción para colorantes textiles es importante porque provee información acerca de la saturación al equilibrio llevada a cabo por el colorante en la fibra, además de predecir el agotamiento de los baños de tintura para una concentración dada. La información de la saturación del colorante en el substrato es útil para determinar la cantidad de colorante necesaria para obtener una tintura eficiente.

2.4.3.1. ISOTERMAS Y AFINIDAD

Es necesario determinar cuando se alcanza el equilibrio tintóreo a fin de evitar errores como consecuencia de falsas apreciaciones de agotamiento. En efecto, sucede muchas veces que se tiene la impresión de que se ha llegado a un estado de equilibrio, siendo falso, pues si bien la fibra aparenta

estar bien teñida, solo lo está superficialmente, como se puede ver fácilmente en cortes transversales efectuados con un micrófono y observados al microscopio.

Especialmente debemos asegurarnos de haber alcanzado el equilibrio cuando se trabaja sobre fibras de naturaleza muy cristalina o bien en el caso de tener que operar a bajas temperatura, pues en estos casos, el movimiento del colorante en el interior de la fibra puede llegar a ser tan insignificante que la concentración del colorante en el baño permanece prácticamente constante y, como por regla general, se deduce el estado de equilibrio de la constancia de la concentración del baño de tintura, estableciendo un tiempo de equilibrio falso con todos los inconvenientes inherentes al caso.

La forma más corriente de obtener el tiempo de equilibrio, consiste en efectuar una serie de tinturas idénticas durante diferentes espacios de tiempo (4, 8, 16 o 24 horas) determinando en cada caso la distribución del colorante entre la fibra y el baño. Se observa en la figura 2.4.1 un cambio conforme aumenta el tiempo, es necesario prolongar la duración de la tintura, hasta que dicha variación en la distribución del colorante sea nula, en cuyo caso se habrá alcanzado el estado de equilibrio tintóreo.

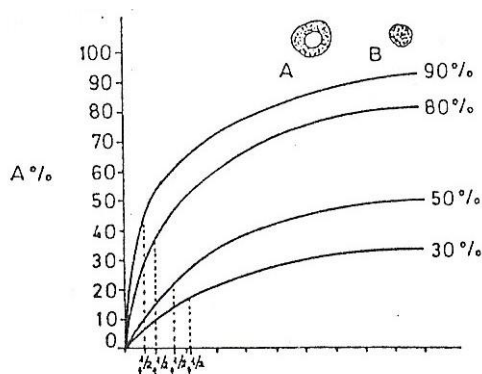


Figura 2.4.1 Curva de agotamiento (%Absorbancia) vs tiempo de tintura.

Como es necesario efectuar esta prueba en todos los procesos tintóreos, debido a los diferentes comportamientos de los colorantes, incluso dentro de los de un mismo grupo, pudiera ocurrir que no se alcanzara el estado de equilibrio hasta transcurridas una o más semanas, lo que traería como consecuencia la posible alteración de las fibras y de los colorantes.

2.4.3.2. ISOTERMAS DE ADSORCIÓN: LEYES DE NERNST, FREUNDLICH Y LANGMUIR

Ya que son conocidos los métodos para la determinación de las concentraciones del colorante en la fibra y en la solución procederemos a analizar el trazado y estudio de las isotermas de adsorción. El objeto de dichas isotermas es estudiar las variaciones de la concentración del colorante en la fibra, su relación con la concentración del colorante en la solución, y deducir de ellas las conclusiones oportunas que pueden tener una aplicación científica y técnica.

La mayoría de las isotermas de tinte, pueden ser encuadradas en tres ecuaciones comunes, conocidas como ecuaciones de Nernst, Freundlich y Langmuir.

2.4.3.2.1. ISOTERMA DE NERNST

La ecuación de Nernst es similar a la ley de Henry para los gases, queda establecida de la siguiente manera:

$$[C]_f = K [C]_s \quad (2.4.3)$$

En donde $[C]_f$ y $[C]_s$ expresan las concentraciones del colorante en la fibra y en la solución respectivamente y K es una constante, que viene a ser la constante de reparto del colorante entre la solución y la fibra. La forma de esta isoterma es lineal; colocando en abscisas la concentración de colorante

en solución y en ordenadas el colorante sobre la fibra se obtiene una línea recta como la descrita en la figura 2.4.2.

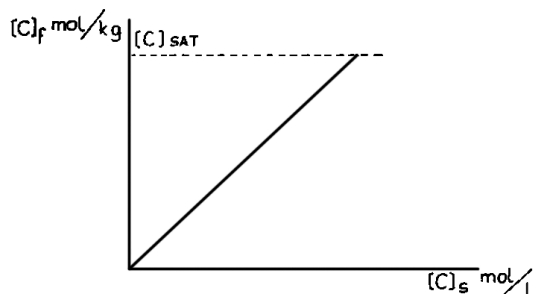


Figura 2.4.2 Isoterma de adsorción deducida de la ley de Nernst

Isotermas como estas, que son lineales y que aumentan su pendiente a medida que se incremente la concentración del colorante en el baño se les conoce como isotermas de Nernst. Son las isotermas más simples de interpretar e indican que la distribución del colorante entre las fibras y el baño es una simple partición del colorante en dos disolventes diferentes hasta que uno de ellos se encuentre saturado del mismo.

$$[\text{Colorante}]_{f,e} = K [\text{Colorante}]_{s,e} \quad (2.4.4)$$

$$[\text{Colorante}]_{f,e} / [\text{Colorante}]_{s,e} = K \quad (2.4.5)$$

Algunos han defendido que estas isotermas de Nernst son meramente un caso especial de la isoterma de Freundlich o la isoterma de Langmuir, pero en la isoterma de Nernst la concentración disuelta del colorante en la solución está restringida (a través de solubilidad) de alcanzar niveles bastantes altos para que la isoterma se aproxime a las isotermas de Freundlich y de Langmuir hacia el eje x $[\text{Colorante}]_b$.

La otra importante diferencia entre la isoterma de Nernst y las demás es que el coeficiente de partición K, en los sistemas de Nernst se mantiene constante a medida que la concentración del colorante aumenta. Sin

embargo, el valor de K decrece a medida de que la temperatura aumenta y la habilidad del agua de disolver el colorante también aumenta.

2.4.3.2.2. ISOTERMAS DE FREUNDLICH

La segunda ecuación, establecida experimentalmente por Freundlich en 1907, puede ser expresada:

$$[C]_f = K [C]_s^x \quad (2.4.6)$$

En donde K es una constante y “x” es un exponente característico del sistema considerado cuyos valores oscilan entre 0.5 y 0.8 según las fibras y el colorante empleado. Como x es siempre menor que la unidad, la isoterma de adsorción es una parábola, sin tender a un límite determinado de la concentración del colorante sobre la fibra. Por consiguiente, no siempre para elevadas concentraciones el modelo satisficará los valores experimentales, porque generalmente la adsorción está limitada por la saturación del colorante de la fibra.

Esta ecuación se caracteriza porque a bajas concentraciones la relación entre colorante sobre fibra y en solución, tiende a aparecer lineal, pudiéndose llegar en algunos casos a una relación constante. Tomando logaritmos, la ecuación se transforma en:

$$\log[C]_f = \log(K) + x \cdot \log[C]_s \quad (2.4.7)$$

Que es la ecuación de una recta en la que “x” es la pendiente y log(K) la ordenada en el origen.

2.4.3.2.3. ISOTERMA DE LANGMUIR

Así como la isoterma de Freundlich tiene una base empírica, Langmuir obtiene la suya por fundamentos cinéticos, sobre los procesos de tintura.

El postulado básico sobre el que se funda, es que el colorante es adsorbido por la fibra en lugares específicos, de tal modo que cuando una molécula ocupa un lugar, éste queda saturado e incapaz de una adsorción ulterior. Supongamos una fibra conteniendo $[C]_f$ moles de colorante por kg de fibra, en equilibrio con una solución tintórea de concentración $[C]_s$ moles de colorante por litro de solución, de modo que cuando todos los lugares de la fibra estén ocupados por el colorante, la concentración de estos será $[C]_{sat}$.

Si el colorante es continuamente separado de la superficie de la fibra, su velocidad de desorción:

$$-\frac{d[C]_f}{dt} \quad (2.4.8)$$

Será proporcional a la concentración del colorante en la fibra, o sea

$$-\frac{d[C]_f}{dt} = K_1 [C]_f \quad (2.4.9)$$

Al mismo tiempo, el colorante llega continuamente a la superficie de la fibra proveniente de la solución y es adsorbido. La velocidad de adsorción referida al colorante en solución es igual a la referida al colorante en fibra pero cambiada de signo.

$$-\frac{d[C]_f}{dt} = \frac{d[C]_f}{dt} \quad (2.4.10)$$

Es proporcional a la concentración de colorante en la solución y también al número de lugares no ocupados, que a su vez es proporcional a $[C]_{sat} - [C]_f$, o sea que:

$$-\frac{d[C]_f}{dt} = \frac{d[C]_f}{dt} = K_2 [C]_s ([C]_{sat} - [C]_f) \quad (2.4.11)$$

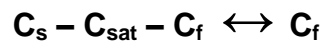
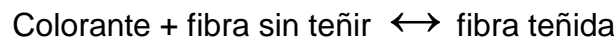
En el equilibrio, la velocidad de desorción y de adsorción son iguales y por consiguiente

$$K_1 [C]_f = K_2 [C]_s ([C]_{sat} - [C]_f) \quad (2.4.12)$$

Y haciendo $K_2/K_1=K$ obtenemos:

$$K = \frac{[C]_f}{([C]_{sat} - [C]_f)[C]_s} \quad (2.4.13)$$

De donde K viene a ser una constante de equilibrio de la reacción.



Finalmente, despejando $[C]_f$ de la ecuación (2.4.13) tendríamos

$$[C]_f = \frac{K[C]_s[C]_{sat}}{1 + K[C]_s} \quad (2.4.14)$$

La figura 2.4.3 muestra una isoterma representada en sus ejes $C_f=F(C_s)$ y tiene forma de hipérbola.

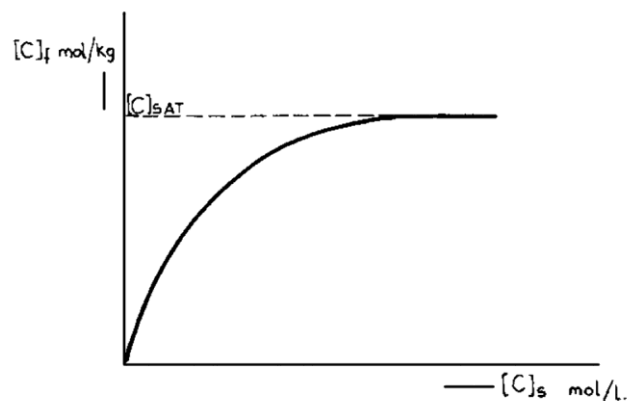


Figura 2.4.3 Isoterma de adsorción según la ecuación de Langmuir

La forma de las ecuaciones (2.4.13) Y (2.4.14) no es adecuada para el estudio gráfico de la isoterma. No obstante, por simples transformaciones se pueden obtener sucesivamente tres ecuaciones que pueden representarse en sendas líneas rectas como se muestra a continuación:

$$\frac{1}{[C]_f} = \frac{1}{[C]_{sat}} + \frac{1}{K[C]_{sat}[C]_s} \quad (2.4.15)$$

$$\frac{[C]_f}{[C]_s} = K[C]_{sat} - K[C]_f \quad (2.4.16)$$

$$\frac{[C]_s}{[C]_f} = \frac{1}{K[C]_{sat}} + \frac{[C]_s}{[C]_{sat}} \quad (2.4.17)$$

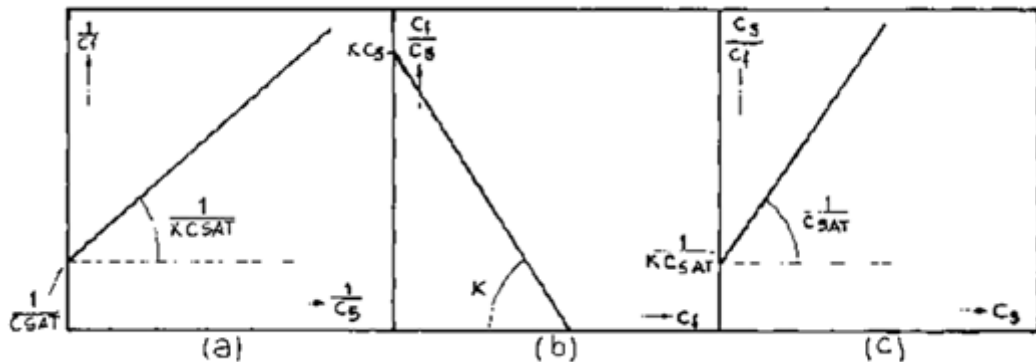


Figura 2.4.4. Isotermas de Langmuir (a) ecuación (2.4.15) (b) ecuación (2.4.16)
(c) ecuación (2.4.17).

Es conveniente representar la isoterma de Langmuir de varias formas puesto que los errores experimentales y las desviaciones de la ley, pueden pasar inadvertidas con una de ellas, en cambio pueden ponerse de manifiesto al ensayar las otras posibilidades de representación.

En la ecuación 2.4.15 $1/C_{sat}$ es la ordenada en el origen y $1/KC_{sat}$ la pendiente de la recta en la figura anterior (a). Luego por el método gráfico o bien analítico pueden calcularse la constante de equilibrio K y la cantidad máxima de colorante sobre la fibra C_{sat} . Así mismo, pueden calcularse haciendo uso de las ecuaciones 2.4.16 y 2.4.17 tal y como se indica en las gráficas (b) y (c) de la figura anterior ^(28,36).

2.4.3.3. LA ADSORCION EN LA FIBRA TEXTIL

El fenómeno de migración está gobernado por algún paso controlante que puede ser por reacción o transporte (difusión). Sin embargo, al tratarse de colorantes reactivos, los puntos de reacción superficial así como el de productos no se consideran.

Además, el modelo de Langmuir desde el punto de vista de ingeniería de reactores, tiene las siguientes consideraciones:

- Toda la superficie tiene la misma actividad.
- Las especies adsorbidas quedan en puntos definidos.
- La máxima adsorción corresponde a la capa única (monocapa).
- Cada sitio solo acomoda una especie activa.
- No hay interacciones entre moléculas.
- Toda adsorción se produce bajo el mismo mecanismo.
- La velocidad de adsorción es la misma que la de desorción.

En un sistema de gas o líquido con una superficie sólida, las moléculas del gas (o concentración) estarán golpeando continuamente la superficie y una fracción de ellas se adherirá a ella. Sin embargo, debido a las energías cinéticas, rotacionales y vibracionales, un número mayor de moléculas energizadas dejarán continuamente la superficie. Un equilibrio se establecerá debido a la velocidad con que las moléculas golpean la superficie y se retengan durante un tiempo y distancia apreciable, que estará exactamente balanceada por la velocidad con que las moléculas dejan la superficie.

La velocidad de adsorción r_a será igual a la velocidad de colisión r_c de las moléculas contra la superficie multiplicada por un factor F representado por la fracción de moléculas colisionadas que se adhieren. A una temperatura fija, el número de colisiones será proporcional a la presión p del gas (o su concentración) en donde la fracción F será constante. De ahí, la velocidad

de adsorción por unidad de superficie vacía será $r_c F$. Esto es igual a kp donde k es la velocidad que involucra la fracción F y la proporcionalidad entre r_c y p .

Debido a que la adsorción está limitada por la cantidad de sitios en la lámina monomolecular de la superficie, esta podrá dividirse en 2 partes: la fracción θ en donde se encuentran las moléculas adsorbidas y $1 - \theta$, la fracción de la superficie vacía. Puesto que solo aquellas moléculas que golpean la superficie vacía pueden ser adsorbidas, la velocidad de adsorción por unidad del total de la superficie será directamente proporcional a $1 - \theta$, siendo así:

$$r_a = kp(1 - \theta) \quad (2.4.18)$$

La velocidad de desorción será también proporcional a la fracción de la superficie ocupada:

$$r_d = k'\theta \quad (2.4.19)$$

La cantidad adsorbida en el equilibrio, es obtenida resolviendo θ , con las ecuaciones de r_a y r_d . El resultado llamado isoterma de Langmuir se representa así:

$$\theta = \frac{kp}{k' + kp} = \frac{kp}{1 + kp} = \frac{v}{v_m} \quad (2.4.20)$$

Donde $K=k/k'$ es la constante de adsorción en el equilibrio, expresado en unidades de (presión)⁻¹. La fracción θ , es proporcional al volumen de gas (o concentración) adsorbido, v , desde que la adsorción es menor que la capa monomolecular. De ahí que se pueda considerar como una relación entre la presión del gas (o concentración) y el volumen adsorbido, donde v_m es el volumen adsorbido cuando todos los sitios activos de la capa molecular están ocupados.

En la figura 2.4.5 muestra las cinco isothermas de adsorción posibles que podría tener este proceso. El tipo 1, el de Langmuir observa comportamiento asintótico que se presenta en la mayoría de los casos de tintura.

La isoterma de Langmuir se diferencia de la Freundlich en que el valor de la concentración del colorante en la fibra tiende hacia un limite de saturación, lo cual no sucedía en aquella. Prácticamente se llega a resultados satisfactorios con ambas ecuaciones, si bien hemos de aconsejar la ecuación de Langmuir para obtener resultados precisos, y la de Freundlich cuando deseamos mayor rapidez y no sea necesaria tanta exactitud.

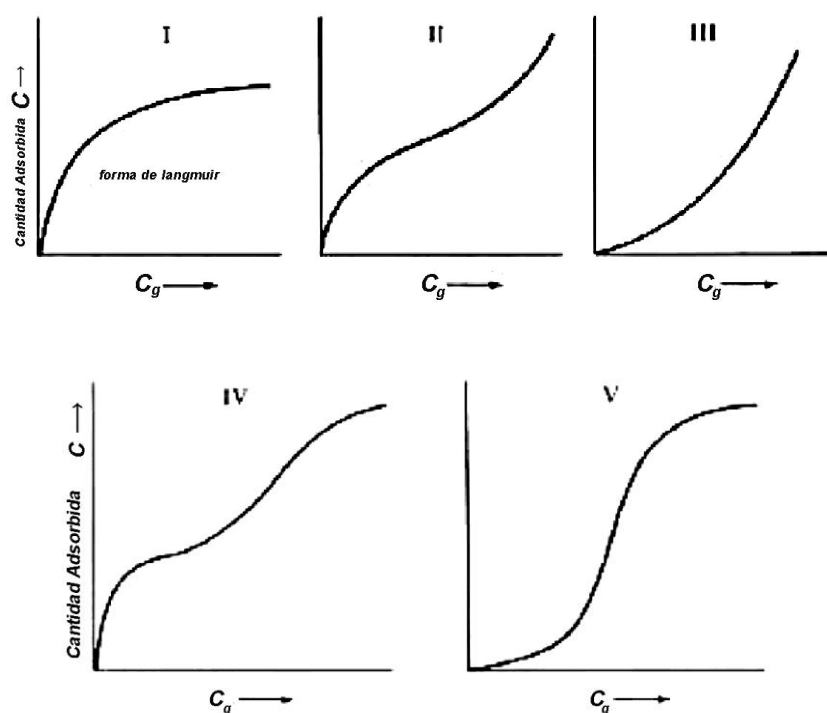


Figura 2.4.5. Tipos de isothermas de adsorción

Por medio de estas isothermas de adsorción, podemos apreciar comparativamente, como influyen las variables de temperatura, concentración de electrolito, pH del baño, etc., en la distribución del

colorante entre la fibra y la solución, llegando a poder establecer analogías de comportamiento entre los diversos colorantes.

No obstante ello, podemos considerar la isoterma de adsorción, como una fase final de los procesos de distribución del colorante entre fibra y baño, siendo por consiguiente, necesario ver en virtud de qué fuerzas se realiza esta distribución y que leyes o principios son aplicables a la regulación del proceso.

La explicación teórica del equilibrio de tinturas es posible hacerla de varias maneras, siendo hoy día preferido por todo el estudio termodinámico en atención a la mayor concisión y precisión de las fórmulas empleadas. Durante el desarrollo de dicho estudio termodinámico del equilibrio tintóreo nos referimos al colorante distribuido entre las dos fases, fibra y solución, y al existente entre la superficie de separación entre dichas dos fases, o sea aquel que está en un estado de tránsito de una fase a otra fase, dicha superficie o mejor dicho, interfase, tiene gran importancia para explicar los fenómenos eléctricos durante la tintura. En la nomenclatura que empleamos, el subíndice "s" será utilizado para indicar la concentración en el baño de tintura en moles por litro, y "f" para lo mismo en la fibra, referido a moles por kg. de fibra seca. Cuando se tenga que considerar la concentración del colorante adsorbido en la zona de separación, emplearemos el subíndice "∞"⁽³²⁾.

2.4.4. TERMODINÁMICA DEL PROCESO DE TINTURA

Químicamente la afinidad o potencial químico es una propiedad intrínseca de la materia en virtud de la cual un cuerpo tiene avidez de reaccionar con otro. Este potencial químico puede expresarse por la siguiente ecuación.

$$\mu = \mu^{\circ} + RT \ln (a) \quad (2.4.21)$$

En la que:

$$\mu = \left[\frac{\partial G}{\partial n_i} \right]_{P,T,n_{j \neq i}} \quad (2.4.22)$$

μ es el potencial químico absoluto del sistema, μ^0 el potencial estándar y “a” la actividad.

Si tenemos en cuenta que el potencial químico es la variación de la energía libre cuando varía el número de moles del sistema. Por tanto una disminución en el valor absoluto del potencial químico del sistema que equivale a un $\Delta\mu$ negativo, es la medida de la fuerza directora de la reacción, esto es de la afinidad.

Si se considera a la tintura de fibras textiles con colorantes como un sistema cerrado, a presión y temperatura constante, que sólo puede intercambiar calor con los alrededores, y a su vez constituido por dos subsistemas abiertos: baño y fibra, que pueden intercambiar materia además de calor, podemos efectuar la representación la siguiente figura; si además suponemos que el sistema es discontinuo, esto es la concentración de colorante en la fibra es independiente de la posición, podemos aplicarlos los conceptos termodinámicos.

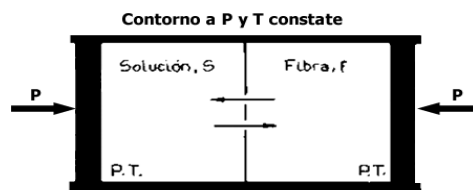


Figura 2.4.6. Descripción termodinámica de un modelo de tintura simple y discontinuo

En efecto, el potencial químico de los dos subsistemas será:

$$\mu_s = \mu_s^0 + RLn(a_s) \quad (2.4.23)$$

$$\mu_f = \mu_f^0 + RLn(a_f) \quad (2.4.24)$$

Ahora bien, el paso del colorante del subsistema solución al subsistema fibra, según la siguiente reacción:

Colorante en solución \rightarrow Colorante en la fibra

Ocurrirá según dijimos con una disminución del potencial químico del sistema, luego si tenemos en cuenta que

$$\Delta\mu = \mu_f - \mu_s \quad (2.4.25)$$

Restando de la ecuación (2.3.24) con la (2.3.23) obtendremos:

$$\Delta\mu = \mu_f - \mu_s = \mu_f^0 - \mu_s^0 + RT \ln \left(\frac{a_f}{a_s} \right) \quad (2.4.26)$$

Y finalmente

$$\Delta\mu = \Delta\mu^0 + RT \ln \left(\frac{a_f}{a_s} \right) \quad (2.4.27)$$

Aquí, $\Delta\mu$ entre la fibra y solución será el incremento de potencial químico instantáneo del proceso, que varia con el tiempo hacia el equilibrio. Este incremento de potencial químico será negativo cuando la tintura tenga lugar y será la media de la fuerza directora del proceso, esto es de la afinidad instantánea del colorante por la fibra.

Esta afinidad instantánea no es fácil de medir, pero se sabe que en el equilibrio es nula, luego de la ecuación (2.4.27) se deduce que

$$-\Delta\mu^0 = RT \ln \left(\frac{a_f}{a_s} \right)_{\text{equilibrio}} \quad (2.4.28)$$

$$-\Delta\mu^0 = RT \cdot \ln(K) \quad (2.4.29)$$

Que es la medida de la tendencia de un colorante a moverse de su estado estándar en solución a su estado estándar en la fibra, o sea una medida cuantitativa de la afinidad del colorante por la fibra. Un valor negativo significa que el equilibrio está desplazado hacia la fibra teñida, un valor positivo indica que el equilibrio está desplazado hacia el baño, y un valor nulo supone

$$a_f = a_s \quad (2.4.30)$$

Hemos de hacer resaltar que la palabra afinidad estándar posee este significado en cuanto se trata de especificar una cualidad de un colorante y que no debe ser complicada como denominación de una serie de fenómenos de la velocidad de tintura.

Dicho de otro modo, la afinidad estándar se refiere al equilibrio y la afinidad instantánea al proceso cinético.

2.4.5. LA VELOCIDAD DE REACCIÓN

El fenómeno de tintura involucra difusividad interna y externa y velocidades de adsorción y reacción como se muestra en la figura 2.4.7. Las moléculas de colorante deben pasar del baño de tintura a la interfase formada por el baño y la fibra, etapa conocida como difusividad externa, enseguida, el colorante debe atravesar la interfase hasta llegar a la superficie de la fibra, a esta etapa se le denomina difusividad interna, una vez ahí comienza el proceso de adsorción de las moléculas por la fibra, la rapidez con que se adsorbe se conoce como velocidad de adsorción, una vez adsorbidas las moléculas de colorante comienza la interacción del colorante con los sitios activos de la fibra mejor conocida como la etapa de reacción dicha rapidez se interpreta como la velocidad de reacción. Todos estos procesos consumen un tiempo determinado, y el proceso que más tarde se le considera como el paso controlante del proceso de difusión o del proceso de reacción.

La manera de determinar las eficiencias de los procesos de tinte es a través del agotamiento, este se define en términos de porcentaje en donde C_i es la concentración inicial y C_f la concentración final se define de la siguiente forma:

$$\% \text{ Agotamiento} = 100 \cdot \frac{C_i - C_f}{C_i} \quad (2.4.31)$$

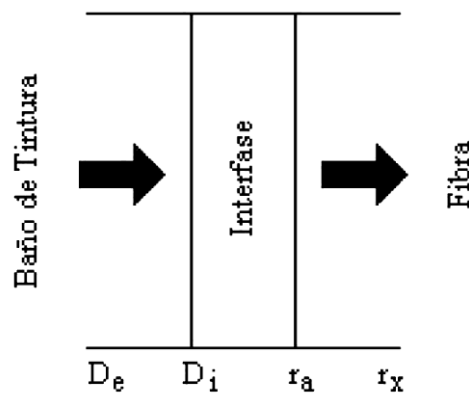


Figura 2.4.7. Diagrama general del proceso de tinte

La cinética de tinte está directamente relacionada con la difusión. El valor del coeficiente de difusión en formas geométricas simples puede obtenerse variando los valores iniciales frontera de la ecuación diferencial de Fick, en su forma geométrica, de error o de series de Bessel en estado estacionario. Es difícil describir el valor del coeficiente de difusión en estructuras porosas e irregulares, porque la forma y el tamaño no pueden ser definidos con cierto grado de confianza. Inclusive, el cálculo de dicho coeficiente en estructuras simples es laborioso.

Se han encontrado a partir de experimentos con distintos colorantes y materiales de tinte, especialmente por tinturas de baños infinitos, que los coeficientes de tinte pueden ser expresados con precisión por expresiones

exponenciales. La adsorción sobre materiales textiles puede ser escrita de la siguiente forma⁽¹²⁾.

$$a = a_e [1 - \exp(-kA_o t)]^n \quad (2.4.32)$$

Donde a es la adsorción en el tiempo t , a_e es la adsorción al equilibrio (a $t \rightarrow \infty$), A_o es la concentración del adsorbente, k es el coeficiente específico constante, y n es la constante de resistencia estructural heterogénea de difusión ($0 < n < 1$). La adsorción al equilibrio A_o depende de las interacciones entre el colorante, el medio de difusión (disolvente) y el adsorbente.

En todos los procesos de tintura diluidos (sencillos), moléculas orgánicas o iones (colorantes, derivados de colorantes o precursores) son primeramente adsorbidos en la superficie de las fibras (substratos) y se difunden en él hasta que más o menos sean distribuidos a lo largo del mismo. De cualquier manera, una vez que el proceso de tintura a concluido, es necesario que los colores ahora en la fibra deban presentar un cierto grado de resistencia de ser removidos con disolventes como el agua que sirvió como disolvente y transporte de los colorantes a la fibra, a derivados de colorantes o bien a precursores fuera del baño de tintura en primera instancia. Este requerimiento podría llamarse resistencia al lavado y con esto, los colorantes para fibras de celulosa tendrán distintas propiedades o respuestas a la resistencia al lavado, por lo general los colorantes reactivos tienen altas resistencias al lavado que los colorantes directos.

Obteniendo una alta resistencia al lavado trae consigo más dificultades en las fibras de celulosa debido a su alta retención de agua. Esta retención ofrece poca protección contra el lavado por agua de colorantes solubles que se difundieron dentro de la fibra.

Tintoreros y químicos de colorantes saben que existen tres formas o métodos de cómo los colorantes pueden ser retenidos por las fibras, donde

las dos primeras formas han sido empleadas desde tiempos inmemorables. Dichos métodos se describen a continuación:

A.- ADSORCIÓN FÍSICA:

Esta cuenta que con las mismas fuerzas con las cuales se atraen los colorantes a la fibra, inicialmente son suficientemente fuertes para retener las moléculas y resistir los tratamientos subsecuentes de lavado.

B.- ADSORCIÓN MECÁNICA:

Esta consiste en la formación de materiales y pigmentos insolubles, libres de la solubilidad química con que fueron difundidos en la fibra.

C.- REACCIÓN EN FIBRA:

Aquí las moléculas o iones de colorante no pierden todos sus grupos funcionales solubles después de ser difundidos dentro de las fibras, pero en las condiciones correctas reaccionan y se enganchan así mismo por enlaces químicos covalentes a las moléculas largas de la fibra formando nuevas derivaciones de color en las fibras. El número pequeño de grupos funcionales solubles es totalmente inadecuado y causa que las nuevas moléculas grandes se disuelvan en agua ⁽³⁵⁾.

2.4.5.1. LOS ENLACES QUÍMICOS EN FIBRAS TEXTILES

La atracción entre átomos (enlazados) que dan lugar a moléculas o iones, combinándose entre sí mismas o con diferentes moléculas o iones por distintas interacciones o productos de reacción dependen del movimiento y la distribución las cargas eléctricas, de la energía requerida por el proceso y de la estabilidad de los productos. Las cargas eléctricas representan la probabilidad de encontrar grandes o pequeños excesos (-) localizados, o deficiencias (+) en la distribución de electrones alrededor de átomos particulares.

Para el químico, los diferentes tipos de enlaces involucrados en el proceso de tintura pueden ser discutidos con términos químicos. Aquí se describe entonces el tratamiento de manera simple y descriptiva.

2.4.5.1.1. EL ENLACE COVALENTE:

Existen dos posibles casos extremos cuando consideramos enlaces entre átomos. Uno de los casos extremos consiste en el enlace covalente, por ejemplo el de carbón e hidrógeno de la mayoría de los compuestos orgánicos.

En este caso ambos átomos donan un electrón al enlace y el par resultante de electrones se encuentran compartidos entre sí. Como los enlaces comparten una gran cantidad de energía y ello requiere aun más energía para separarlos. Los enlaces entre colorantes reactivos y fibras de celulosa son de este tipo.

2.4.5.1.2. EL ENLACE IÓNICO:

El otro caso extremo del enlace covalente está en el enlace iónico. En este caso muy simple, los dos átomos adyacentes podrán tener un electrón disponible para contribuir al enlace, pero solo un átomo es capaz de ganar estabilidad tomando ambos electrones para sí mismo, por consiguiente ganará un electrón extra (de carga negativa). Esto dejara al otro átomo con un electrón menos (en carga positiva), que lo hará más estable. Como es el caso de la sal común NaCl, que no existe como molécula de enlace covalente, pero sí como ion de sodio cargado positivamente e ion de cloro cargado negativamente así estos iones opuestos se atraen uno a otro electroestáticamente. Dichas atracciones electrostáticas están involucradas en el proceso de tintura con los colorantes ácidos y básicos donde las moléculas de la fibra pueden llevar cargas opuestas a aquellos iones del colorante que se apliquen y por esta causa sean atraídos⁽²⁴⁾.

2.4.6. ECUACIONES CINÉTICAS DE TINTURA

De las ecuaciones cinéticas de tintura que se conocen, la más sencilla de todas, del tipo parabólico y la más utilizada, es la propuesta por Patterson y Sheldon, y es deducida de la ecuación reducida de la difusión, que nos dice que la cantidad de colorante por unidad de peso de fibra adsorbido en un tiempo "t" es directamente proporcional a la raíz cuadrada del tiempo.

$$C_t = k \cdot \sqrt{t} \quad (2.4.34)$$

Los citados autores incluyen en ella la concentración de baño de tintura "C_b":

$$C_t = C_b \cdot k \cdot \sqrt{t} \quad (2.4.35)$$

Derivando y agrupando la ecuación anterior obtenemos;

$$\frac{\partial C_t}{\partial t} = \frac{k}{C_t} \quad (2.4.36)$$

Comparando esta ecuación con las de las cinéticas de los procesos heterogéneos, es similar a una ecuación de orden cero retardada por los productos de reacción.

Para calcular la constante k de la ecuación anterior se construye una gráfica de "C_t" en función de \sqrt{t} resultando una recta que pasa por el origen y cuya pendiente es la constante de velocidad (ver figura 2.4.8). La ecuación sólo se adapta a los resultados experimentales desde el origen de la tintura hasta el tiempo medio aproximadamente y en determinados casos puede cumplirse hasta un 80% de agotamiento. Su constante no es una verdadera constante de velocidad porque lleva en sus dimensiones T^{1/2} en lugar de T⁽¹²⁾.

En cinética tintórea, también se ha utilizado con frecuencia la ecuación de primer orden de las reacciones homogéneas.

$$\frac{\partial C_t}{\partial t} = k \cdot (C_\infty - C_t) \quad (2.4.37)$$

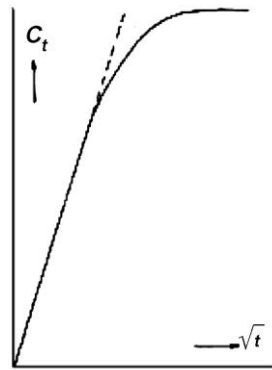


Figura 2.4.8. Ecuación parabólica $C_t = K\sqrt{t}$

Esta ecuación supone que la velocidad de tintura es directamente proporcional a la cantidad de fibra no teñida representada por $C_\infty - C_t$, siendo C_∞ la cantidad de colorante al equilibrio e integrando la ecuación anterior obtenemos:

$$\ln\left(1 - \frac{C_t}{C_\infty}\right) = -kt \quad (2.438)$$

Que es la ecuación de una recta que pasa por el origen y de pendiente k en el tramo recto.

2.4.6.1. LOS MODELOS CINÉTICOS EMPÍRICOS

2.4.6.1.1. LA ECUACIÓN DE VICKERSTAFF

Según este modelo, el proceso de tintura puede ser dividido en 3 pasos diferentes:

1. El transporte del colorante del baño de tintura a la superficie de la fibra.
2. Adsorción del colorante en la fibra.

3. Difusión y adsorción del colorante dentro de la fibra.

En principio, cualquiera de estos 3 procesos puede controlar o influir en la velocidad de teñido. Existen muchos reportes experimentales que indican que el paso 3 determina el proceso de tintura, pero muchos de ellos usualmente se refieren al teñido de materiales como películas de polímero, fibras sueltas bajo condiciones de agitación eficiente. Una agitación eficiente en los baños de tintura le resta importancia al paso 1, desde que el colorante es llevado a la superficie de la fibra a una velocidad que es entonces más adecuada para mantener la velocidad de tintura. También ha habido reportes de casos donde el proceso tintura esta influenciado por obstáculos en la superficie de las fibras donde incluimos los efectos descritos en el paso 2, donde estos obstáculos pueden ser lo suficientemente grandes como para influir considerablemente en la velocidad de tintura de lana, o en la difusión del colorante a través de membranas de celulosa.

La adsorción de colorantes con una buena agitación de los baños de tintura, muestran peculiaridades en su comportamiento que pueden ser explicadas con el supuesto de que el proceso de adsorción con el substrato ocurre muy lento comparado con el proceso de difusión dentro de la fibra. Estas complicaciones sugieren que los pasos 2 y 3, puedan tomarse en cuenta en la práctica con dificultad.

En principio se deben hacer las siguientes suposiciones básicas que en ciertos casos son inaplicables:

1. El proceso de adsorción en la fibra ocurre muy rápido en comparación con el proceso de difusión, y existen un equilibrio instantáneo entre las concentraciones de los colorantes libres y adsorbidos en la fibra.
2. El proceso de adsorción y desorción en la fibra ocurre muy rápidamente.

3. No existen obstáculos que impidan el paso del colorante a través de la interfase agua-fibra, como podría suponerse de las interacciones eléctricas entre los iones de colorante y la fibra o de la morfología de la fibra¹⁰.

La ecuación de Vickerstaff está descrita de la siguiente forma:

$$\frac{M_t}{M_\infty} = 1 - \exp(-kt) \quad (2.4.39)$$

Donde M_t y M_∞ son las concentraciones del colorante en la fibra en el tiempo t y en el equilibrio respectivamente, y k es la constante de velocidad aparente del sistema.

Esta ecuación es buena cuando se trabaja en condiciones muy cercanas al equilibrio, pero en las etapas iniciales del proceso de tintura la siguiente ecuación empírica se ajusta mejor:

$$\frac{M_t}{M_\infty} = kt^{1/2} \quad (2.4.40)$$

Vickerstaff, para sus estudios de cinética tintórea propuso una ecuación de tipo hiperbólico:

$$\frac{1}{C_\infty - C_t} - \frac{1}{C_\infty} = kt \quad (2.4.41)$$

cuya forma diferencial es

$$\frac{\partial C_t}{\partial t} = k \cdot (C_\infty - C_t)^2 \quad (2.4.42)$$

Por consiguiente, se trata de una ecuación cinética de segundo orden.

Como puede observarse, la ventaja de esta ecuación es el poder aplicarse a distintos agotamientos en equilibrio. La región más útil para el cálculo de las constantes de velocidad es la parte central de las gráficas que es recta, debiéndose admitir la correspondiente ordenada con el origen ⁽¹⁸⁾.

2.4.6.1.2. LA ECUACIÓN DE CEGARRA – PUENTE

Esta ecuación esta basada en una propiedad fundamental de los equilibrios tintóreos, que establece la reversibilidad de los mismos. Esto es, en los procesos tintóreos existe una velocidad directa de colorante del baño hacia la fibra y una velocidad de la fibra hacia el baño, que en el equilibrio son iguales. Por tanto, en principio podremos escribir que la velocidad de tintura será igual a la velocidad directa V_d menos la inversa V_i .

$$\frac{\partial C_t}{\partial t} = V_d - V_i \quad (2.4.43)$$

La velocidad directa para un baño de concentración constante, puede ser expresada simplemente por la ecuación 2.4.36 y la inversa, siguiendo un razonamiento similar al descrito al hablar de la isoterma de Langmuir, puede hacerse directamente proporcional a la cantidad de colorante existente en la fibra, con la que la ecuación 2.4.43 se convierte en:

$$\frac{\partial C_t}{\partial t} = \frac{k_d}{C_t} - k_i \cdot C_t \quad (2.4.44)$$

Como en el equilibrio las velocidades directas e inversas son iguales, y C_t se convierte en C_∞ , podemos escribir

$$\frac{k_d}{C_\infty} = k_i \cdot C_\infty \quad (2.4.45)$$

Despejando k_d , sustituyendo en la ecuación 2.4.44 y agrupando términos constantes en una nueva constante, que por comodidad la llamaremos también k , tendremos:

$$\frac{\partial C_t}{\partial t} = k \cdot \frac{C_\infty^2 - C_t^2}{C_t} \quad (2.4.46)$$

Si integramos entre los límites $t=0, C_t=0$ y $t=t, C_t=C_t$, tendremos:

$$\ln \left(1 - \frac{C_t^2}{C_\infty^2} \right) = -kt \quad (2.4.47)$$

Ecuación de una recta que pasa por el origen, como se muestra en la figura 2.4.9 y que se adapta bastante bien a todos los puntos experimentales de las tinturas en baño de concentración constante que cumplen la segunda ley de Fick. Otra forma de escribir esta ecuación sería:

$$\frac{C_t}{C_\infty} = (1 - \exp [-kt])^{1/2} \quad (2.3.48)$$

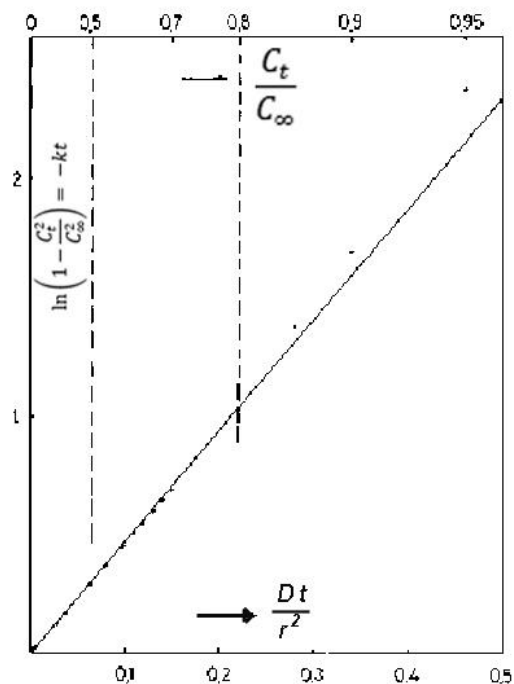


Figura 2.4.9. Representación gráfica de la ecuación de Cegarra – Puente

La ecuación de Cegarra - Puente, aunque fue deducida para baño de concentración constante, puede resolverse para baño con agotamiento,

introduciendo en ella las modificaciones adecuadas debidos precisamente al agotamiento del baño.

Una de las citadas modificaciones fue realizada en la tesis doctoral de J. Valldeperas ⁽¹⁰⁾, que consistió en suponer que la velocidad directa, con relación a la que tendría en baño de concentración constante, disminuía con el transcurso del tiempo. Esta disminución se materializó haciendo la velocidad directa de tintura directamente proporcional a una potencia del tiempo. Naturalmente si esto ocurría con la velocidad directa, lógicamente afectaría a la inversa que también disminuiría, y para facilidad de integración se introdujo el mismo factor, con lo que la ecuación 2.4.43 se transforma en:

$$\frac{\partial C_t}{\partial t} = \frac{k_d \cdot t^{(a-1)}}{C_t} - k_i \cdot C_t \cdot t^{(a-1)} \quad (2.4.49)$$

Igualando velocidades y sustituyendo se obtendría

$$\frac{\partial C_t}{\partial t} = k \cdot \frac{C_\infty^2 - C_t^2}{C_t} \cdot t^{(a-1)} \quad (2.4.50)$$

Integrando quedaría

$$\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{C_t^2}{C_\infty^2} \right) \right] = a \cdot \ln(t) + a \cdot \ln(k) \quad (2.4.51)$$

El exponente “a” depende del agotamiento, disminuyendo cuando éste aumenta. La versatilidad de la ecuación (2.4.51) es muy grande, puede aplicarse a múltiples sistemas con éxito aunque no cumplan la ley de Fick.

Otro modo de escribir la citada ecuación sería:

$$\frac{C}{C_\infty} = [1 - e^{-(kt)^a}]^{1/2} \quad (2.4.52)$$

La cual permite el cálculo de Ct para distintos tiempos conociendo la constante de velocidad y el exponente.

Otra modificación interesante de la ecuación de Cegarra-Puente, que incluye el agotamiento, fue realizada en la tesis doctoral de F. J. Carrión ⁽¹²⁾. En la velocidad directa de la ecuación (2.4.44) para baño de concentración constante, se introdujo un factor que refleja la disminución de la concentración del baño C_b y que en principio podría ser la cantidad de colorante presente en el baño expresada en gramos de colorante por kilo de fibra elevada a un exponente arbitrario p . Por otra parte, la velocidad inversa con respecto a la que tendría en baño infinito, también disminuiría a medida que así lo hiciese la concentración superficial de colorante en la fibra C_s^q . Por consiguiente:

$$\frac{\partial C_t}{\partial t} = k_d \cdot \frac{C_b^p}{C_t} - k_t \cdot C_t \cdot C_s^q \quad (2.4.53)$$

La concentración de colorante en la superficie de la fibra C_s , depende de la concentración del baño C_b . Por tanto:

$$C_s = k_e \cdot C_b \quad (2.4.54)$$

sustituyendo más arriba y haciendo $p=q=1$ quedaría

$$\frac{\partial C_t}{\partial t} = k_d \cdot \frac{C_b}{C_t} - k_i \cdot k_e \cdot C_t \cdot C_b \quad (2.4.55)$$

Por otra parte, C_b en todo momento es igual a la cantidad inicial de colorante C_i menos la cantidad de colorante que ha adsorbido la fibra. Luego, siempre que se expresen todas las concentraciones en g/kg. de fibra, podemos escribir:

$$C_b = C_i - C_t \quad (2.4.56)$$

Con el objeto de simplificar la ecuación final podemos hacer $C_i/C_\infty=c$ de modo que la ecuación (2.4.56) se convertiría en:

$$\frac{C_b}{C_\infty} = \frac{C_i}{C_\infty} - \frac{C_t}{C_\infty} \quad (2.4.57)$$

$$C_b = \frac{1}{\varepsilon} - C \quad (2.4.58)$$

La ecuación (2.4.58) incluye el agotamiento y es similar a la ecuación (2.4.50); ambas comparadas con la ecuación (2.4.46) para baño de concentración constante llevan un factor adicional que representa el efecto en la cinética de la disminución de la concentración del baño de tintura.

Integrando quedaría:

$$\ln \frac{(1-c)^2}{(1-c)^{1+\varepsilon}(1-c)^{1-\varepsilon}} = kt \quad (2.4.59)$$

Ecuación de una línea recta que pasa por el origen y que se adapta bastante bien hasta agotamientos totales del 80%.

Para agotamientos muy elevados, o sea, cuando el baño de tintura queda completamente incoloro, se ajusta mejor la ecuación (2.4.53) haciendo $p=q=2$. Razonando del mismo modo y si tenemos en cuenta que cuando $\varepsilon \rightarrow 1$; $1/\varepsilon \rightarrow 1$ la ecuación general se transforma en:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = k \cdot \frac{(1-c)^3(1+c)}{c} \quad (2.4.60)$$

Y cuya integral es una ecuación relativamente sencilla.

$$\frac{1}{(1-c)^2} + \frac{1}{2} \ln \left[\frac{1-c}{1+c} \right] = kt \quad (2.4.61)$$

Todas estas modificaciones son distintas alternativas que pueden adaptarse a cualquier proceso experimental. Un estudio estadístico nos indicaría cuál de ellas es la mejor para el caso particular que se investiga ^(10,12,20).

2.4.6.1.3. LA ECUACIÓN DE MCGREGOR

McGregor plantea el problema bajo el punto de vista de la termodinámica de los procesos irreversibles, aplicado a la tintura. Para ello, considera un sistema discontinuo en el que la concentración de colorante sobre la fibra es uniforme. En tal sistema la afinidad instantánea $\Delta\mu$ es la fuerza directora del proceso, pudiéndose plantear la siguiente ecuación de velocidad.

Velocidad instantánea de tintura = Afinidad Instantánea / Resistencia Instantánea

O sea, que la velocidad instantánea de tintura es inversamente proporcional a la resistencia que opone el medio y directamente proporcional a la afinidad.

De esta relación puede escribirse de modo más simple haciendo

$$\text{Velocidad instantánea} = \frac{\partial c}{\partial t} \quad (2.4.62)$$

$$\frac{1}{\text{Resistencia instantánea}} = B \quad (2.4.63)$$

$$\text{Afinidad instantánea} = -\Delta\mu \quad (2.4.64)$$

$$\text{Luego } \frac{\partial c}{\partial t} = B \cdot (\Delta\mu) \quad (2.4.65)$$

$$c = \frac{C_f}{C_{f\infty}}$$

En la que: C_f colorante en fibra, B constante de velocidad y $-\Delta\mu$ es la afinidad instantánea.

El signo (-) es convencional, esto significa que el colorante desaparece del baño de tintura o bien que aparece en la fibra.

La afinidad de tintura para colorantes reactivos y fibras celulósicas viene dada por:

$$\Delta\mu = \Delta\mu^o + R.T. \ln \frac{C}{C_b} \quad (2.4.66)$$

$$\Delta\mu^o = -R.T. \ln \frac{C_{f\infty}}{C_{b\infty}} = R.T. \ln \frac{C_{b\infty}}{C_{f\infty}} \quad (2.4.67)$$

Introduciendo la ecuación (2.4.67) en la (2.4.66) queda de la siguiente forma:

$$\Delta\mu = R.T. \ln \left[\frac{C_{b\infty}}{C_{f\infty}} \right] + R.T. \ln \left[\frac{C_f}{C_b} \right] = R.T. \ln \left[\frac{C_{b\infty} \cdot C_f}{C_{f\infty} \cdot C_b} \right] \quad (2.4.68)$$

Para un baño de concentración constante, $C_b=C_{b\infty}$ con lo que la ecuación (2.4.68) se transforma en:

$$\Delta\mu = R.T. \ln \left[\frac{C_f}{C_{f\infty}} \right] = R.T. \ln (c) \quad (2.4.69)$$

Finalmente substituyendo en la ecuación (2.3.65) quedaría:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -B.R.T. \ln (c) \quad (2.4.70)$$

Esta ecuación cinética es muy sencilla aunque difícil de integrar, pero si tenemos en cuenta que $BRT=k$ y $\ln(c) \rightarrow (c-1)$ cuando $c \rightarrow 1$, aproximadamente podremos escribir que:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -k \cdot (1 - c) \quad (2.4.71)$$

Ecuación cinética similar a las de primer orden que una vez integrada da:

$$\ln(1 - c) = -k \cdot t \quad (2.4.72)$$

En la ecuación (2.4.72) se podrían hacer los mismos comentarios que en la ecuación 5, la cual es de primer orden.

A continuación se muestra una lista de los modelos cinéticos más usados para la tintura de fibras textiles incluyendo la ecuación del posible orden de reacción en su forma no integrada.

Modelo	Ecuación	Información Adicional
Orden de Reacción	$\frac{\partial C_A}{\partial t} = -k C_A^n$	$2.0 \leq n \leq 0.0$
Exponencial	$\frac{M_t}{M_\infty} = 1 - \exp(-kt)$	
Parabólica	$\frac{M_t}{M_\infty} = kt^{1/2}$	
Hiperbólica	$\frac{1}{(M_\infty - M_t)} - \frac{1}{M_\infty} = kt$	
Vickerstaff	$\frac{M_t}{M_\infty} = 1 - \exp(-kt)$	
McGregor	$(M_\infty - M_t) = \exp(-k \cdot t)$	
Etters-Ubanik	$\frac{M_t}{M_\infty} = 1 - \exp(-kt^a)$	$a=1/2$
Rais	$\frac{M_t}{M_\infty} = \tanh(kt)$	
Cegarra-Puente	$\frac{M_t}{M_\infty} = [1 - \exp(-kt)]^{1/2}$	
Cegarra-Puente Modificada	$\frac{M_t}{M_\infty} = [1 - \exp(-kt)^a]^{1/2}$	

Tabla 2.4.1. Modelos cinéticos empíricos para fibras textiles ⁽¹²⁾.

2.4.7. LA INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES TINTÓREAS SOBRE LA VELOCIDAD DE TINTURA

Hemos visto como la velocidad de tintura puede ser definida por el valor numérico de un tiempo en alcanzar un estado de saturación media en la

fibra, o por el valor numérico de las constantes de velocidad, sin que ello nos aclare cuales son los factores que determinan el que dichos valores tengan una magnitud más o menos grande, cuestión de extraordinaria importancia para nosotros, ya que conociendo la ley de variabilidad de velocidad en función de los factores que actúan sobre ella, podremos desplazar la cinética del sistema a nuestra voluntad y predecir antes de efectuar la tintura, el resultado, no es exacto, pero si aproximado, de cómo se desarrollará el teñido. Además de las condiciones específicas de cada colorante tales como su afinidad por la fibra y su velocidad de difusión, la velocidad de tintura se ve afectada en gran manera por las condiciones mecánicas del proceso y por la temperatura a que tiene lugar, factores ambos de gran influencia y que merecen ser tratados con detenimiento ^(06,26).

2.4.7.1. LOS FACTORES DE DIFUSIÓN

Los factores más influyentes en el coeficiente de difusión son los siguientes:

- Concentración del colorante.
- Afinidad.
- Electrolito.
- Temperatura.
- Substrato.
- Constitución del colorante
- Factores mecánicos

2.4.7.1.1. CONCENTRACIÓN DEL COLORANTE

Con el aumento de la concentración del colorante en el substrato aumenta el coeficiente de difusión; En la figura 2.4.10 se puede observar la curva exponencial cuando la concentración varia de cero al infinito modificando el coeficiente de difusión D , ya que habrá mayor difusión debido a la mayor cantidad de colorante a migrar.

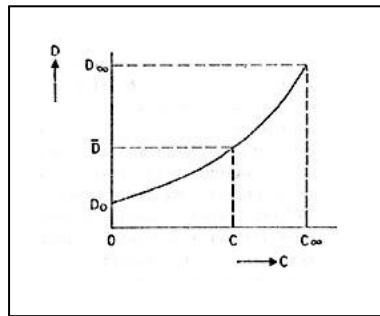
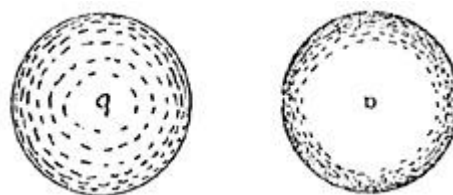


Figura 2.4.10. Relación entre el coeficiente de difusión y la concentración al infinito.

2.4.7.1.2. LA AFINIDAD COLORANTE-FIBRA:

Para el caso de la afinidad colorante-fibra, ésta no es directamente proporcional al coeficiente de difusión. Si se trata de una elevada afinidad, la tintura es rápida en el inicio de la penetración en la fibra, pero enseguida el proceso se vuelve lento, por la propia concentración del colorante en ese principio que frena más partículas de colorante con las suyas propias.

Las capas exteriores se tintan mucho y las interiores muy poco y muy despacio (ver figura 2.4.11). Con baja afinidad, si bien el coeficiente puede que no aumente, sin embargo la penetración al interior es más uniforme. Puede verse el fenómeno en una sección transversal de una fibra al microscopio.



Gran afinidad

Baja afinidad

Figura 2.4.11. Grado de afinidad del colorante frente a la fibra de algodón.

2.4.7.1.3. LA PRESENCIA DE SAL (ELECTROLITO)

En el baño, la sal influye en la atracción-repulsión entre la fibra y el colorante; en ese sentido, influye en el coeficiente de difusión. Para la tintura que precisa de electrolito, hay un grado óptimo de concentración de sal.

2.4.7.1.4. LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA

Para la influencia de la temperatura en cuanto a la velocidad se refiere podemos considerar como una representación gráfica de los colorantes en general, y se deduce que la velocidad de tintura aumenta con la temperatura. A veces ocurre que los aumentos de velocidad, se superponen a los de afinidad del colorante por la fibra, y como éstas son menores conforme aumenta la temperatura, resulta que el sistema presenta una mayor adsorción a baja temperatura. La relación entre estos dos factores se puede apreciar en la figura 2.4.12, en la cual se ha ideado unas isothermas ficticias a fin de poder dejar bien claro estos conceptos.

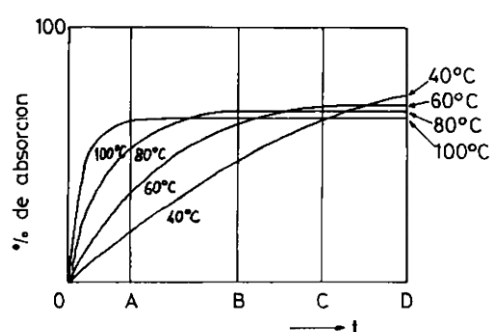


Figura 2.4.12. Influencia de la temperatura y la afinidad en la cinética de tintura.

Por medio de un gráfico construido de esta forma, pueden ser estudiados los efectos de diferentes velocidades de tintura, velocidades de circulación de baño, tiempos de tintura, de la conducta práctica de un sistema cualquiera. Si partimos de la base, de que industrialmente todo proceso de tintura es necesario efectuarlo en un tiempo determinado, que suponemos en nuestro caso igual a D, de la figura 2.4.12, obtendremos que según el gráfico, con este tiempo de colorante se alcanza la adsorción máxima a 40° C. Si dicho tiempo tuviese que reducirse a B, es evidente que en dicho caso la temperatura óptima de tintura estará en 80° C y el equilibrio del sistema se habría desplazado totalmente.

2.4.7.1.5. EL SUBSTRATO A TINTAR

Es determinante en todo proceso tintóreo. Ya se ha visto que en algunas estructuras moleculares el colorante sólo puede ocupar las regiones amorfas de los mismos, no pudiendo, por ejemplo, romper la estructura cristalina de la formación molecular de esa fibra. Las fibras sintéticas una vez hiladas se someten a un estirado considerable, en el que la macromolécula se alarga y quedan sus cristales orientados unidireccionalmente. En esas condiciones es muy difícil que el colorante se aloje en el interior de la fibra. Lo mismo ocurre con el termofijado (tratamiento de las fibras a alta temperatura, 100°C en húmedo, 200° C en seco) para fijar sus dimensiones; la estructura de la fibra se altera y también puede alterar el alojamiento del colorante en su interior.

2.4.7.1.6. LA VELOCIDAD DE TINTURA

Se llama velocidad de tintura al peso de colorante absorbido por la fibra en una unidad de tiempo. El peso de colorante absorbido se mide por defecto del porcentaje de agotamiento en el baño.

Este tiempo se toma como el necesario para que la fibra absorba la mitad de colorante que debiera absorber para el estado de equilibrio; es decir, que en interior de la fibra haya tanto colorante como para saturar la fibra y que la tintura se detenga.

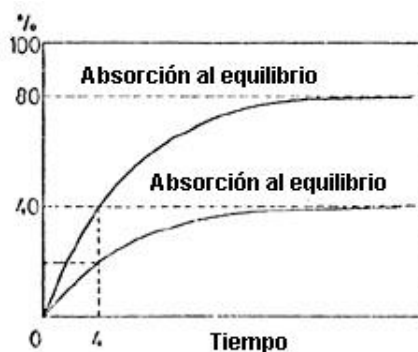


Figura 2.4.13. En el gráfico vemos dos colorantes con igual velocidad de tintura, teniendo distinto porcentaje de equilibrio, porque sus tiempos son iguales.

Los factores influyentes en la velocidad de la tintura son, por tanto, aquellos que actúan sobre el factor tiempo.

La temperatura del baño, que modifica, como ya se ha anotado antes, el coeficiente de difusión del colorante, modificando así el tiempo que éste necesita para cubrir externa e internamente su espacio en la fibra.

Los otros factores son de tipo mecánico, que modifican la superficie de contacto colorante/fibra: agitación del baño, agitación de la fibra, relación entre volumen del baño y peso de fibra, diámetro-sección de hilos, etc.

Podemos llegar a la conclusión de que variando las velocidades entre fibra y solución, la cinética del sistema cambia completamente y que por consiguiente, será muy difícil que lleguemos a resultados perfectamente idénticos entre pruebas de laboratorios y tinturas obtenidas en las máquinas, si antes no ajustamos las condiciones de aquellas en forma tal que sean una reproducción en miniatura de cómo se afectan éstas en las máquinas.

Se han efectuado una serie de experiencias mediante las cuales se puede apreciar la influencia de este factor en la velocidad de tintura, llegándose a la conclusión que para los colores directos dicha velocidad se aumentaba cuando disminuía la relación entre fibra y baño tintóreo, favoreciéndose en este caso el agotamiento del baño tintóreo.

Todas estas variaciones de la velocidad de tintura por efectos puramente mecánicos, no puede decirse que tenga una explicación muy satisfactoria, ya que en ellos van tan ligadas la afinidad del colorante y la velocidad de difusión que se hace muy difícil el deslindar qué parte ocupa cada una en dicha variación. Parece ser que al aumentar la velocidad relativa de circulación, la superficie de la fibra toma un valor relativo mayor que si ella permaneciese fija y entonces como el proceso de adsorción de un colorante

es proporcional a las superficies puestas en contacto, luego a mayor abundamiento de superficie, la adsorción es más rápida ^(25,26).

2.4.7.1.7. LOS FACTORES MECÁNICOS: AGITACIÓN, CIRCULACIÓN, RELACIÓN DE BAÑO, DIÁMETROS MEDIOS

Entre los factores de tipo mecánico, hemos de examinar los relativos al movimiento entre la fibra y baño tintóreo, las relaciones entre el volumen del baño de tintura y el peso de la fibra, la influencia de los diámetros de los hilos, la estructura de las telas a tintar, etc. Como es natural, no podemos abarcar todos los problemas que de ellos se derivan prácticamente, puesto que son múltiples, pero al menos pretendemos incitar la curiosidad por una serie de hechos que la mayoría de las veces pasan desapercibidos, y que en determinados casos puede ser la solución de problemas existentes en los talleres de tintorería.

En primer lugar, estudiaremos el movimiento relativo entre la fibra y baño tintóreo en la velocidad de tintura de un sistema determinado. Se ha comprobado que la velocidad relativa de circulación entre baño y fibra tiene una trascendencia enorme para evaluar la velocidad de tintura de un sistema, en forma que si bien no se puede regular ello por una ley matemática, se puede dejar afirmado, que en cuanto mayor sea aquella, se necesitaran tiempos menores para llegar al citado de equilibrio del sistema.

2.4.7.2. EL PODER IGUALADOR DE UN COLORANTE

Se llama poder igualador a la propiedad que tienen los colorantes de producir tinturas uniformes sobre los textiles, de tal manera que las irregularidades de colorante existentes en el tejido antes de la tintada son corregidas en ella. Hay que tener en cuenta que esta propiedad es muy importante en el trabajo de tintura; que no se trata de una cuestión

accesoria, sino que la calidad de tintura depende de que esta cuestión se resuelva para todo el sustrato a tratar. La igualación no es algo instantáneo. Todas las fases de la tintura son decisivas para el buen resultado final.

La igualación se puede describir en tres fases:

- Desde el comienzo de la tintura hasta que todo el textil ha contactado con el colorante.
- Fase de calentamiento y subida del colorante a la fibra.
- Fase de migración del colorante que se desplaza a través del baño, desde las partes más teñidas a las menos teñidas.

En la primera y segunda fase pueden darse influencias incluso contra la igualación; es decir, las desigualdades de colorante pueden acentuarse. Hay que tener en cuenta si el colorante posee o no buenas propiedades migratorias; si son buenas, la igualación se conseguirá en la tercera fase; si no lo son, hay que actuar en la primera y la segunda, bien con la agitación de baño-fibra o bien bajando la temperatura o alargando (suavizando) la fase de calentamiento.

2.4.7.2.1. LA COMPATIBILIDAD DE LOS COLORANTES

Cuando se han de utilizar dos o más colorantes en una misma tintada, antes es preciso saber que todos son compatibles entre sí. Dos o más colorantes son compatibles entre sí cuando las velocidades absolutas de absorción son constantes o es constante la relación de colorante absorbido de cada uno, o bien si las propiedades de solidez son iguales para ambos. Durante el proceso de tintura, la forma de comprobar dicha compatibilidad es que interrumpido el proceso en cualquier momento, la fibra tintada muestre siempre el mismo tono ⁽⁰⁶⁾.

CAPÍTULO III

3.1 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN.

El tipo de investigación desarrollada en este trabajo es el denominado “INVESTIGACION DESCRIPTIVA” que comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la tintura en tiempo real, y la composición o procesos de los fenómenos de teñido. El enfoque se hace sobre objetivos específicos importantes, ya que este tipo de investigación se sustenta sobre realidades de experimentos en laboratorio y planta, y su característica fundamental es presentarnos un modelamiento del comportamiento de la tintura en la fibra textil.

El método desarrollado en este estudio es el método de investigación denominado método HIPOTETICO CIENTIFICO EXPERIMENTAL, ya que en el se plantea una hipótesis que se puede analizar deductiva o inductivamente, para nuestro caso un modelo cinético, para posteriormente comprobar experimentalmente sus resultados, es decir que se busca con los conceptos teóricos simular el comportamiento a partir de los datos experimentales.

En el método de la inducción científica encontramos aspectos importantes a tener en cuenta para realizar una investigación, como la cantidad de variables sujeta a estudio, que tanta información podemos extraer de estos elementos de estudio, las características comunes entre ellos, y si queremos

ser más específicos, entonces se debe tener en cuenta las causas y caracteres necesarios que se relacionan con las variables del proceso en estudio.

Este método de la deducción se basa en métodos sencillos, lógicos y secuenciales en el proceso de esta investigación. El método experimental científico se basó en los conocimientos que nos proporciona la experiencia en el laboratorio, tomando datos reales experimentales, además nos permite asegurar la confiabilidad de la investigación debido a que es información real del comportamiento del proceso de tintura. Además nos permite la modificación de variables en caso que fuera necesario, lo cual nos da vía libre para la corrección de errores así el mejoramiento de la investigación.

3.2 DISEÑO DE DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1 La investigación denominada “ESTUDIO CINETICO DEL AGOTAMIENTO DE COLORANTES REACTIVOS EN TRICOMIA EN FIBRAS DE ALGODÓN” será desarrollada de la siguiente manera:

3.2.1.1 PRIMERA ETAPA:

Se desarrollo un estudio detallado del comportamiento de los colorantes reactivos, ante las probables variables que afecten a la cinética de tintura del algodón, cabe resaltar que en esta etapa solo se desarrollara la investigación de los colorantes en forma individual, tratando de estudiar su comportamiento en forma particular ante factores que influyan en su tintura, el criterio de selección de las variables será tomada en base de las curvas de teñidos a nivel industrial.

3.2.1.2 SEGUNDA ETAPA:

Con la información obtenida de la etapa primera, se harán las respectivas mezclas en tricomía de los colorantes reactivos, para poder observar el comportamiento de los teñidos alcalinos tanto en la fase de agotamiento como en la fase final de fijación.

3.2.1.3 TERCERA ETAPA:

En esta etapa se evaluará y analizará los datos obtenidos en el proceso de tintura, a fin de obtener resultados concretos de las constantes de difusión y su comportamiento de la velocidad de teñido de los colorantes frente a una tricomía, posteriormente se obtendrán resultados, conclusiones y las recomendación al respecto, adjuntando datos de tablas, gráficos y listados de todas las variables tomadas en cuenta.

3.2.2. VARIABLES DE ESTUDIO

El término variable se utiliza para asignar cualquier característica de la realidad que pueda ser determinada por observación y que pueda mostrar diferentes valores de una unidad de observación a otra. Entonces se puede deducir que para los procesos de teñido, las variables más importantes son:

3.2.2.1. TEMPERATURA DE TEÑIDO:

Se hará un estudio de esta variable importante dentro de los rangos de tintura de los colorantes, podemos indicar que este rango oscila entre los 40°C a 80°C, debemos indicar que la temperatura influye directamente en la cinética de la tintura y nos permitirá calcular las variables de agotamiento tanto en colorantes puros como en tricomia, además de las constantes de difusión y de Arrhenius dentro del rango en cuestión.

3.2.2.2. CONCENTRACIÓN DE ELECTROLITO:

Ya que el proceso de tintura de colorantes en algodón son procesos migratorios por difusión, la cantidad de electrolitos en el baño de tintura son muy importantes, porque nos permitirán mayor o menor flujo de migración de los colorantes a la tela, el electrolito es sabido que actúa como fuerza motriz que impulsa al colorante hacia el interior de la fibra de algodón.

3.2.2.3. TIPOS DE COLORANTES:

Debido a la gran cantidad de colorantes que son utilizados para al teñido del algodón, este estudio se centra en analizar el comportamiento de colorantes que son mayormente usados por los tintoreros a nivel industrial, para nuestro caso se tomaron los colorantes reactivos del tipo vinilsulfónicos.

3.2.2.4. TIPO DE TELA:

El algodón puede ser tejido mediante una variedad muy grande de formas, en esta investigación solo se estudiara el tejido punto tipo jersey, esto debido al mayor uso que tiene este tela frente al tejido plano. Además se considera algodón al 100%.

3.2.2.5. PLAN DE TINTURAS:

Se escogerán las curvas de teñido más eficientes, recomendadas por los fabricantes o por las empresas textiles que han acumulado una gran cantidad de información de factores que puedan dar tinturas homogéneas y reproducibles, esto también involucra los tiempos de dosificación de colorantes y auxiliares, electrolitos y álcali, tomando en cuenta la temperatura del baño de tintura. Debemos indicar que para el proceso de tintura se necesitan equipos especiales de teñido, ya que se necesitan reproducir lo más cercanamente posible a los procesos en planta, para

simular estas tinturas las empresas privadas nos brindaron los equipos necesarios para las respectivas corridas de teñido en los estudios pertinentes para este trabajo.

3.2.2.6. RELACIÓN DE BAÑO:

Factor muy considerado por la industria, debido a que es factor principalmente de costos para reducir las concentraciones de auxiliares y cantidad de colorante en los baños de teñido debido a que la maquinaria textil actual está utilizando una relación de baño de 1:7, esta relación será tomada en cuenta como valor para los experimentos previos de evaluación de colorantes.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

Una investigación es científicamente válida al estar sustentada en información verificable que responda lo que se pretende demostrar con la hipótesis formulada, para nuestro caso es el modelo de la cinética de teñido. Para ello, es imprescindible realizar un proceso de recolección de datos en forma planificada y teniendo claro los objetivos sobre el nivel y profundidad de la información a recolectar.

La recolección de datos tiene una gran diversidad de técnicas y herramientas que pueden ser utilizadas por los investigadores para recolectar información experimental. La recolección de datos tiene que ver con el concepto de medición, proceso mediante el cual se obtiene el dato, valor o respuesta para la variable que se investiga. La medición, etimológicamente viene del verbo medir y significa comparar una cantidad con su respectiva unidad con el fin de averiguar cuantas veces la segunda está contenida en la primera.

El instrumento de recolección de datos está orientado a crear las condiciones para la medición. Los datos son conceptos que expresan una abstracción del mundo real, de lo sensorial, susceptible de ser percibido por los sentidos de manera directa o indirecta, el color para nuestro caso es la variable más importante. La medición implica necesariamente su cuantificación.

3.4. PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos es imprescindible, ya que este instrumento nos permite tener la información de las variables y sus relaciones, para el cual es necesario el desarrollo de la matriz de datos, esta matriz nos permite sistematizar la información recogida de la realidad para investigar y analizar un problema y tratar de obtener conocimiento científico que intente explicar dicho problema a través del método de investigación científica, de allí la importancia del correcto llenado de la matriz de datos, el que se logra mediante las técnicas apropiadas.

La técnica de recolección de datos se refiere al proceso de obtención de información que permita la medición de las variables en las unidades de análisis, al fin de obtener los datos necesarios para el estudio de la cinética del teñido con los equipos respectivos, la técnica de recolección de datos con lleva a un trabajo de campo, para el cual será desarrollado en un laboratorio acondicionado en la que la variable Absorbancia será medida por un espectrofotómetro bajo condiciones controladas de variaciones de intervalo de la longitud de onda, considerando también el pH, la temperatura, la concentración del colorante en el baño, etc.

3.5. TÉCNICA DE PROCESAMIENTO DE DATOS

Los resultados de las medidas se expresan numéricamente, asociando valores concretos o graficas de las magnitudes medidas directamente o indirectamente haciendo uso de un modelo cinético o uno matemático, así se le asigna un determinado valor a una magnitud mediante un proceso de medición, hemos de contar con el hecho de que siempre va ir acompañado de cierta imprecisión para el cual se vio conveniente realizar tres corridas en todos los experimentos (repetir tres veces cada experimento). Dado que todas las leyes experimentales surgen de la sistematización de los resultados de medición de laboratorio, es totalmente imprescindible tener en cuenta las limitaciones en la exactitud y precisión de dichos resultados para tener una idea clara de su validez, para el cual se realizo la correlación de datos por métodos estadísticos para ajustar los datos experimentales según tendencias.

CAPÍTULO IV

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Este trabajo de investigación se ha realizado en la Universidad Nacional de Ingeniería, laboratorio de química de la facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas y en los laboratorios de tintorería de una empresa privada.

4.1. DATOS DE LA MUESTRA:

TIPO DE TELA	: Jersey 30/1
PRETRATAMIENTO	: Blanqueo Con Peróxido
COMPOSICION	: 100 % Algodón
PESO DE LA MUESTRA	: 4.75 Gr.
RELACIÓN DE BAÑO	: 1:7
TIPO DE AGUA	: Agua Blanda

COLORANTES A SER ESTUDIADOS:

Colorantes reactivos en Tricromía puros.

Colorantes reactivos en Tricromía, con problemas en el teñido textil.

4.2. RELACION DE PRUEBAS EN LOS LABORATORIOS DE QUIMICA FIIS-UNI

FASE EXPERIMENTAL

Esta primera fase se realizara en los laboratorios de Química de la facultad de Ingeniería Industrial de Sistemas de la Universidad Nacional de Ingeniería. El objetivo es realizar las pruebas previas de calibración, análisis y información previa experimental con el fin de poder validar los procedimientos que se usaran cuando se tengan que desarrollar en medios donde la fibra este presente con una curva de teñido real.

RELACION DE MATERIALES:

AUXILIARES:

TAMAÑO DE MUESTRA PARA LOS EXPERIMENTOS: 20ml por cada producto.

FUENTE: Los materiales serán proporcionados por una empresa textil.

LISTADO DE PRODUCTOS:

- ✓ Sequion M250
- ✓ Makidye EDR
- ✓ Controller RD
- ✓ Sal textil
- ✓ Alcalígeno RX
- ✓ Soda cáustica
- ✓ Acido acético
- ✓ Agua blanda

Los colorantes reactivos que se usarán son:

- Amarillo Synozol HF2GR
- Rojo Synozol HF6BN
- Negro Everzol GSP

RELACION DE PRUEBAS

4.2.1. Relación entre la Absorbancia y la longitud de onda

Se preparó las muestras con concentraciones iniciales (ver tabla 4.2.1):

Se usó agua desionizada para la disolución en:

- Amarillo Synozol HF2GR = 0.01 g/cc
- Rojo Synozol HF6BN = 0.01 g/cc
- Negro Everzol GSP = 0.06 g/cc

Gráfica de calibración del colorante:

Tabla 4.2.1 Dilución del Amarillo Synozol HF2GR y Rojo Synozol HF6BN

Concentración (g/cc)	Absorbancia (A)
0.01	
0.005	
0.0025	
0.00125	
0.000625	

- Se Disolvió el colorante en la concentración inicial
- La siguientes concentraciones se harán agregando una misma cantidad de volumen de agua desionizada, así la concentración se

reducirá a la mitad. Para los colorantes Amarillo Synozol HF2GR y Rojo Synozol HF6BN se utilizo la tabla 4.2.1 y para el Negro Everzol GSP la tabla 4.2.2.

- Medir la Absorbancia en todos los casos.

Tabla 4.2.2 Dilución del Negro Everzol GSP

Concentración (g/cc)	Absorbancia (A)
0.06	
0.03	
0.015	
0.0075	
0.00375	

La gráfica de la longitud de onda máximo:

- Se preparó las muestras de colorantes a las concentraciones iniciales.
- Se varía los λ en todo el rango visible (Tabla 4.2.3).
- Se mide la absorbancia.

Tabla 4.2.3 Relación de la longitud de onda vs absorbancia.

λ (nm)	Absorbancia	Concentración
325		
.....		
1000		

La gráfica esperada de estos tipos de colorantes se muestran en la Figura 4.2.1, los valores teóricos del Amarillo Synozol HF2GR es $\lambda=420.8\text{nm}$, del Rojo Synozol HF6BN $\lambda=540.9\text{nm}$ y del Negro Everzol GSP es $\lambda=600.4\text{nm}$ ⁽³⁸⁾.

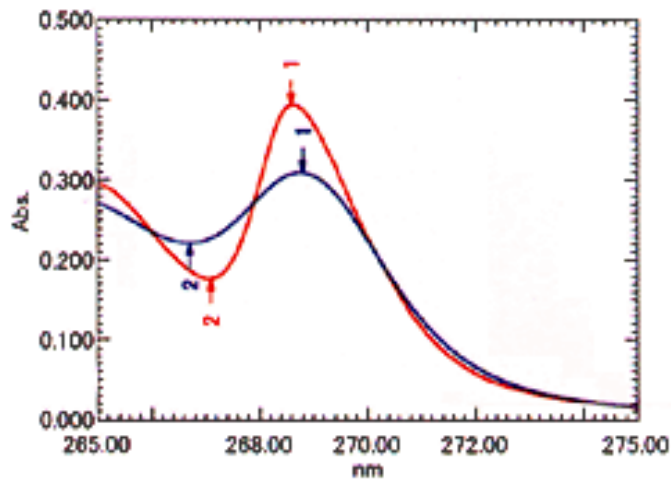


Figura 4.2.1 Curva espectral característica de los colorantes reactivos ⁽³⁸⁾.

4.2.2. Relaciones de estabilidad con la temperatura

- Se Preparó las muestras de colorantes a las concentraciones iniciales.
- Se Varió la temperatura a una velocidad de aproximadamente 1 a 2 °C/minuto (Tabla 4.2.4).
- Mantener a 60°C por media hora aproximadamente.

Tabla 4.2.4 Relación de temperatura vs absorbancia

temperatura (°C)	tiempo(minutos)	Absorbancia (A)
28°C (inicio)	0 minutos
...
60°C (T máxima)	30 minutos
....
60°C (T máxima)	60 minutos	...

4.2.3. Relaciones de estabilidad del colorante

4.2.3.1. Estabilidad a la dureza del agua

- Se preparó las muestras de colorantes a las concentraciones iniciales

- Las disoluciones se hicieron con agua dura.
- Elevar la temperatura a 60°C, ya que las tinturas se desarrollaron a este valor.
- Medir los valores de la absorbancia a distintos valores de tiempo (Tabla 4.2.5).

Tabla 4.2.5 Relación de absorbancia vs tiempo a T=cte.

tiempo (minutos)	absorbancia (A)
0 minutos
....
30 minutos

4.2.3.2. Estabilidad a los iones metálicos

- Se Preparó las muestras de colorantes a las concentraciones iniciales.
- Las disoluciones se hicieron con agua banda.
- Elevar la temperatura a 60°C.
- Se Agregó 0.04 mg/L de ion ferroso.
- Medir la absorbancia con la variación del tiempo (Tabla 4.2.6).

Tabla 4.2.6 Relación de absorbancia vs tiempo con iones metálicos.

tiempo (minutos)	absorbancia (A)
0 minutos
....
30 minutos

4.2.3.3. Relaciones de estabilidad a los auxiliares

Se preparó las muestras con todos los auxiliares y electrolitos que se usan en un teñido convencional.

Graficar Absorbancia (A) vs. Concentración (C)

Se busca ver el grado de influencia del color con la adición de estos agentes externos. (Evaluación de no variación del pH en el teñido).

4.2.4. Relaciones de estabilidad con el pH

Se preparó las muestras de colorantes y se agrego el alcalígeno y el álcalis según dosificación de curva de teñido.

Graficar Absorbancia (A) vs. Concentración (C)

Medir el PH

Se busca ver el grado de influencia del color con la adición de los álcalis.

4.3. RELACION DE PRUEBAS EN LOS LABORATORIOS DE “PERU FASHION”

La segunda fase de pruebas experimentales se realizará en los laboratorios de Tintorería de empresas textiles.

4.3.1. DESARROLLO DE LAS PRUEBAS

Se realizaron las pruebas reales de tricromías en los laboratorios de la empresa “PERU FASHION” para poder elaborar con los datos obtenidos las curvas de agotamiento y fijación de los colorantes seleccionados.

RELACION DE PRUEBAS:

1.- Pruebas de agotamiento y fijación de colorantes puros:

	Colorante	Temperatura (°C)	Electrolito (g/L)
1	Amarillo Synozol HF2GR	60°C	50
2	Amarillo Synozol HF2GR	60°C	100
3	Amarillo Synozol HF2GR	60°C	150
4	Amarillo Synozol HF2GR	40°C	100
5	Amarillo Synozol HF2GR	80°C	100
6	Rojo Synozol HF6BN	60°C	50
7	Rojo Synozol HF6BN	60°C	100
8	Rojo Synozol HF6BN	60°C	150
9	Rojo Synozol HF6BN	40°C	100
10	Rojo Synozol HF6BN	80°C	100
11	Negro Everzol GSP	60°C	50
12	Negro Everzol GSP	60°C	100
13	Negro Everzol GSP	60°C	150
14	Negro Everzol GSP	40°C	100
15	Negro Everzol GSP	80°C	100

2.- Pruebas de agotamiento y fijación de colorantes en tricomía:

	Colorante	Temperatura (°C)	Electrolito (g/L)
16	TRICOMIA (1)	60°C	50
17	TRICOMIA (1)	60°C	100
18	TRICOMIA (1)	60°C	150
19	TRICOMIA (1)	40°C	100
20	TRICOMIA (2)	40°C	100
21	DICOMIA	40°C	100
22	TRICOMIA (1)	80°C	100
23	TRICOMIA (2)	80°C	100
24	DICOMIA	80°C	100

(1) y (2) diferentes concentraciones, ver relación de pruebas.

4.3.2. PROCEDIMIENTO DE REALIZACION DE PRUEBAS

Se prepararon las muestras tanto puros como en tricromía de colorantes según receta (ver relación anterior), y desarrollar toda la curva de teñido planteada (con la adición de los auxiliares, electrolitos, álcalis y temperatura).

Las graficas esperadas en estos experimentos se muestran en las figuras 4.3.1, 4.3.2 y 4.3.3 ⁽³⁸⁾.

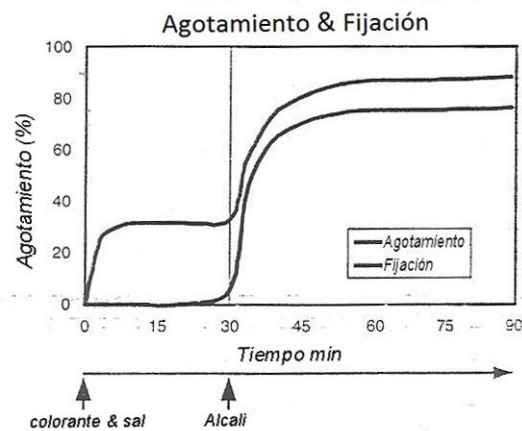


Figura 4.3.1 Agotamiento y fijación vs tiempo para el Negro Everzol GSP.

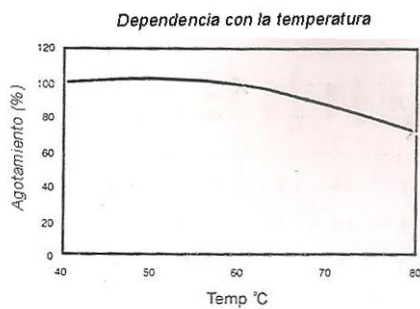


Figura 4.3.2 Temperatura vs tiempo.
Negro Everzol GSP.

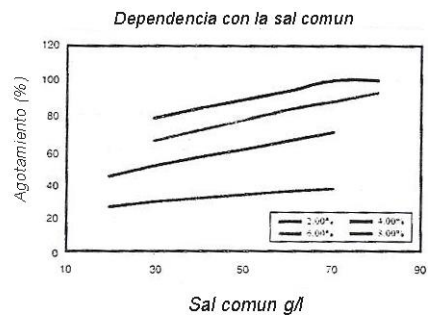


Figura 4.3.3 Conc. Sal común vs tiempo
Negro Everzol GSP.

4.3.2.1. Plan de toma de datos:

Se desarrollo el siguiente plan de toma de datos:

- ❖ Agotamiento y fijación de los colorantes puros (Tabla 4.3.1)
- ❖ Agotamiento y fijación de tricomías (1) de colorantes (Tabla 4.3.2)
- ❖ Agotamiento y fijación de tricomías (2) de colorantes (Tabla 4.3.3)

- ❖ Agotamiento y fijación de (3) Dicomía de colorantes (Tabla 4.3.4)
- ❖ Variaciones de concentración de electrolitos: 50g/L, 100g/L y 150g/L.
- ❖ Variaciones de temperatura: 40°C, 60°C, 80°C.

Tabla 4.3.1 Relación de concentraciones de los colorantes puros.

	Colorantes	Concentración (%)
1	Amarillo Synozol HF2GR	1.5%
2	Rojo Synozol HF6BN	1.0%
3	Negro Everzol GSP	6.0%

Tabla 4.3.2 Relación de concentraciones de colorantes en tricomía.

	Colorantes	Concentración (%)
1	Amarillo Synozol HF2GR	1.5%
2	Rojo Synozol HF6BN	1.0%
3	Negro Everzol GSP	6.0%

Tabla 4.3.3 Relación de concentración de colorantes en tricomía.

	Colorantes	Concentración (%)
1	Amarillo Synozol HF2GR	3.0%
2	Rojo Synozol HF6BN	2.0%
3	Negro Everzol GSP	6.0%

Tabla 4.3.4 Relación de concentración de colorantes en dicomía

	Colorantes	Concentración (%)
1	Amarillo Synozol HF2GR	3.0%
2	Rojo Synozol HF6BN	2.0%

4.3.2.2. Preparación de las muestras en las probetas:

Se Pesó muestras de 4.75 gr de tela de algodón, tipo jersey 30/1 preblanqueada con peróxido.

Se Considero una relación de baño de 1/7

Se agrego 33.25 cc de agua blanda (proporcionada por la empresa textil)

4.3.2.3. Descripción de equipo de teñido:

Se usó un equipo de teñido tipo Infrared Rays Dyeing M/C – modelo KSL24-PERFECT, con un peso de 200kg y unas dimensiones de 750*700*530, conformado de acero inoxidable 304, RT~150°C, con una carga de 24 probetas de 500cc cada una, con un controlador digital PID touch screen, sensor de temperatura PT-100, con una exactitud de +/- 0,3°C, sistema de calentamiento tipo rayos infrarrojos con 3°C/min, con un sistema de enfriamiento de aire circulado con 5°C/min, motor de circulación de 0,1kw, fuente de alimentación 220v 50/60hz de 4,8kw (ver Figura 4.4.2).

4.3.2.4. Receta de teñido:

En todos los casos de utilizó los mismos reactivos químicos para todas las pruebas, a las mismas concentraciones según la receta de teñido (tabla 4.3.5), Los tipos de auxiliares textiles a usar fueron:

Tabla 4.3.5 Relación de productos químicos auxiliares.

Auxiliares	Función	Concentración
Sequion M250	Secuestrante	0.5g/L
Makidye EDR	Igualante	0.5g/L
Controller RD-BF	Controlador de PH	0.05g/L

El Tipo de electrolito a usar se observa en la Tabla 4.3.6.

Tabla 4.3.6 Relación de electrolitos.

Auxiliares	Función	Concentración
sal textil	Electrolito	100g/L

Los tipos de colores a teñir en tricomía se muestran en la Tabla 4.3.7.

Tabla 4.3.7 Relación de colorantes reactivos.

Colores Puros

	Colorantes	Concentración (%)
1	Amarillo Synozol HF2GR	1.5%
2	Rojo Synozol HF6BN	1.0%
3	Negro Everzol GSP	6.0%

Tricomía Color (1)

	Colorantes	Concentración (%)
1	Amarillo Synozol HF2GR	1.5%
2	Rojo Synozol HF6BN	1.0%
3	Negro Everzol GSP	6.0%

Tricomía Color (2)

	Colorantes	Concentración (%)
1	Amarillo Synozol HF2GR	3.0%
2	Rojo Synozol HF6BN	2.0%
3	Negro Everzol GSP	6.0%

Dicomía Color

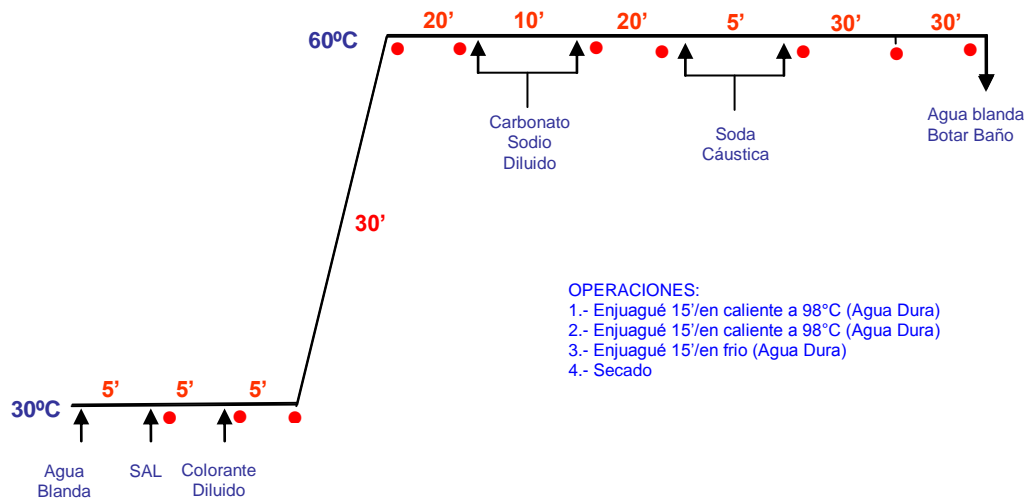
	Colorantes	Concentración (%)
1	Amarillo Synozol HF2GR	3.0%
2	Rojo Synozol HF6BN	2.0%

Tipos de alcalígenos:

Alcalino	Función	Concentración
Alcaligeno RX	Subir pH	5 g/L
Soda Caustica	Subir pH	1.5 g/L

4.4. CURVA DE TEÑIDO PARA COLORANTES REACTIVOS

Para las pruebas de toma de datos se utilizó la curva de teñido de la figura 4.4.1, primero se desarrollo la adición de reactivos, electrolito y colorantes a 30°C, procediendo elevar la temperatura a 60°C en media hora (30'), después se adiciono los alcalígeno dosificado a 60°C, para que fije el colorante a la fibra, y terminar el proceso de tintura, luego se rebose el baño, procediendo a los procesos finales de lavado con agua caliente y fría respectivamente. Cabe indicar que se tomaron 10 muestras por curva según la tabla 4.4.1 en los tiempos pre-establecidos.



Nota: ● Toma de muestras (10 muestras por curva)

Figura 4.4.1 Curva de teñido - colorantes reactivos

Tabla 4.4.1. Control de muestras y tiempos

Muestras	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Tiempo(min)	5	10	15	45	65	75	95	100	130	160
Absorbancia	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
PH	pH1	pH2	pH3	pH4	pH5	pH6	pH7	pH8	pH9	pH10

Programa de toma de muestras:

Curva de agotamiento:

- Se tomó las muestras según las marcas en la curva de teñido
- Agregar las alícuotas en las cubetas de muestra del espectrofotómetro
- Se calibro en las $\lambda_{\text{máximas}}$ para cada colorante.
- Se midió la absorbancia en el λ_{max} para cada colorante.
- Adicionalmente se midió el PH de cada muestra con un pH-metro
- En los casos que las absorbancias superen los valores máximos de medida del equipo, se procedió a diluir la concentración a la mitad ($A_{\text{max}}=3.010$)

Curva de fijación:

- Se extrajo las muestras de tela de la probeta, teniendo cuidado de no perder liquido del baño.
- Se Lavó las muestras de tela de algodón en un recipiente de un volumen de 1 litro.
- Agregar las alícuotas en las cubetas de muestra del espectrofotómetro
- Calibrar en las $\lambda_{\text{máximas}}$ para cada colorante.
- Medir la absorbancia en el λ_{max} para cada colorante, denominándolo A(1).
- Se procedió a lavar dos veces en un litro de agua a una temperatura de 98°C, asignándole como A(2) y A(3).
- Se lavo una tercera vez en un litro de agua fría, procediendo a medir su absorbancia A(4).
- El valor final de la absorbancia de fijación del baño es la suma de A(1), A(2), A(3) y A(4).

Figura 4.4.2 Instalaciones de Laboratorio Textil de “PERU FASHION”



CAPÍTULO V

5. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Se muestran en forma gráfica los resultados experimentales obtenidos sobre la muestra de tela de algodón a diferentes condiciones que a continuación se indican:

5.1 ESTUDIOS PRELIMINARES DE CARACTERIZACIÓN DE LOS COLORANTES REACTIVOS:

Para la caracterización de los colorantes (ver Tabla 5.1.1) se tomo en cuenta la reactividad del colorante que indica la capacidad de reaccionar este con la fibra, y están clasificados como colorantes de alta reactividad (I), colorantes de poca reactividad (II) y colorantes de poca reactividad (III). Otra factor fue la sustentividad del colorante en la fibra, esta mide la facilidad que tiene este para ingresar a la fibra, gran sustentividad (A), mediana sustentividad (B) y poca sustentividad (C), La solubilidad ha sido medida en medio acuoso, con agua desionizada a 50°C.

Tabla 5.1.1 Resumen de características más importantes de los colorantes estudiados.

Tipo de colorante	Reactividad	Sustantividad	Solubilidad 50°C	Solubilidad 50°C+150g/L sal
Negro-Everzol GSP	II	C	150	150
Rojo-Synozol HF6BN	II	B	50	50
Amarillo-Synozol HF2GR	II	C	100	100

La toma de datos fueron realizados en todos los casos 3 veces, para así eliminar posibles errores de medida o calibración del equipo.

Se uso un espectrofotómetro de marca UNICO de serie 2100, con un rango de 325 a 1000nm, una banda espectral de 5nm, con un exactitud de <2nm y repetitividad de <1nm.

Para autentificar los datos obtenidos del se hizo las calibraciones correspondientes, este espectrofotómetro UNICO 2100 se inicia con una auto calibración que empieza cuando este equipo se enciende, en el transcurso de la toma de datos cada cierto número de valores obtenidos se inicia una verificación de la precisión de la absorbancia a la especificación $\pm 0.5\%$ a 1 A, $\pm 1.0\%$ a 2 A. usando bicromato de potasio para eliminar errores de temperatura, ancho de banda, de dilución. También tiene la opción de verificación de la interferencia de la luz, a una λ de 340 nm siguiendo los procedimientos del manual de operación.

Las normas a cumplir en el laboratorio fueron que antes de realizar un experimento, debe leerse detenidamente los procedimientos de las pruebas a desarrollar (listadas en el capítulo IV) en ella se describe paso a paso cada experimento, se tuvo mucho cuidado en la preparación de las probetas ya que se necesitan de mucha concentración y exactitud, para el cual se utilizo equipos y instrumentación adecuados, Los resultados fueron siempre anotados cuidadosamente apenas se conozcan en cuadros y tablas ya preparadas, El orden y la limpieza deben presidir todas las experiencias de laboratorio. En consecuencia, al terminar cada práctica se procederá a limpiar cuidadosamente el material que se ha utilizado.

5.2 CARACTERIZACIÓN DE AUXILIARES Y ALCALIGENOS.

En primer lugar de determino que tanto influenciaba los auxiliares y alcalígenos en el color de la tintura, con su posible alteración en el tiempo de tintura de aproximadamente 150 minutos. Aunque la tendencia no de su alteración debería ser mínima. Esto esta mostrado en las figuras 5.2.1, 5.2.2 y 5.2.3.



relación de baño = 1:10

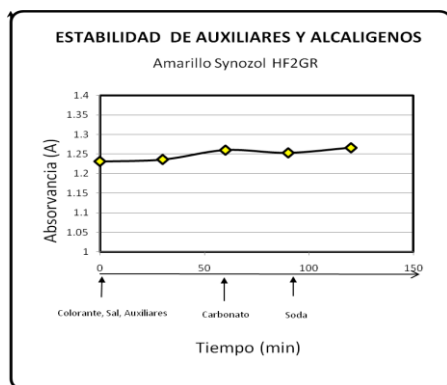
concentración de colorante=0.6g/L

Tipo de agua = agua blanda

peso del colorante = 0.12 g.

volumen de la muestra = 200 ml

Figura 5.2.1 Variación de la absorbancia frente a los auxiliares y alcaligenos para el Negro Everzol GSP.



relación de baño = 1:10

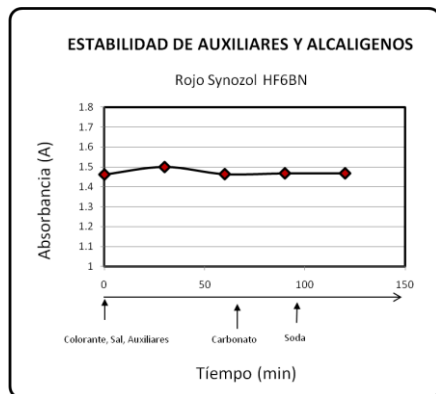
concentración de colorante=0.1g/L

Tipo de agua = agua blanda

peso del colorante = 0.02 g.

volumen de la muestra = 200 ml

Figura 5.2.2 Variación de la absorbancia a los auxiliares y alcaligenos para el Amarillo Synozol HF2GR.



relación de baño = 1:10

concentración de colorante=0.1g/L

Tipo de agua = agua blanda

peso del colorante = 0.02 g.

volumen de la muestra = 200 ml

Figura 5.2.3 Variación de la absorbancia a los auxiliares y alcaligenos para el Rojo Synozol HF6BN.

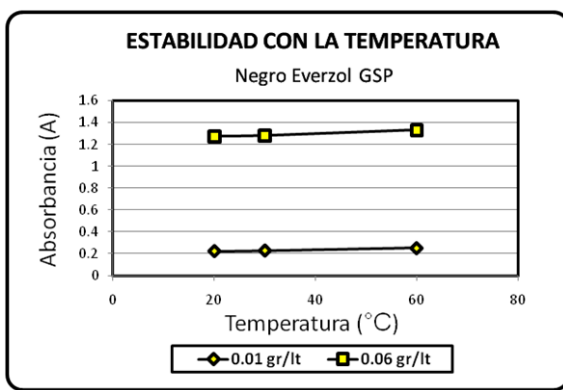
5.3 CARACTERIZACIONES DE COLORANTES ANTE VARIACIONES DE VARIABLES DE TEÑIDO:

Se realizaron pruebas de caracterización individual de cada colorante, cabe aclarar que son solo pruebas del baño de tinte, donde no

involucra todavía la adición de la muestra de tela de algodón, la finalidad es observar el comportamiento en forma aislada de cada colorante ante una variación de las posibles variables más importantes de un proceso de tintura.

Relaciones de estabilidad con la temperatura.

Relación de figuras donde muestra las variaciones del color (absorbancia) con variaciones de temperatura de 20°C, 30°C y 60°C. Ver figuras 5.3.1, 5.3.2 y 5.3.3.

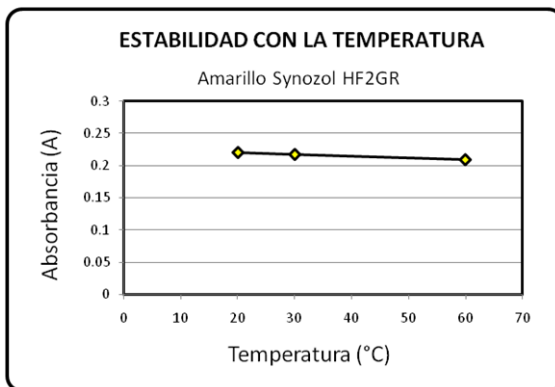


relación de baño = 1:10

concentración de colorante = 0.06g/L y 0.01g/L

Tipo de agua = agua blanda

Figura 5.3.1 Variación de la absorbancia con la temperatura para el Negro Everzol GSP.

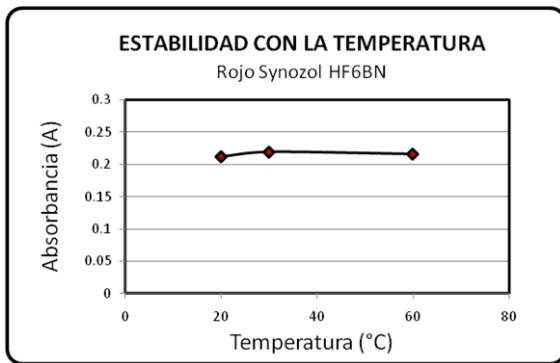


relación de baño = 1:10

concentración de colorante=0.01g/L

Tipo de agua = agua blanda

Figura 5.3.2 Variación de la absorbancia con la temperatura para el Amarillo Synozol HF2GR.



relación de baño = 1:10

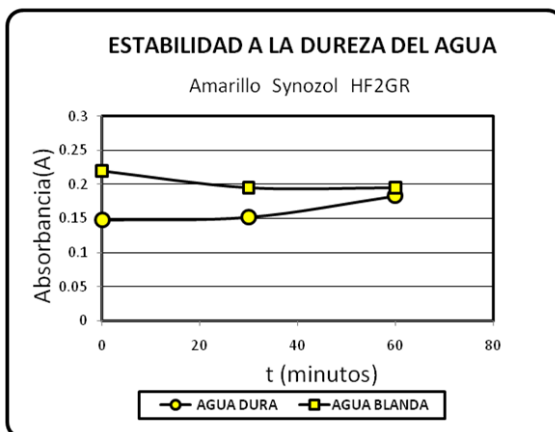
concentración de colorante=0.01g/L

Tipo de agua = agua blanda

Figura 5.3.3 Variación de la absorbancia con la temperatura para el Rojo Synozol HF6BN.

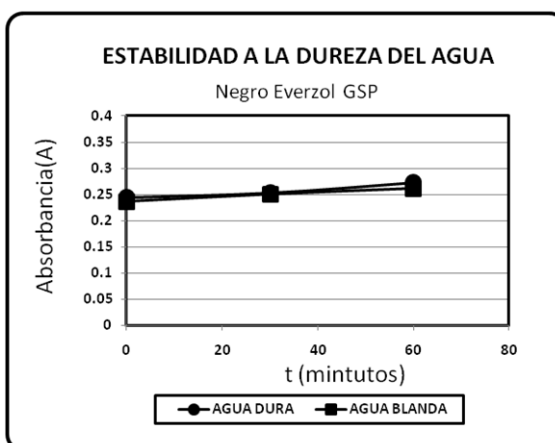
Relaciones de estabilidad a la dureza del agua

Estas son pruebas para ver el grado de influencia que tiene la absorbancia frente a las sales, para el cual se comparo al agua blanda (pocas sales) frente al agua dura (muchas sales). Es de esperar un grado mínimo de variación debido a la estabilidad de los colorantes frente a estos agentes iónicos.



Concentración de colorante=0.01g/L

Figura 5.3.4 Variación de la absorbancia con sales solubles para el Amarillo Synozol HF2GR.

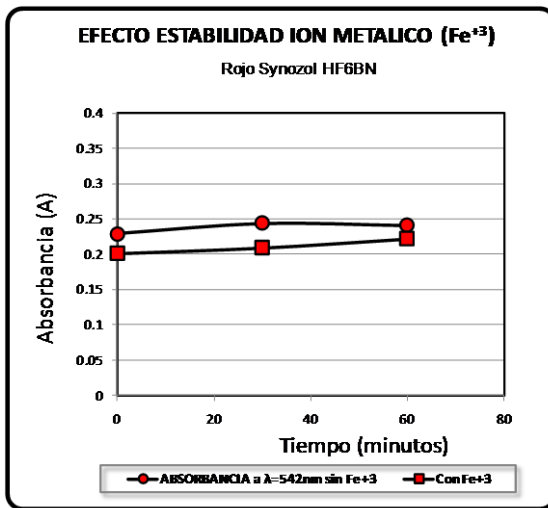


Concentración de colorante=0.01g/L

Figura 5.3.5 Variación de la absorbancia con sales solubles para el Negro Everzol GSP.

Relaciones de estabilidad a los iones metálicos

También se desarrollaron pruebas de estabilidad del color de los colorantes frente a agentes externos tales como se muestran en las Figuras 5.3.6, 5.3.7 y 5.3.8, Estos iones metálicos pueden ser producto de la corrosión de tuberías de abastecimiento de agua a la maquinaria textil. El ion más común en estos casos es el ion fierro.

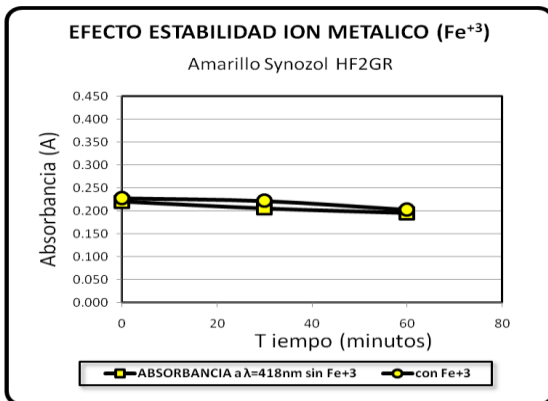


concentración de Fe+3 = 0.01g/L = 10mg/L

concentración de colorante=0.01g/L

Tipo de agua = desionizada

Figura 5.3.6 Variación de la absorción con iones metálicos Fe⁺³ para el Rojo Synozol HF6BN.

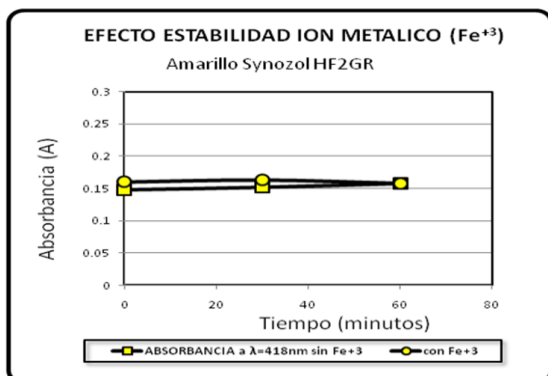


concentración de Fe+3 = 0.01g/L = 10mg/L = 10ppm

concentración de colorante=0.01g/L

Tipo de agua = desionizada

Figura 5.3.7 Variación de la absorción con iones Fe⁺³ a 10ppm para el Amarillo Synozol HF2GR.



concentración de Fe+3 = 0.001g/L = 1mg/L = 1ppm

concentración de colorante=0.01g/L

Tipo de agua = agua dura

Figura 5.3.8 Variación de la absorción con iones Fe⁺³ a 1ppm para el Amarillo Synozol HF2GR.

Relaciones de estabilidad con el pH.

En las Figuras 5.3.9, 5.3.10 y 5.3.11 se muestra las variaciones del pH del los colorantes frente al tiempo, además de incluir variaciones de temperatura a 40°C, 60°C y 80°C, es de esperar poca variación a excepción de tiempos prolongados debido a su hidrolización con el agua del baño.

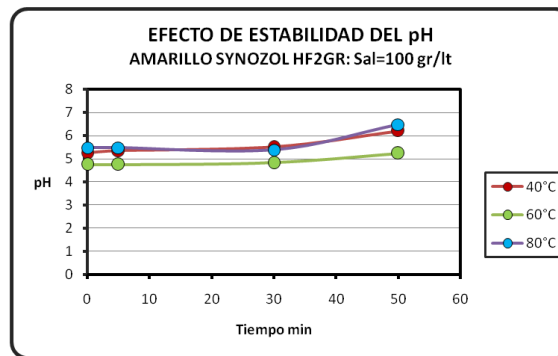


Figura 5.3.7 Variación de la absorbancia frente al pH para el Amarillo Synozol HF2GR a diferentes temperaturas en procesos de teñido común.

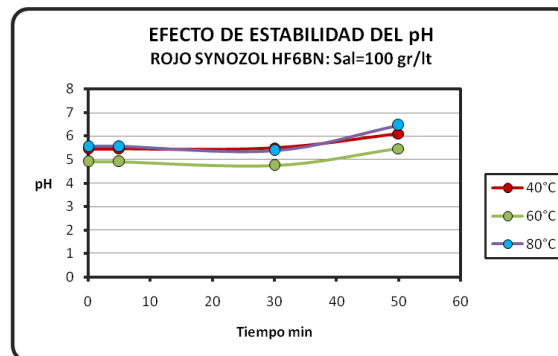


Figura 5.3.7 Variación de la absorbancia frente al pH para el Rojo Synozol HF6BN a diferentes temperaturas en procesos de teñido común.

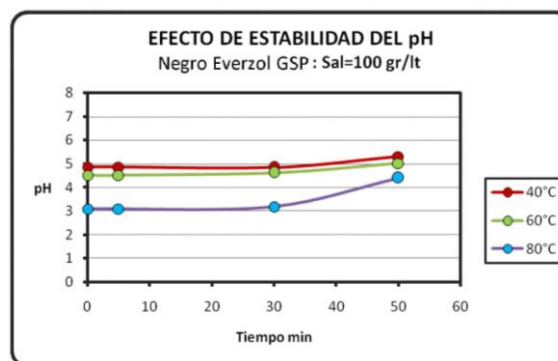


Figura 5.3.7 Variación de la absorbancia frente al pH para el Negro Everzol GSP a diferentes temperaturas en procesos de teñido común.

5.4 CARACTERIZACIONES DE COLORANTES PARA SU IDENTIFICACIÓN Y PROYECCIÓN:

Para poder estudiar el comportamiento de los colorantes reactivos para algodón, tales como el negro Everzol GSP, rojo Synozol HF6BN y amarillo Synozol HF2GR, se realizarán las pruebas correspondientes de identificación y comportamiento en forma individual, siguiendo el patrón ya descrito en el capítulo anterior (ver graficas 5.4.1, 5.4.2, 5.4.3, 5.4.4 y 5.4.5). La tendencia esperada es que se pueda caracterizar solo con un pico único o el más pronunciado para su identificación cuando estén mezclados ya sea en dicomía o tricomía.

Relación entre la Absorbancia y la longitud de onda

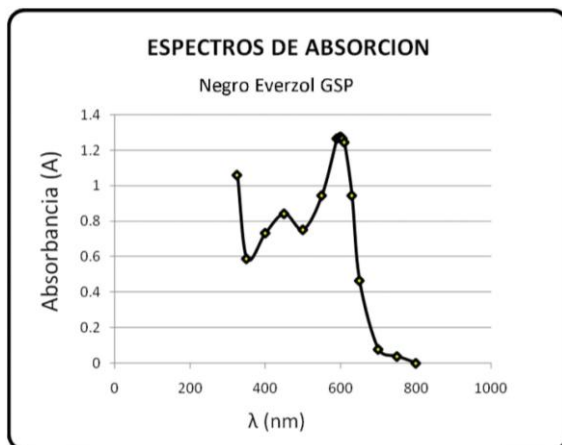


Figura 5.4.1 Espectro de absorción para el Negro Everzol GSP para el rango visible (320nm – 1000nm).

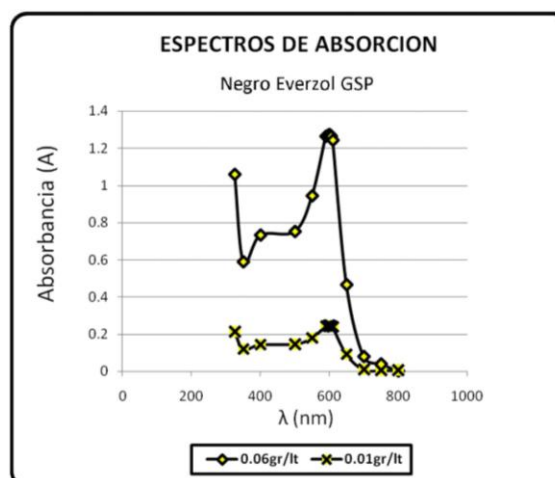
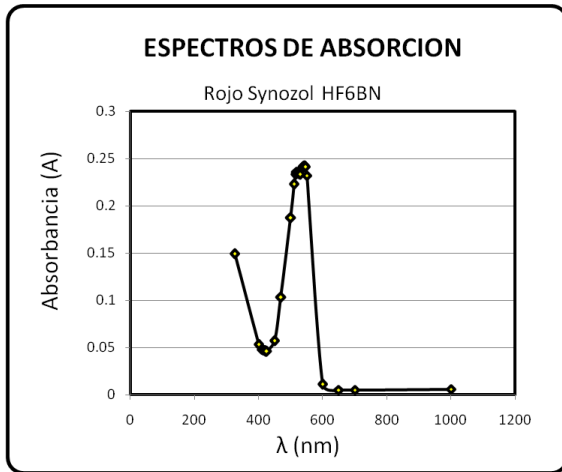
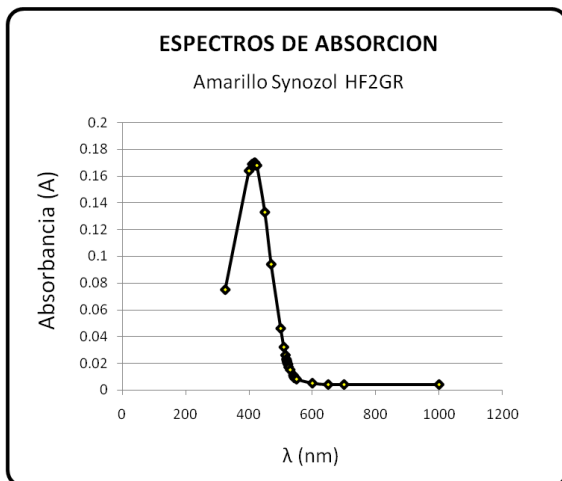


Figura 5.4.2 Espectro de absorción para el Negro Everzol GSP para el rango visible (320nm – 1000nm) a una concentración de 0.06g/L y 0.01g/L.



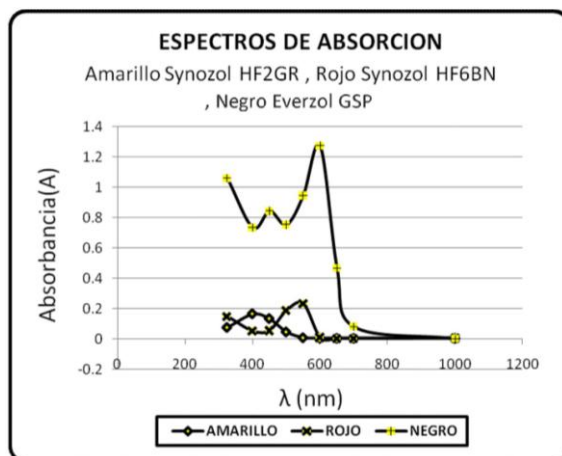
Concentración de colorante = 0.01g/L

Figura 5.4.3 Espectro de absorción para el Rojo Synzol HF6BN para el rango visible (320nm – 1000nm).



concentración de colorante = 0.01g/L

Figura 5.4.4 Espectro de absorción para el Negro Everzol GSP para el rango visible (320nm – 1000nm).



Amarillo Synzol HF2GR, concentración de colorante = 0.01g/L

Rojo Synzol HF6BN, concentración de colorante = 0.01g/L

Negro Everzol GSP, concentración de colorante = 0.06gr/L

Figura 5.4.5 Espectro de absorción para el Negro Everzol GSP, Amarillo Synzol HF2GR y el rojo Synzol HF6BN para el rango visible (320nm – 1000nm).

Grafica de calibración del colorante

En los gráficos 5.4.6, 5.4.7 y 5.4.8 se obtienen las curvas de linealidad entre la absorbancia del colorante y su concentración, estas curvas son muy importantes ya que están garantizando la proporcionalidad de la concentración del colorante en el baño frente a su color.

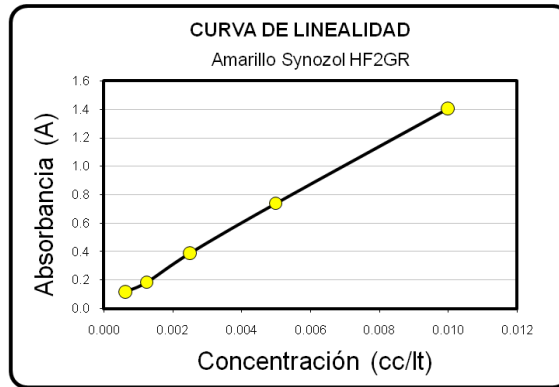


Figura 5.4.6 Curva de linealidad de la absorbancia vs la concentración en el Amarillo Synozol HF2GR.

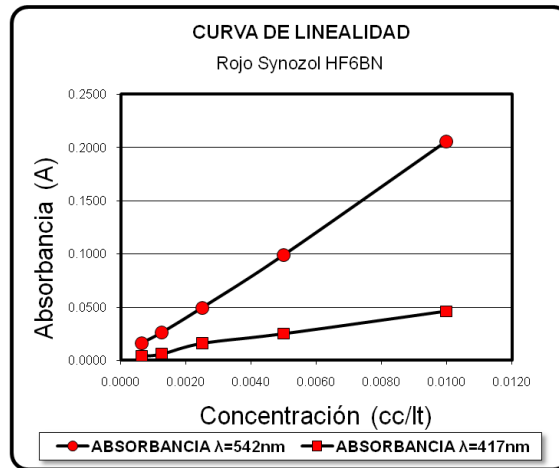


Figura 5.4.7 Curva de linealidad de la absorbancia vs la concentración en el Rojo Synozol HF6BN.

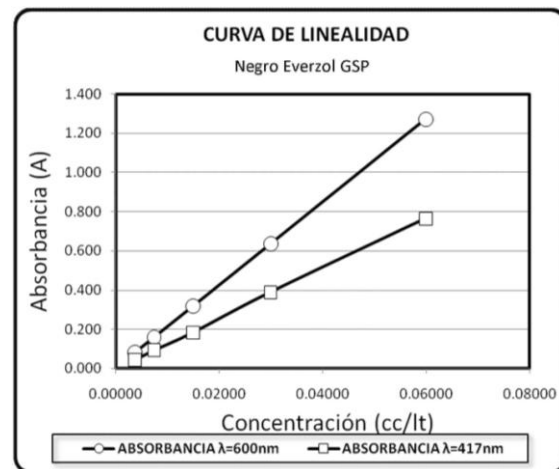
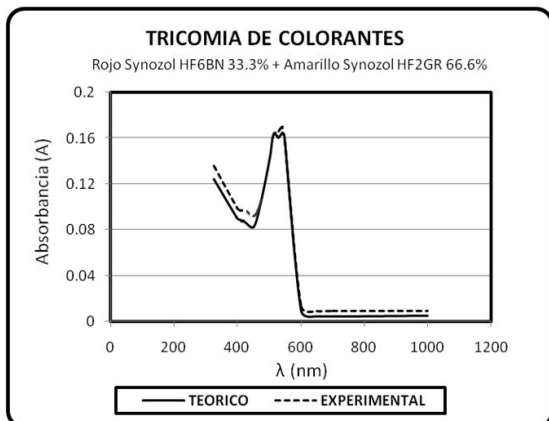


Figura 5.4.6 Curva de linealidad de la absorbancia vs la concentración en el Negro Everzol GSP.

5.5 CARACTERIZACIÓN DE COLORANTES EN TRICROMÍA:

Una vez identificado sus características de los colorantes reactivos negro Everzol GSP, rojo Synozol HF6BN y amarillo Synozol HF2G.



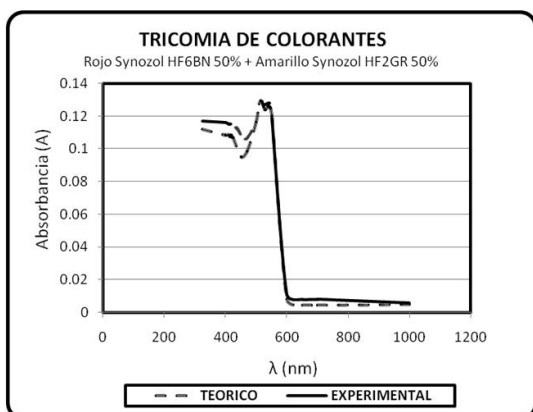
Mezcla amarillo Synozol HF2GR y rojo Synozol HF6BN

concentración de colorante rojo = 0.01g/L

concentración de colorante amarillo = 0.02g/L

33.3%rojo + 66.6% amarillo

Figura 5.5.1 Curva de caracterización de la tricomía Amarillo Synozol HF2GR al 0,02g/L (66.60%) y el rojo Synozol HF6BN al 0.01g/L (33.3%) para el rango visible (320nm – 1000nm).



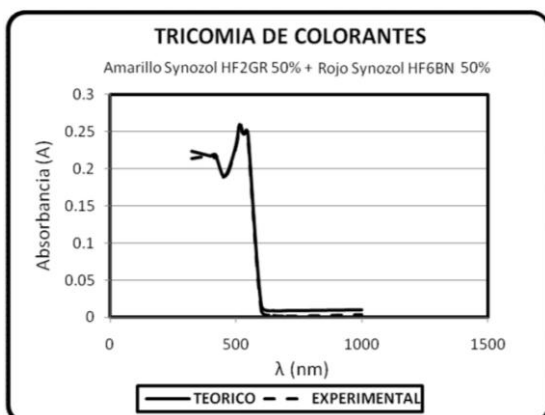
Mezcla amarillo Synozol HF2GR y rojo Synozol HF6BN

concentración de colorante rojo = 0.01g/L

concentración de colorante amarillo = 0.01g/L

50%rojo + 50% amarillo

Figura 5.5.2 Curva de caracterización de la tricomía Amarillo Synozol HF2GR al 0,01g/L (50.0%) y el rojo Synozol HF6BN al 0.01g/L (50.0%) para el rango visible (320nm – 1000nm).



Mezcla amarillo Synozol HF2GR y rojo Synozol HF6BN

Se peso 0.002g de cada colorante en 100cc de agua

concentración de colorante rojo = 0.02g/L

concentración de colorante amarillo = 0.02g/L

50%rojo + 50% amarillo

Figura 5.5.3 Curva de caracterización de la tricomía Amarillo Synozol HF2GR al 0,02g/L (50.0%) y el rojo Synozol HF6BN al 0.02g/L (50.0%) para el rango visible (320nm – 1000nm).

Se realizó las pruebas de tricromía en proporciones que tienen mayor uso en la industria, tanto a valores experimentales como a modelos teóricos, así poder corroborar valores, esto es mostrado en las Figuras 5.5.1, 5.5.2 y 5.5.3.

5.6 CARACTERIZACIÓN DE COLORANTES EN PLANTA.

Se muestran los resultados en forma de gráficos de las corridas de los colorantes ya estudiados, como el amarillo Synozol HF2GR, el rojo Synozol HF6BN y el negro Everzol GSP, las pruebas se hicieron tanto en puros como en tricromía, a diferentes concentraciones de sal y temperatura (ver relación de pruebas, capítulo IV).

Las gráficas 5.6.1, 5.6.2 y 5.6.3 muestran las curvas de agotamiento y fijación a una temperatura de 60°C, con una concentración de sal de 100g/L, una relación de baño de 1:7 siguiendo la curva de teñido de los colorantes Amarillo Synozol HF2GR al 1.5%, Rojo Synozol HF6BN al 1.0% y el Negro Everzol GSP al 6.0% en estado puro, además la figura 5.6.4 muestra el comportamiento del pH frente al proceso de tintura.

Las curvas de agotamiento de los colorantes puros Amarillo Synozol HF2GR al 1.5%, Rojo Synozol HF6BN al 1.0% y el Negro Everzol GSP al 6.0% son mostrados en la figura 6.6.5, la curva en tricromía de estas condiciones es mostrada en la figura 6.6.6. Para las mismas condiciones pero en estado de fijación se muestran en la figura 6.6.8 y 6.6.9.

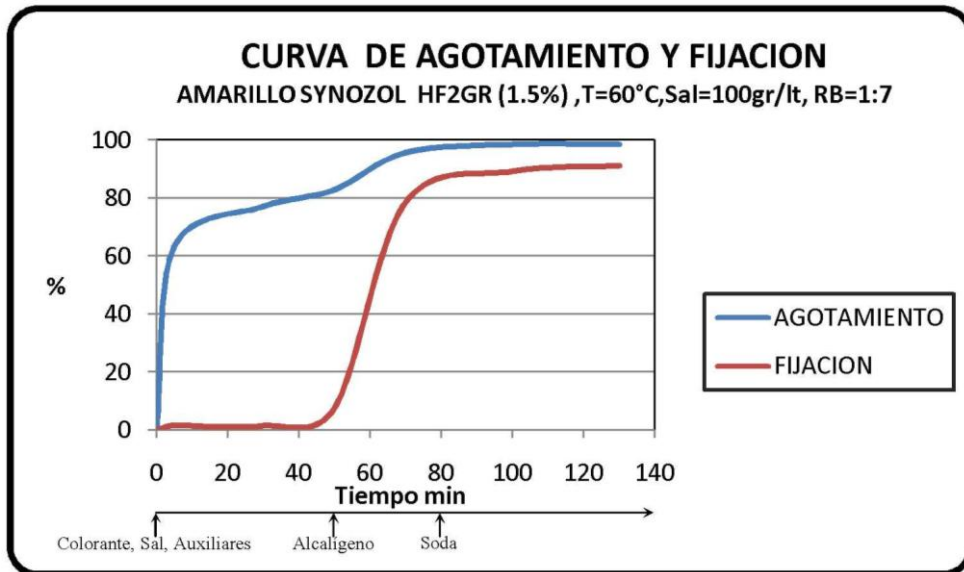


Figura 5.6.1 Curva de agotamiento y fijación del Amarillo Synozol HF2GR.

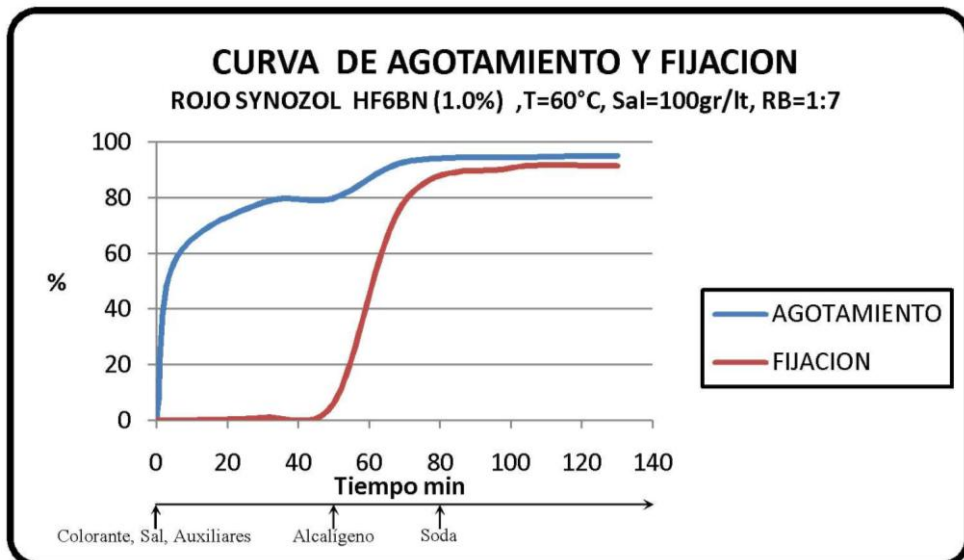


Figura 5.6.2 Curva de agotamiento y fijación del Rojo Synozol HF6BN.

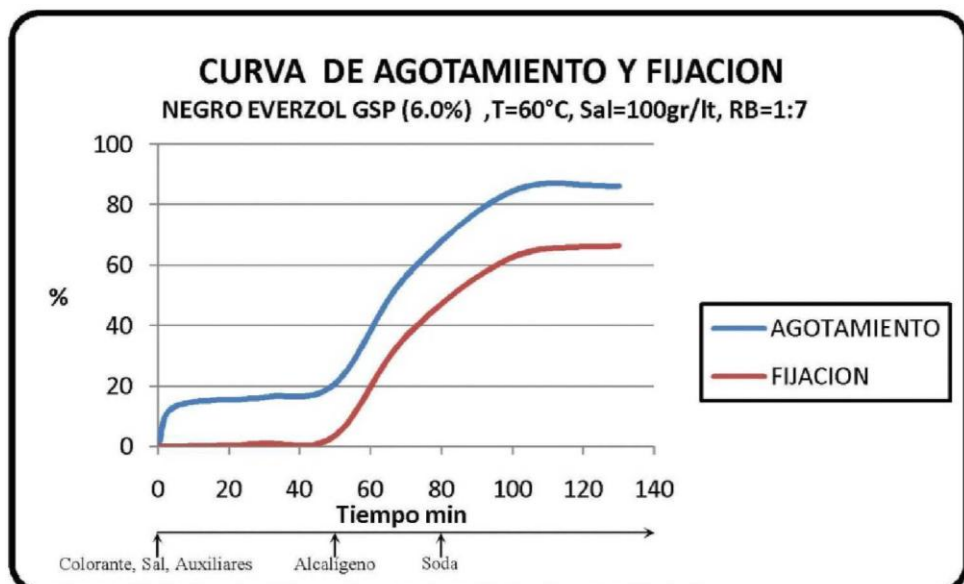


Figura 5.6.3 Curva de agotamiento y fijación del Negro Everzol GSP.

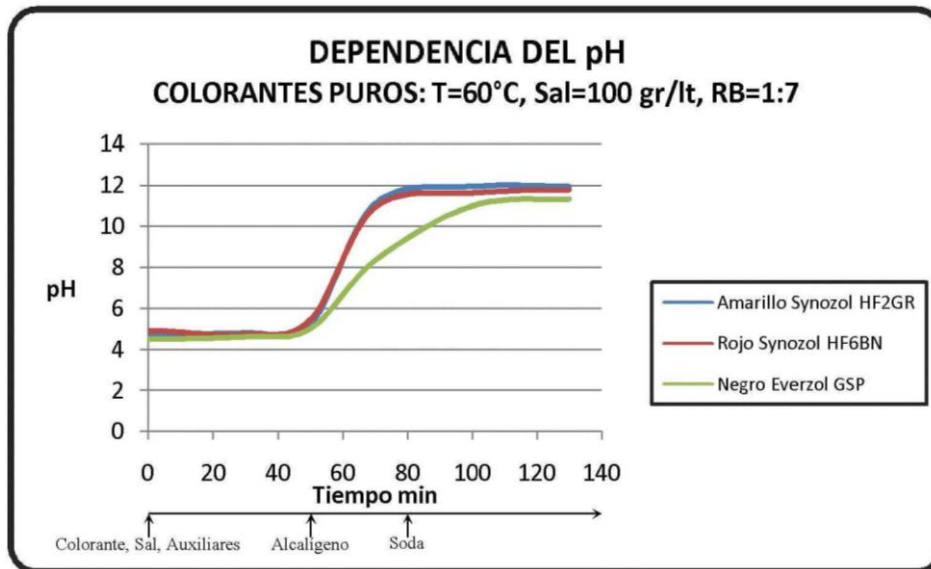


Figura 5.6.4 Curva de variación de pH de los colorantes puros.

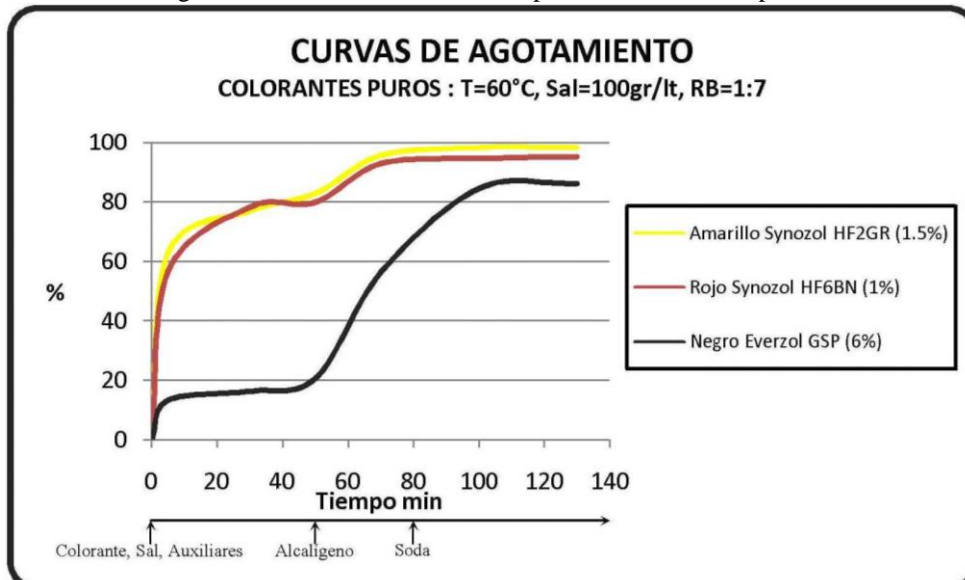


Figura 5.6.5 Curva de agotamiento de colorantes puros.

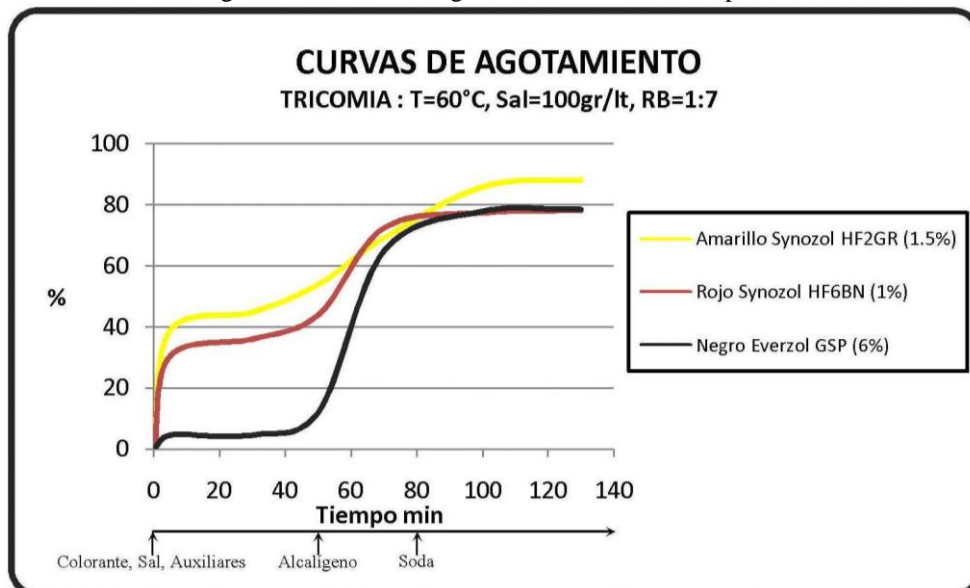


Figura 5.6.6 Curva de agotamiento en tricómia.

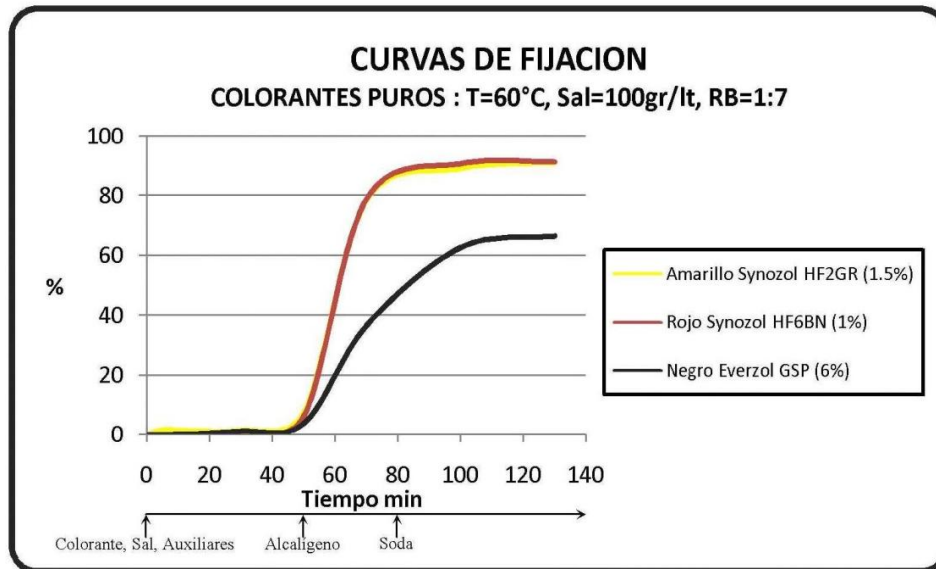


Figura 5.6.7 Curva de fijación de colorantes puros.

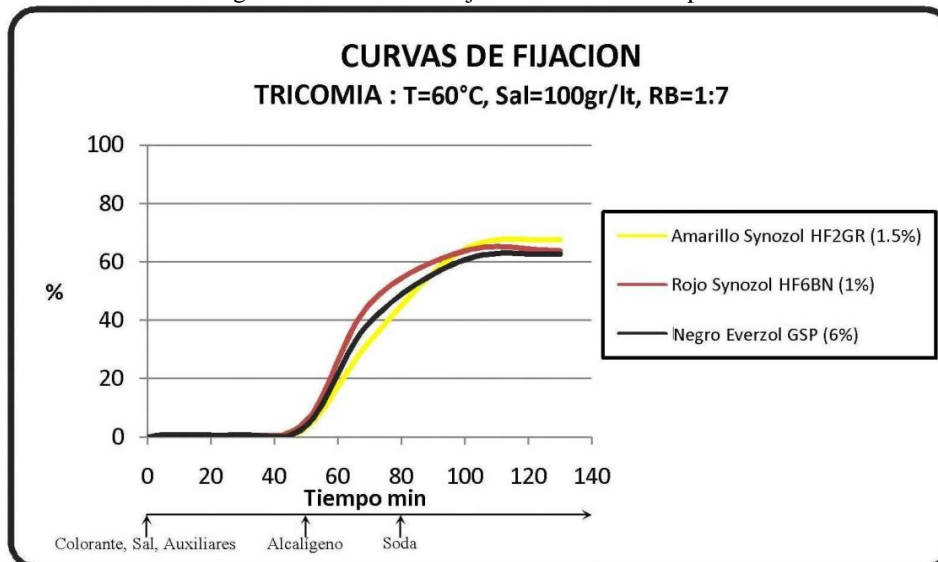


Figura 5.6.8 Curva de fijación en tricomía.

Las gráficas 5.6.9, 5.6.10 y 5.6.11 muestran las curvas de agotamiento y fijación a una temperatura de 60°C, con una concentración de sal de 50g/L, una relación de baño de 1:7 siguiendo la curva de teñido de los colorantes Amarillo Synozol HF2GR al 1.5%, Rojo Synozol HF6BN al 1.0% y el Negro Everzol GSP al 6.0% en estado puro, además la figura 5.6.12 muestra el comportamiento del pH frente al proceso de tintura. Las curvas de agotamiento de los colorantes puros Amarillo Synozol HF2GR al 1.5%, Rojo Synozol HF6BN al 1.0% y el Negro Everzol GSP al 6.0% son mostrados en la figura 6.6.13, la curva en tricomía de estas condiciones es mostrada en la figura 6.6.14. Para las mismas condiciones pero en estado de fijación se muestran en la figura 6.6.15 y figura 6.6.16.

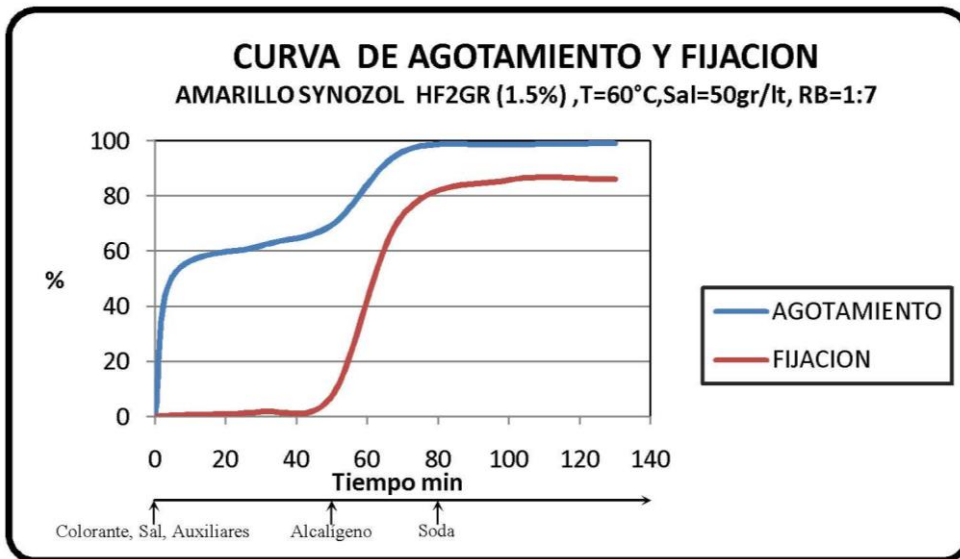


Figura 5.6.9 Curva de agotamiento y fijación del Amarillo Synozol HF2GR.

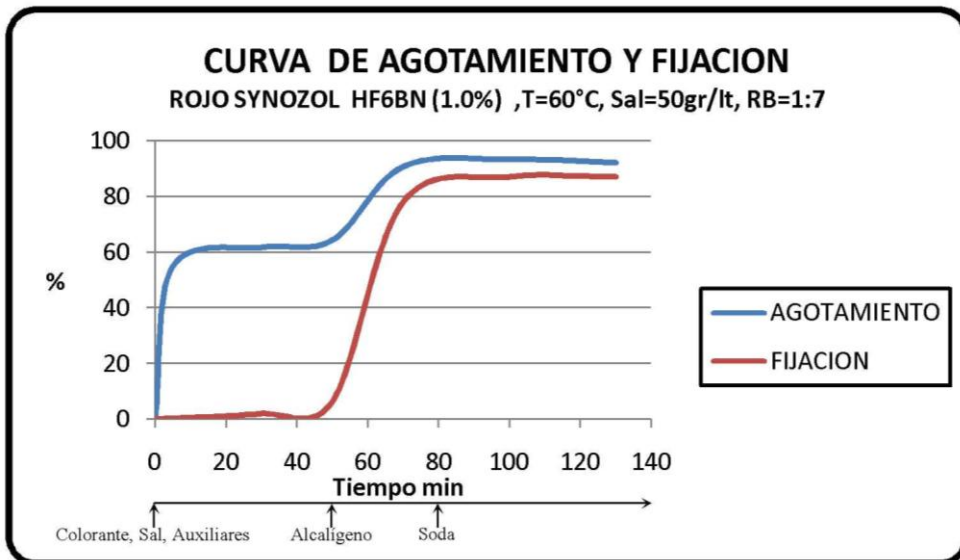


Figura 5.6.10 Curva de agotamiento y fijación del Rojo Synozol HF6BN.

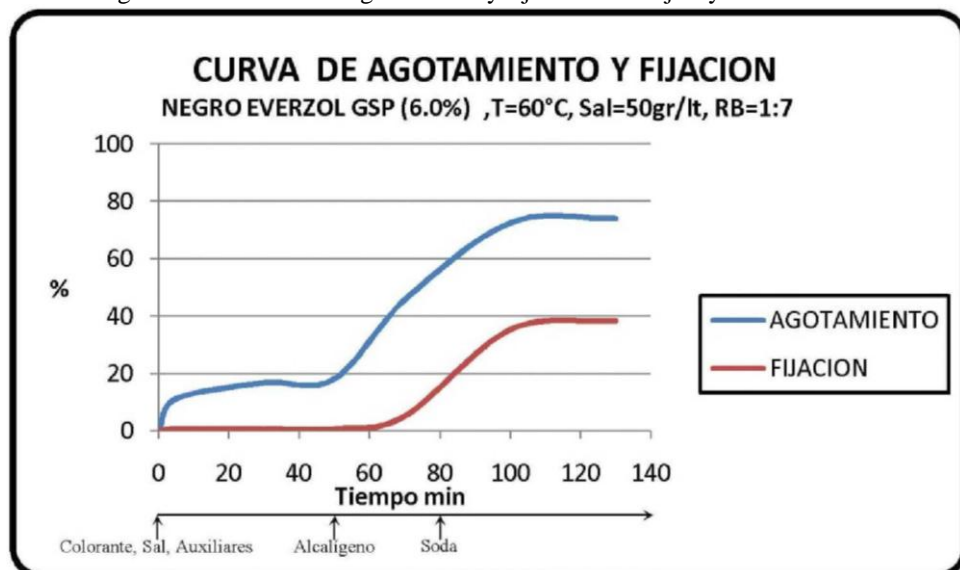


Figura 5.6.11 Curva de agotamiento y fijación del Negro Everzol GSP.

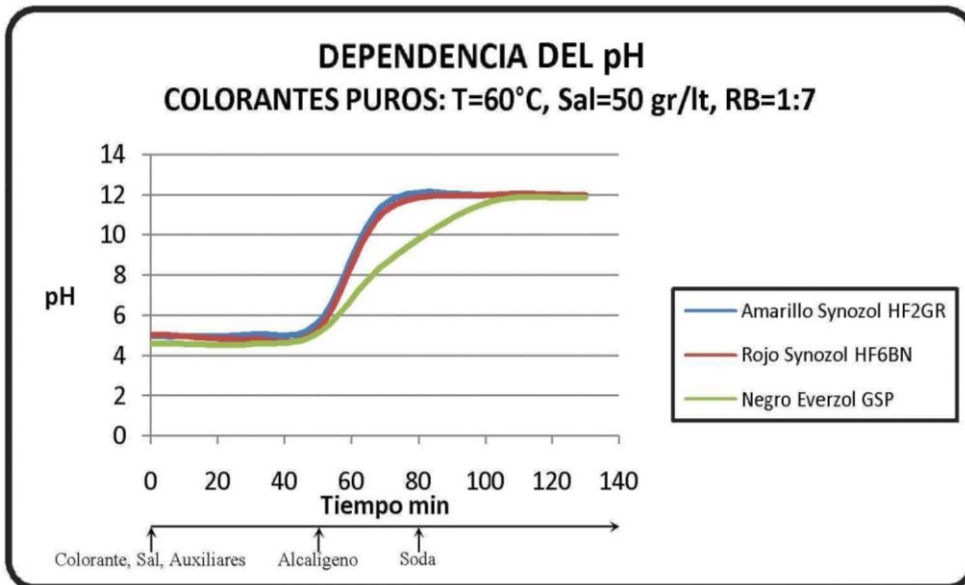


Figura 5.6.12 Curva de variación de pH de los colorantes puros.

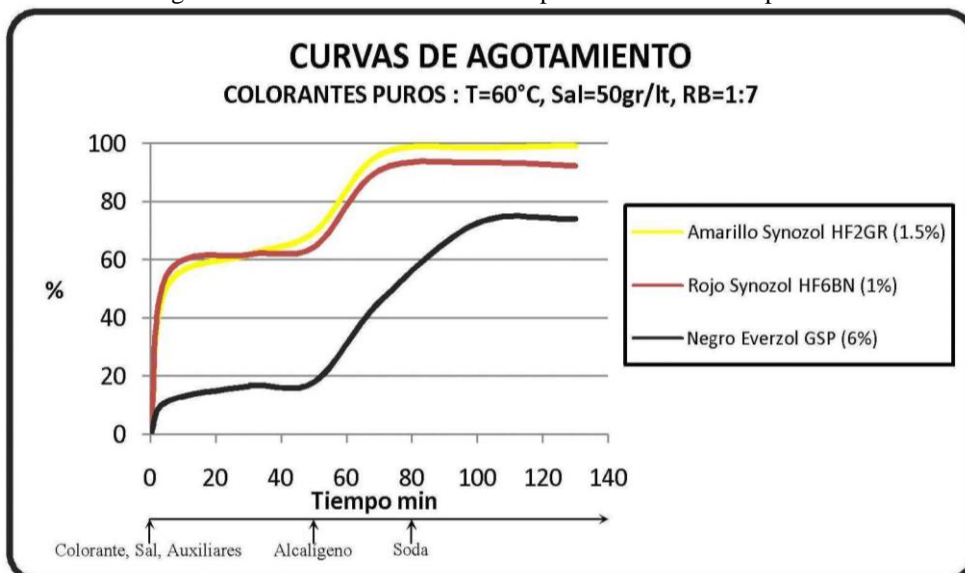


Figura 5.6.13 Curva de agotamiento de colorantes puros.

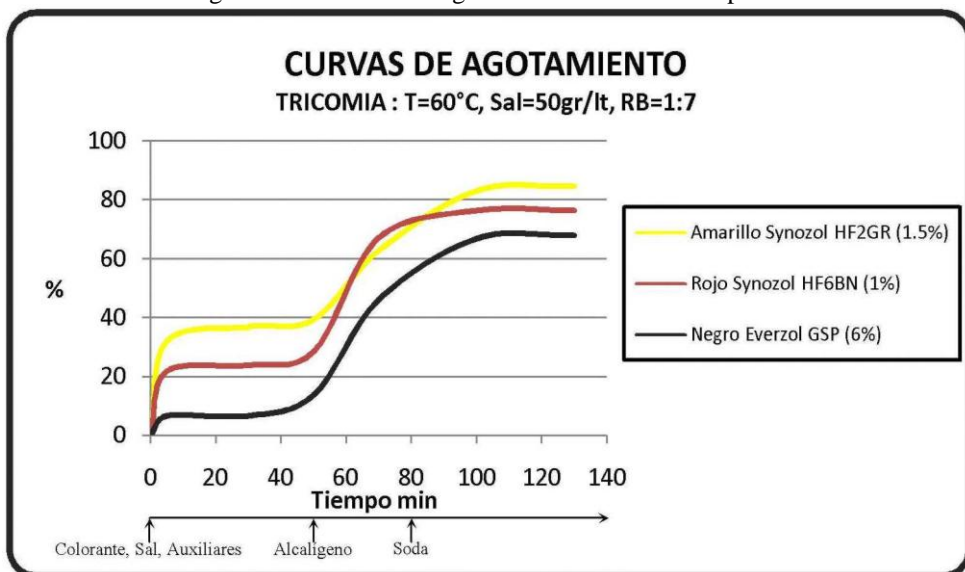


Figura 5.6.14 Curva de agotamiento en tricómia.

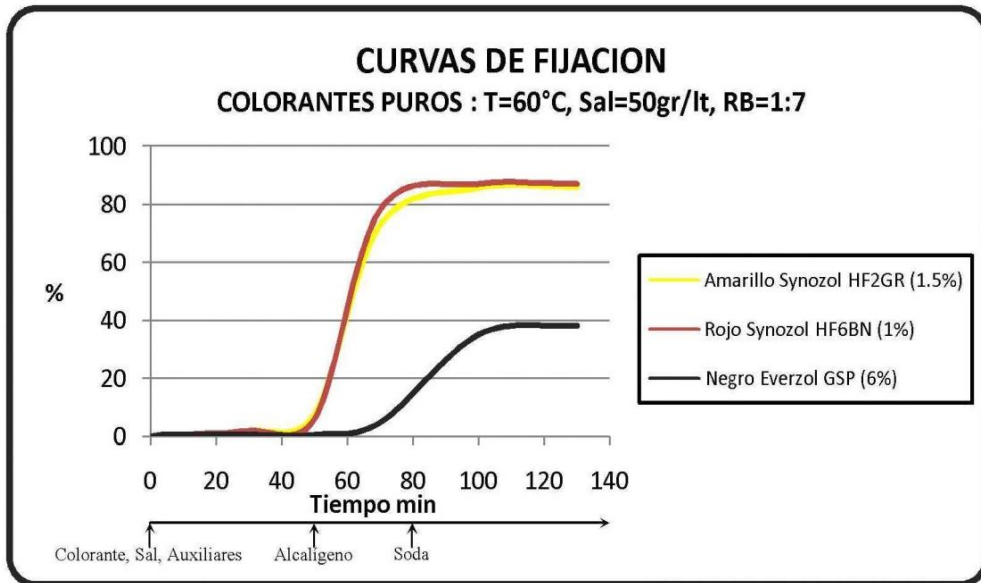


Figura 5.6.15 Curva de fijación de colorantes puros.

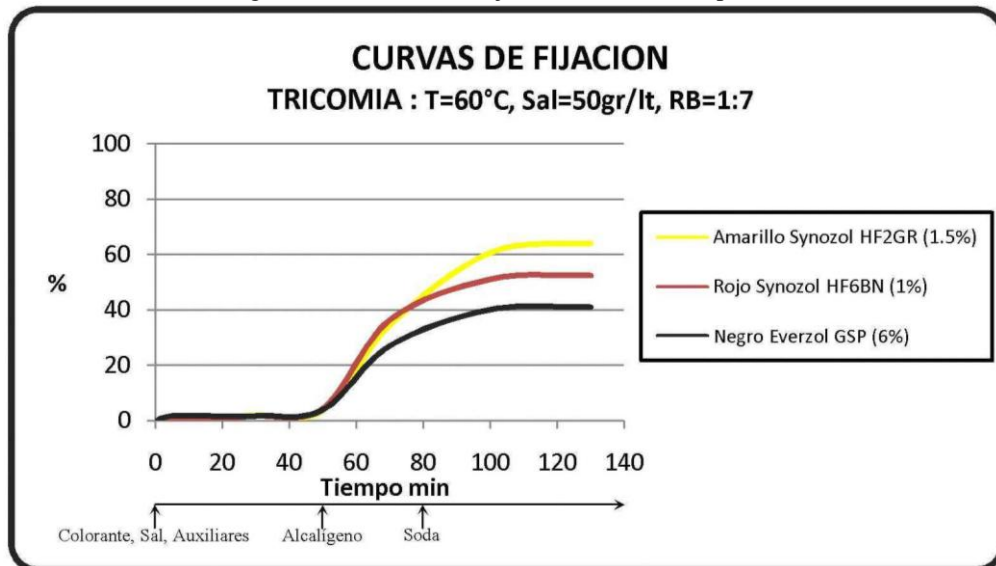


Figura 5.6.16 Curva de fijación en tricromía.

Las gráficas 5.6.17, 5.6.18 y 5.6.19 muestran las curvas de agotamiento y fijación a una temperatura de 60°C, con una concentración de sal de 150g/L, una relación de baño de 1:7 siguiendo la curva de teñido de los colorantes Amarillo Synozol HF2GR al 1.5%, Rojo Synozol HF6BN al 1.0% y el Negro Everzol GSP al 6.0% en estado puro, además la figura 5.6.20 muestra el comportamiento del pH frente al proceso de tintura. Las curvas de agotamiento de los colorantes puros Amarillo Synozol HF2GR al 1.5%, Rojo Synozol HF6BN al 1.0% y el Negro Everzol GSP al 6.0% son mostrados en la figura 6.6.21, la curva en tricromía de estas condiciones es mostrada en la figura 6.6.22. Para las mismas condiciones pero en estado de fijación se muestran en la figura 6.6.23 y figura 6.6.24.

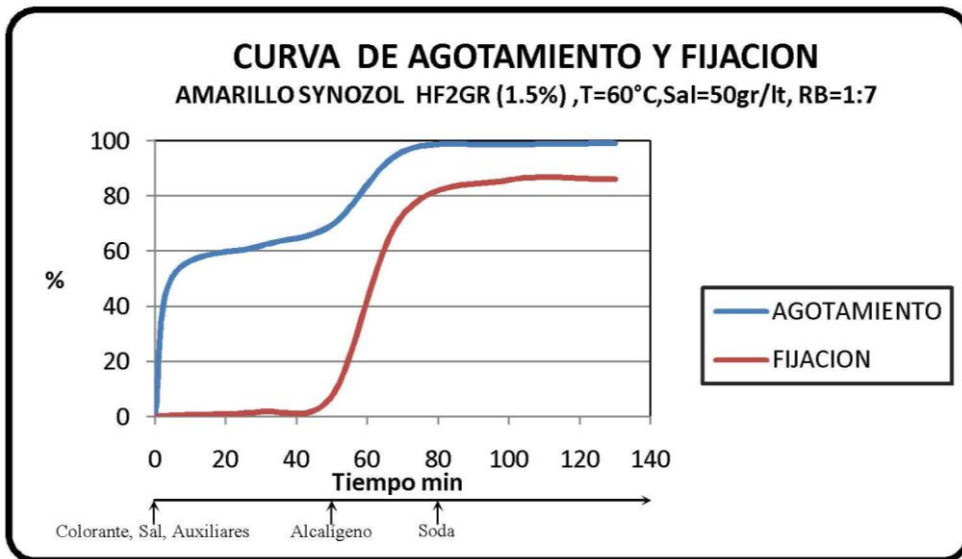


Figura 5.6.17 Curva de agotamiento y fijación del Amarillo Synozol HF2GR.

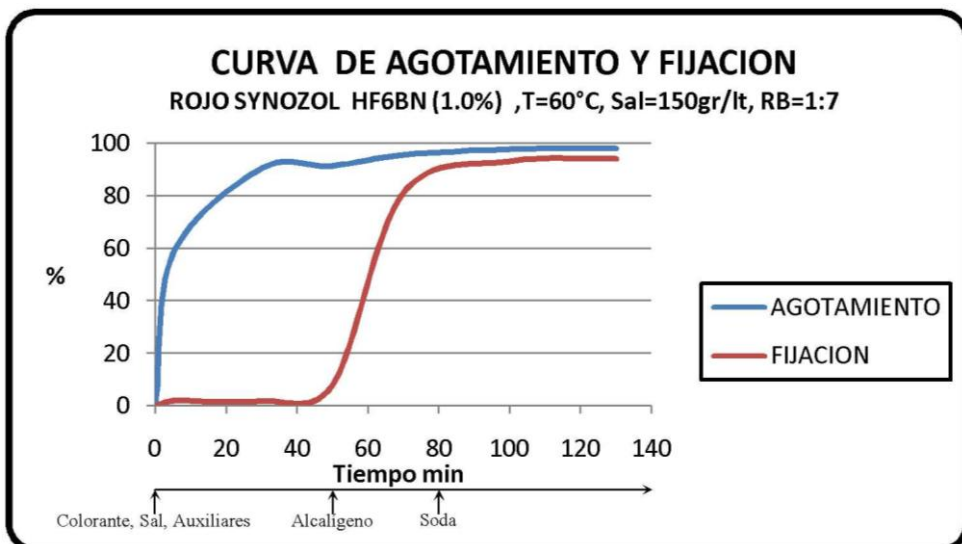


Figura 5.6.18 Curva de agotamiento y fijación del Rojo Synozol HF6BN

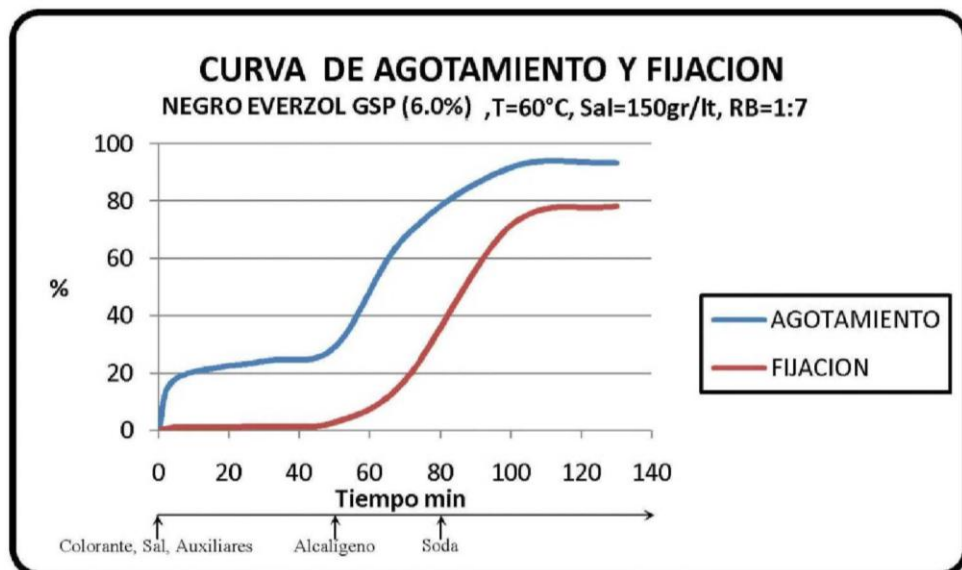


Figura 5.6.19 Curva de agotamiento y fijación del Negro Everzol GSP.

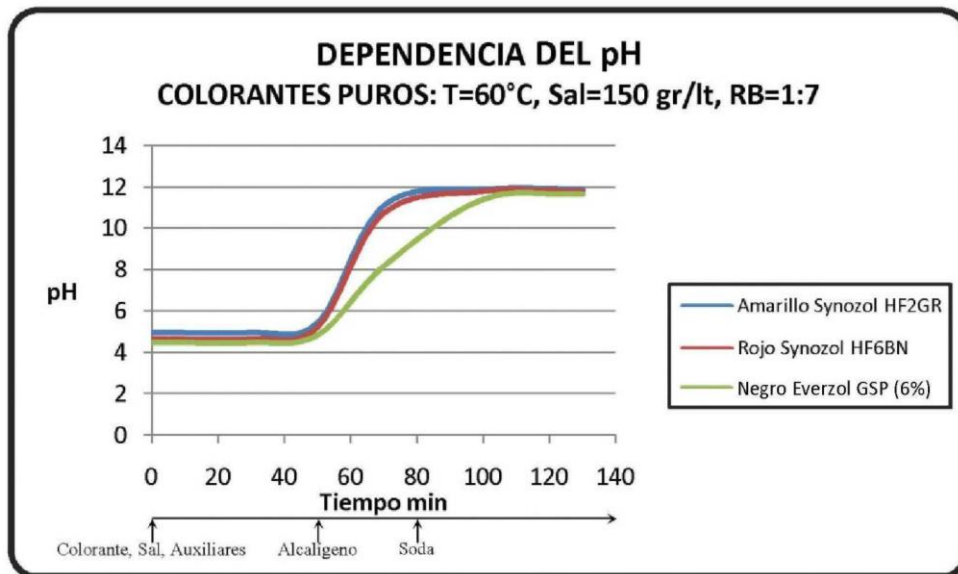


Figura 5.6.20 Curva de variación de pH de los colorantes puros.

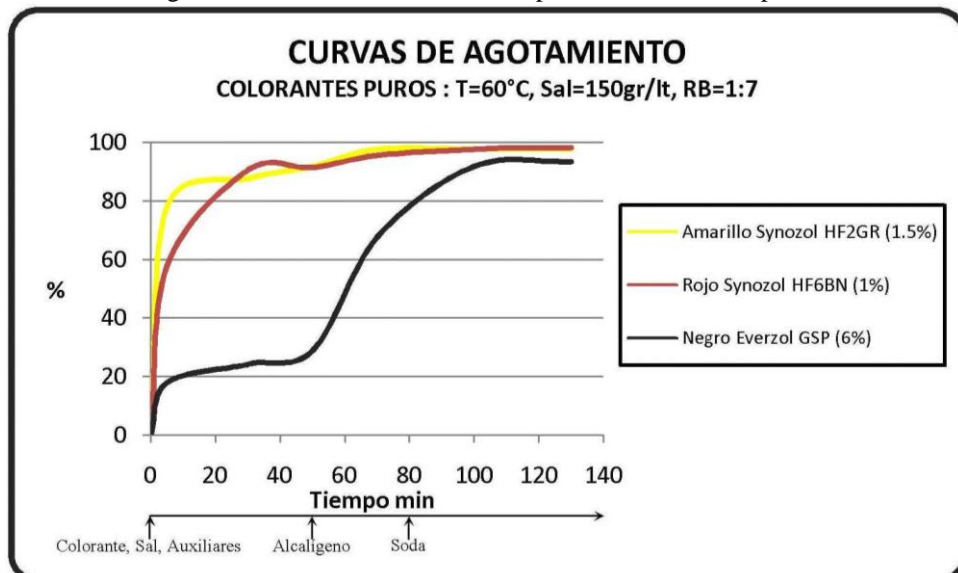


Figura 5.6.21 Curva de agotamiento de colorantes puros.

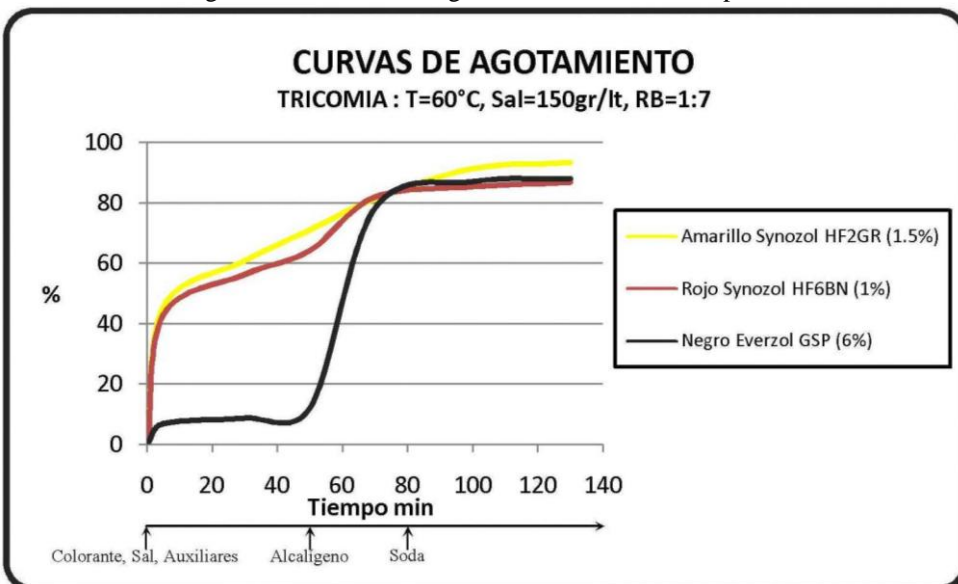


Figura 5.6.22 Curva de agotamiento en tricomía.

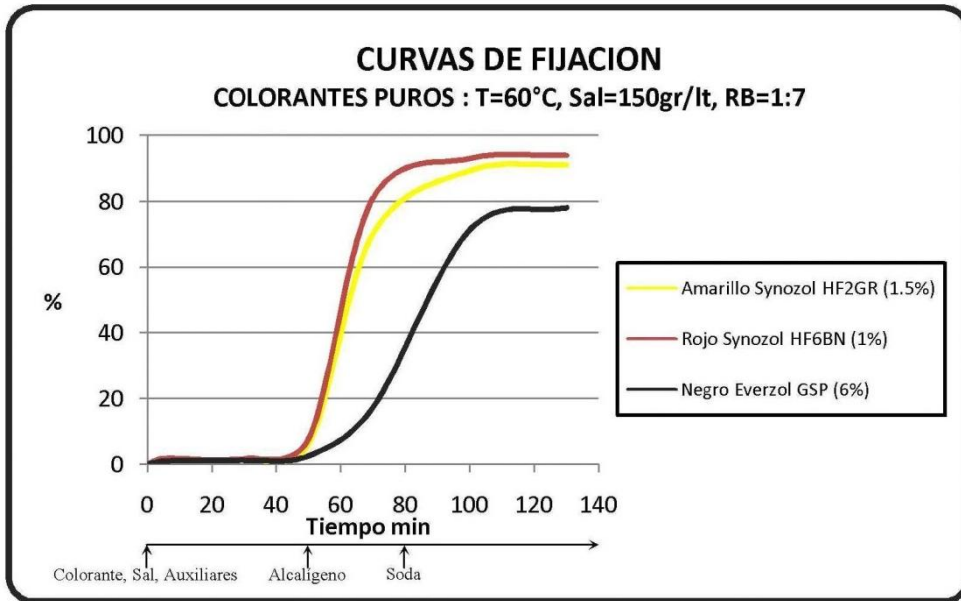


Figura 5.6.23 Curva de fijación de colorantes puros.

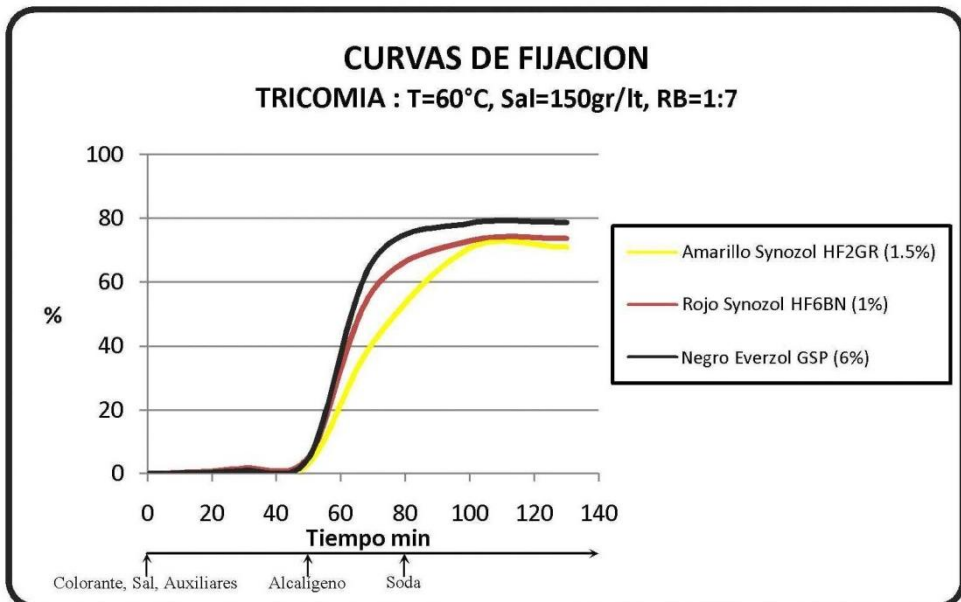


Figura 5.6.24 Curva de fijación en tricomía.

Las siguientes gráficas se desarrollaron a una temperatura de 40°C, las graficas 5.6.25, 5.6.26 y 5.6.27 muestran las curvas de agotamiento y fijación con 100g/L de sal, una relación de baño de 1:7 siguiendo la curva de teñido de los colorantes Amarillo Synozol HF2GR al 1.5%, Rojo Synozol HF6BN al 1.0% y el Negro Everzol GSP al 6.0% en estado puro, la figura 5.6.28 muestra el comportamiento del pH. Las curvas de agotamiento puros del Amarillo Synozol HF2GR al 1.5%, Rojo Synozol HF6BN al 1.0% y el Negro Everzol GSP al 6.0% son mostrados en la figura 6.6.29, la curva en tricomía de estas condiciones es mostrada en la figura 6.6.30. Para las mismas condiciones pero en estado de fijación se muestran en la figura 6.6.31 y figura 6.6.32.

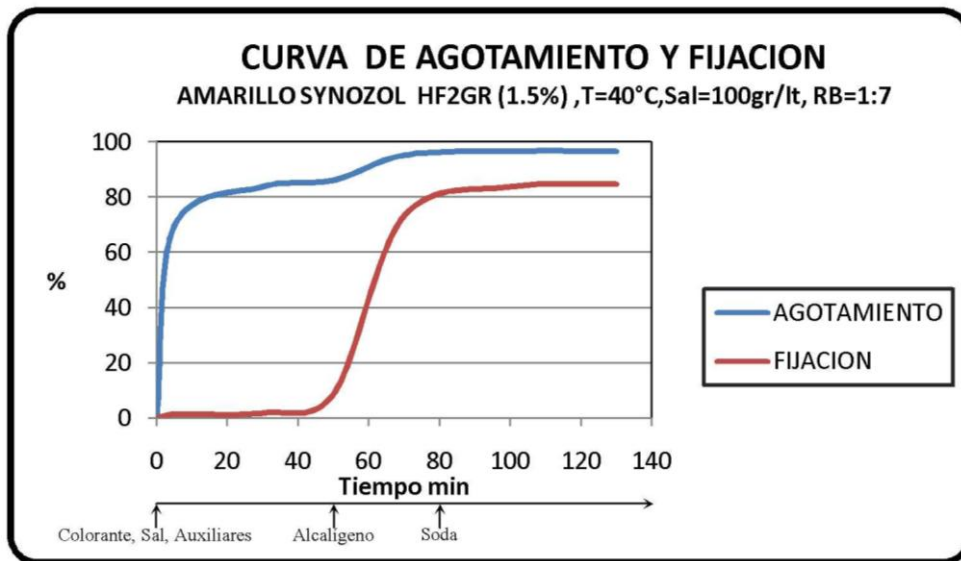


Figura 5.6.25 Curva de agotamiento y fijación del Amarillo Synozol HF2GR.

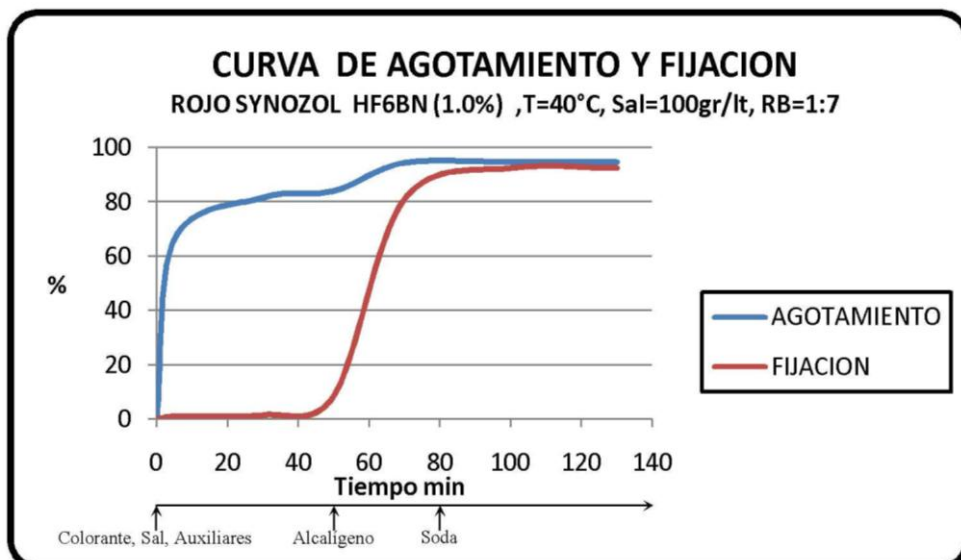


Figura 5.6.26 Curva de agotamiento y fijación del Rojo Synozol HF6BN

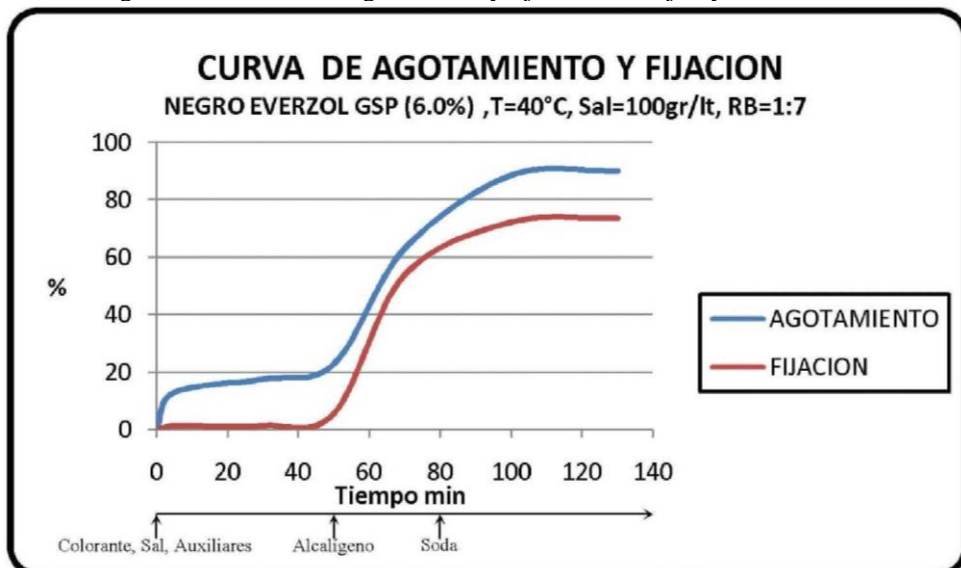


Figura 5.6.27 Curva de agotamiento y fijación del Negro Everzol GSP.

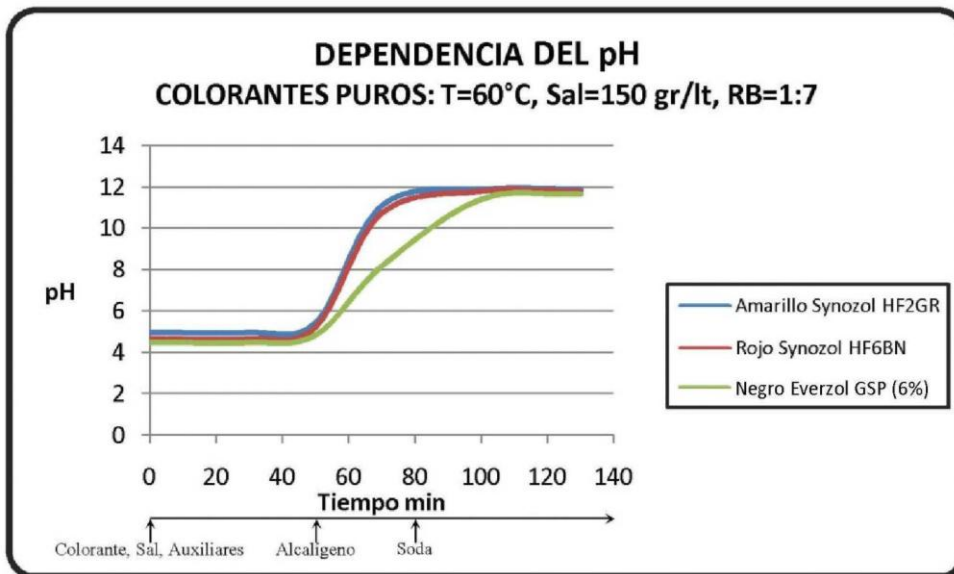


Figura 5.6.28 Curva de variación de pH de los colorantes puros.

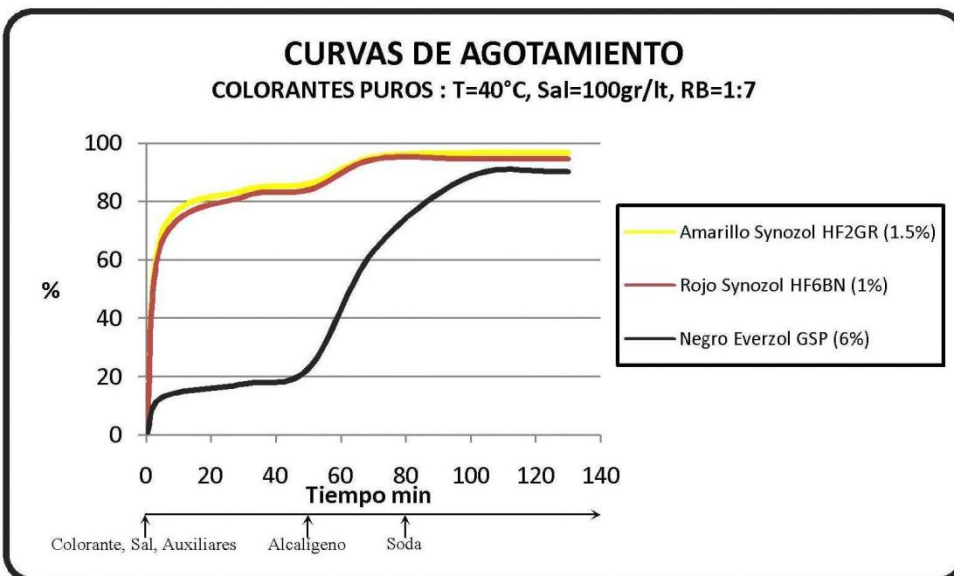


Figura 5.6.29 Curva de agotamiento de colorantes puros.

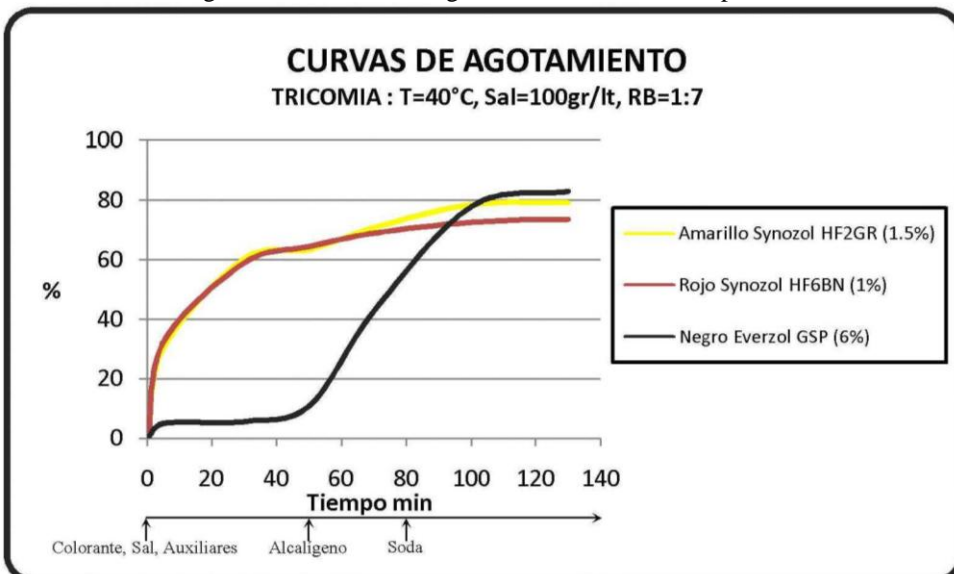


Figura 5.6.30 Curva de agotamiento en tricómia.

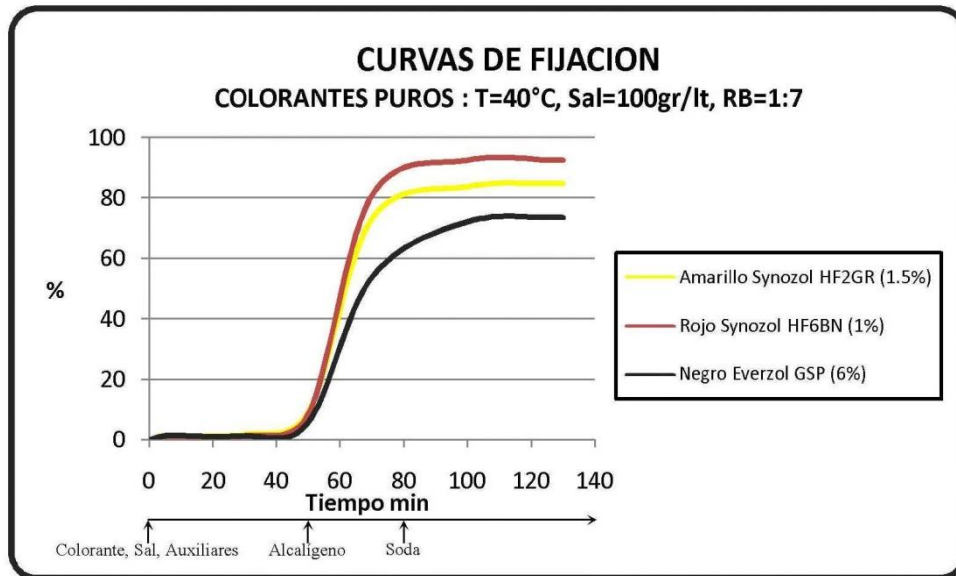


Figura 5.6.31 Curva de fijación de colorantes puros.

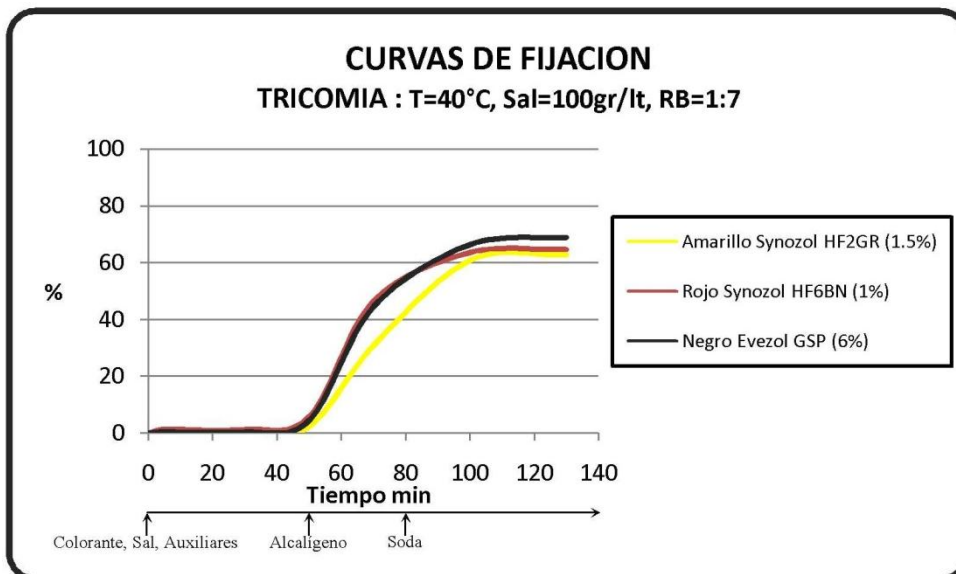


Figura 5.6.32 Curva de fijación en tricomía.

Ahora se duplicarán las concentraciones del Amarillo Synozol HF2GR al 3.0% y el Rojo Synozol HF6BN al 2.0% dejando al Negro Everzol GSP en 6%. La gráfica 5.6.33 muestra curvas de agotamiento puro del Amarillo Synozol HF2GR, Rojo Synozol HF6BN y el Negro Everzol GSP. La figura 5.6.34 en tricomía, Para las mismas condiciones pero en estado de fijación se muestran en la figura 6.6.35 y figura 6.6.36. en una relación de baño de 1:7 y 100g/L de sal.

Las figuras 5.6.37 y 5.6.38 son agotamientos puros y en dicomía con Amarillo Synozol HF2GR al 3.0% y el Rojo Synozol HF6BN al 2.0% y las figuras 5.6.39 y 5.6.40 sus curvas de fijación puros y en dicomía respectivamente.

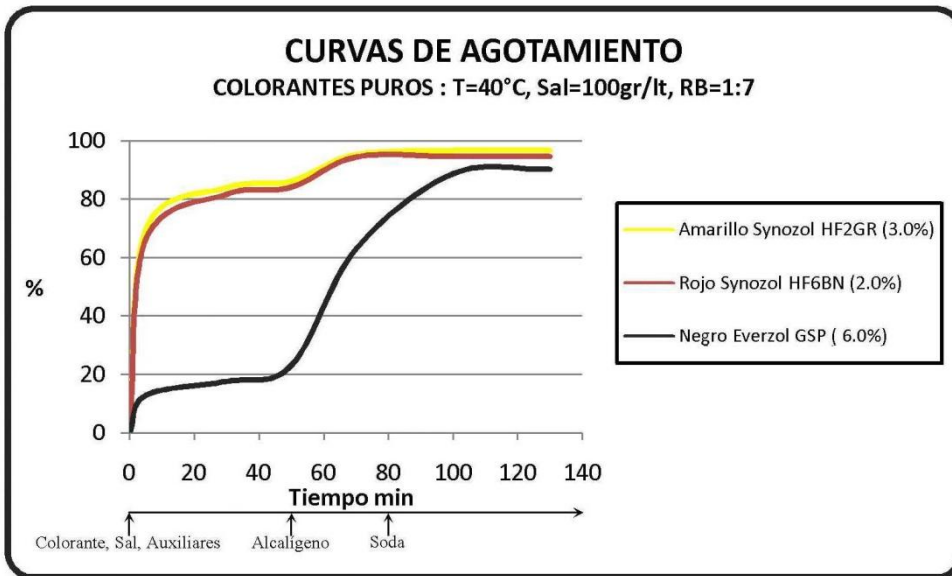


Figura 5.6.33 Curva de agotamiento de colorantes puros.

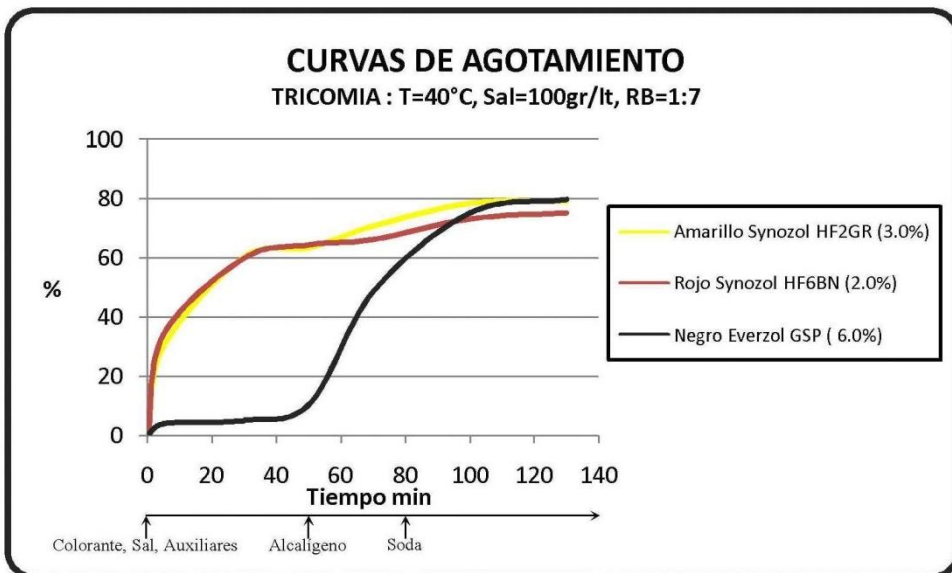


Figura 5.6.34 Curva de agotamiento en tricomía.

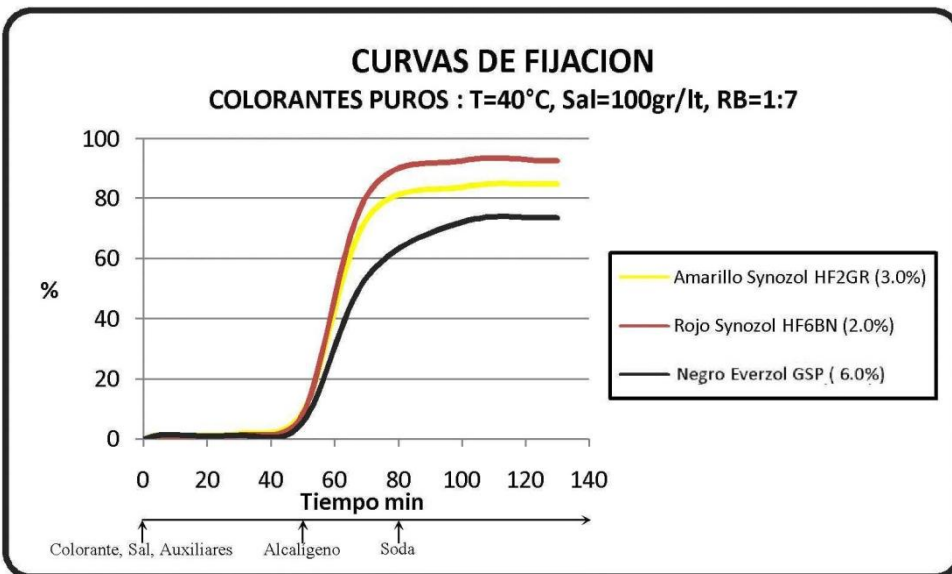


Figura 5.6.35 Curva de fijación de colorantes puros.

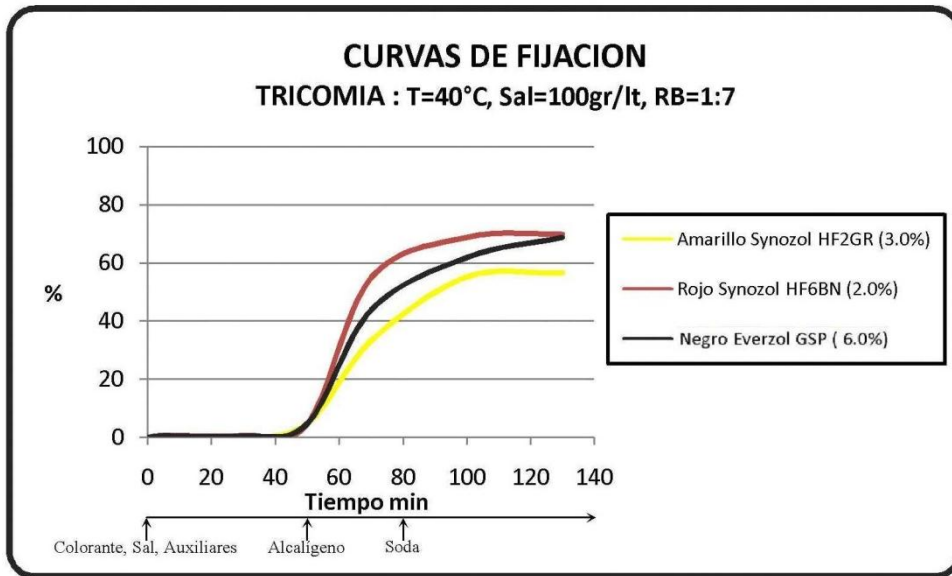


Figura 5.6.36 Curva de fijación en tricromía.

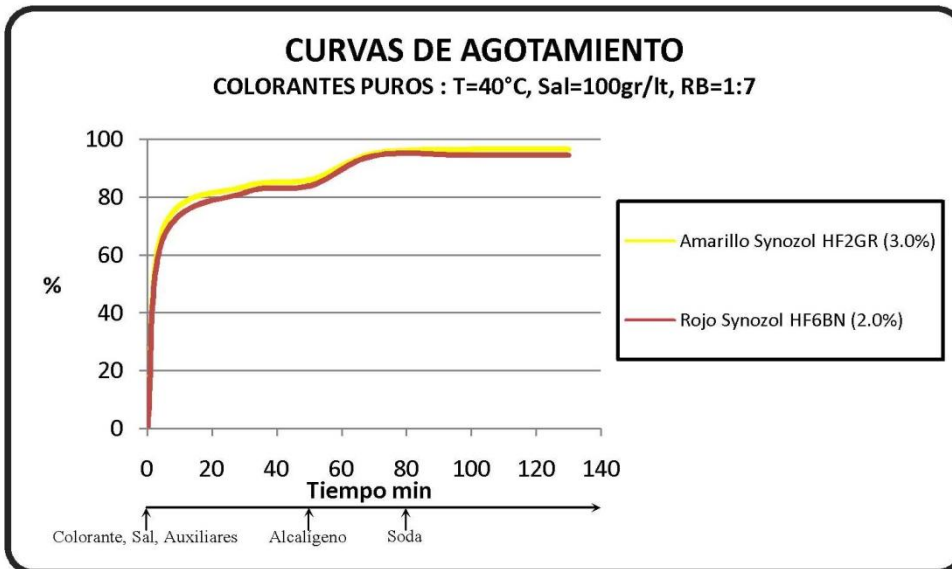


Figura 5.6.37 Curva de agotamiento de colorantes puros.

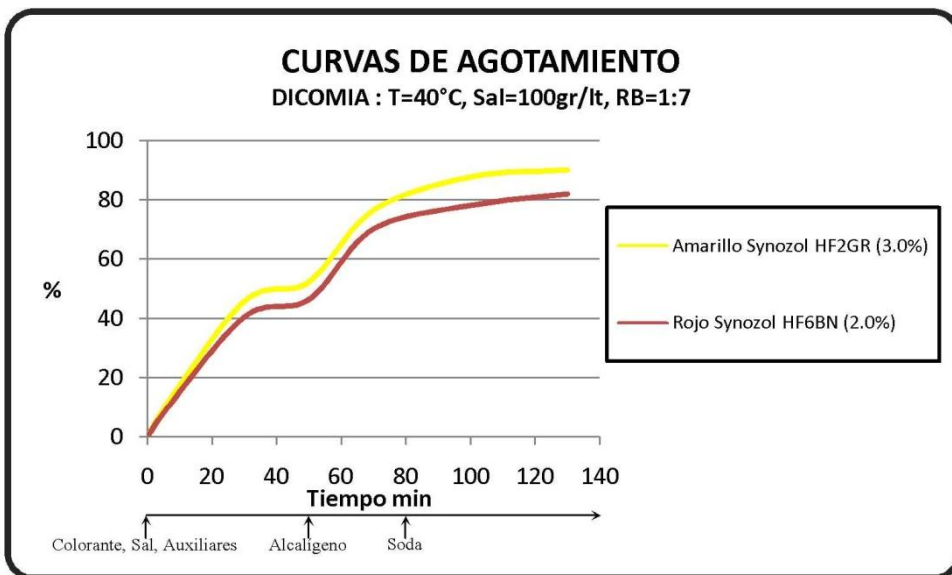


Figura 5.6.38 Curva de agotamiento en dicromía.

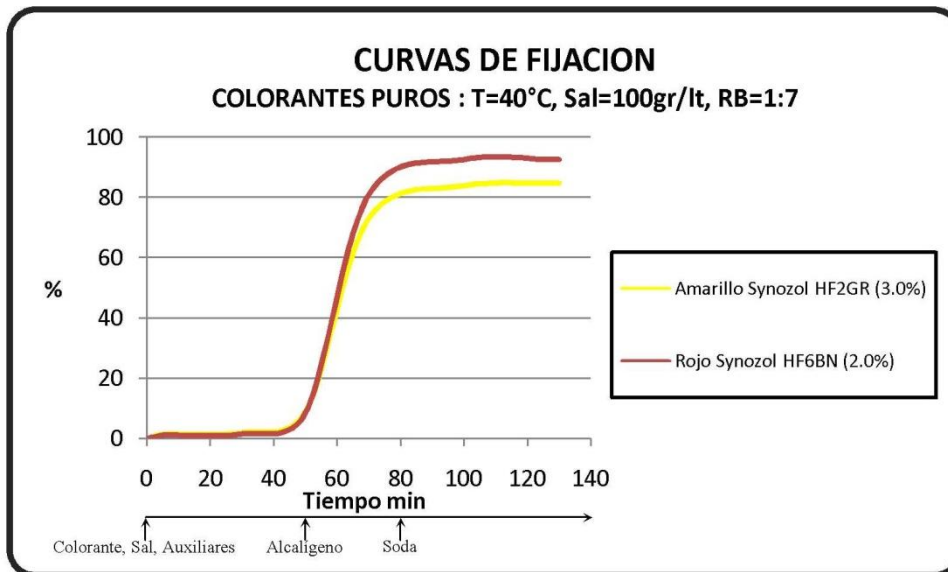


Figura 5.6.39 Curva de fijación de colorantes puros.

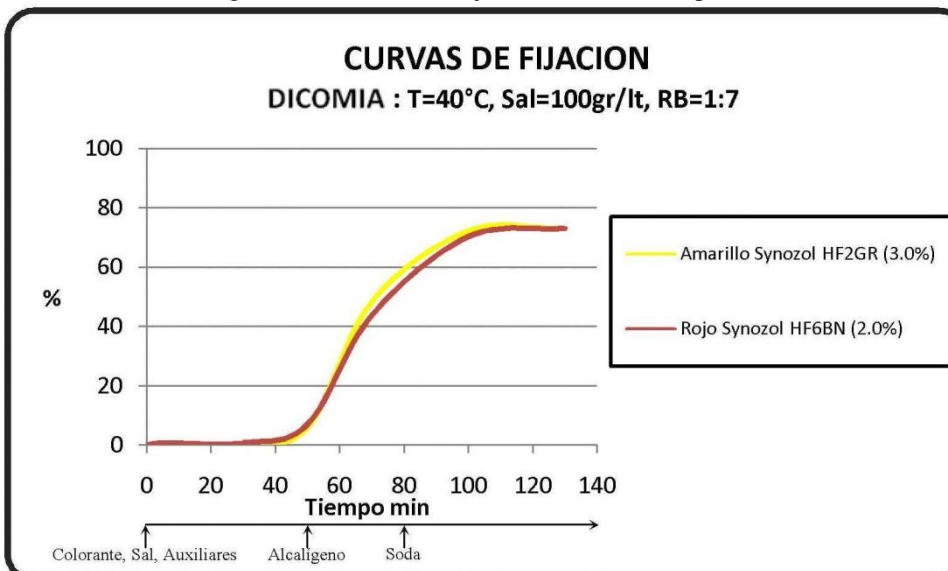


Figura 5.6.40 Curva de fijación en dicomía.

Las curvas a alta temperatura fueron de 80°C, Las gráficas 5.6.41, 5.6.42 y 5.6.43 muestran las curvas de agotamiento y fijación de Amarillo Synozol HF2GR al 1.5%, Rojo Synozol HF6BN al 1.0% y el Negro Everzol GSP al 6.0%, con sal de 100g/L , una relación 1:7, en estado puro, la figura 5.6.44 muestra el comportamiento del pH frente al tiempo. Las curvas de agotamiento de los colorantes puros Amarillo Synozol HF2GR al 1.5%, Rojo Synozol HF6BN al 1.0% y el Negro Everzol GSP al 6.0% son mostrados en la figura 6.6.45, la curva en tricomía en la figura 6.64.6. Para las mismas condiciones pero en estado de fijación se muestran en la figura 6.6.47 y 6.6.48.

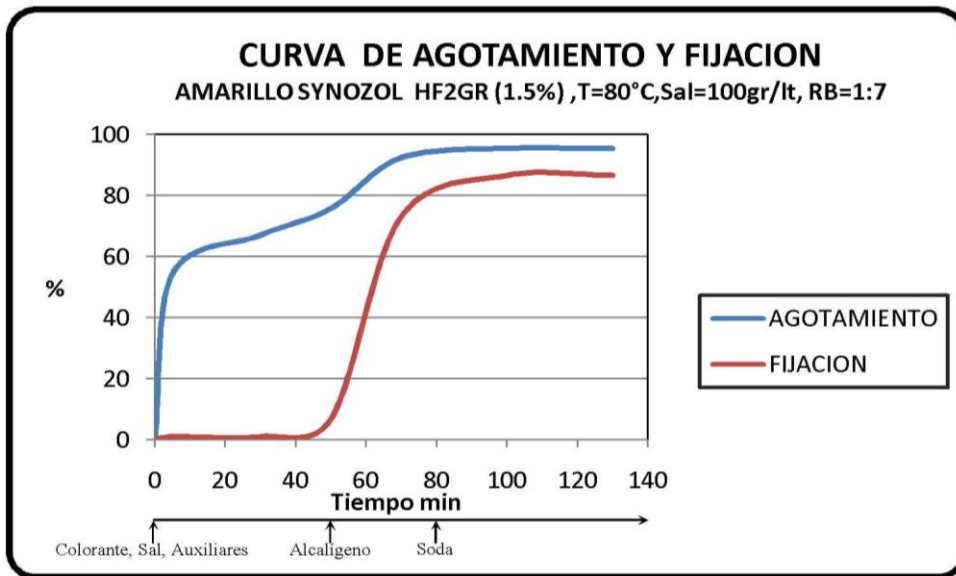


Figura 5.6.41 Curva de agotamiento y fijación del Amarillo Synozol HF2GR.

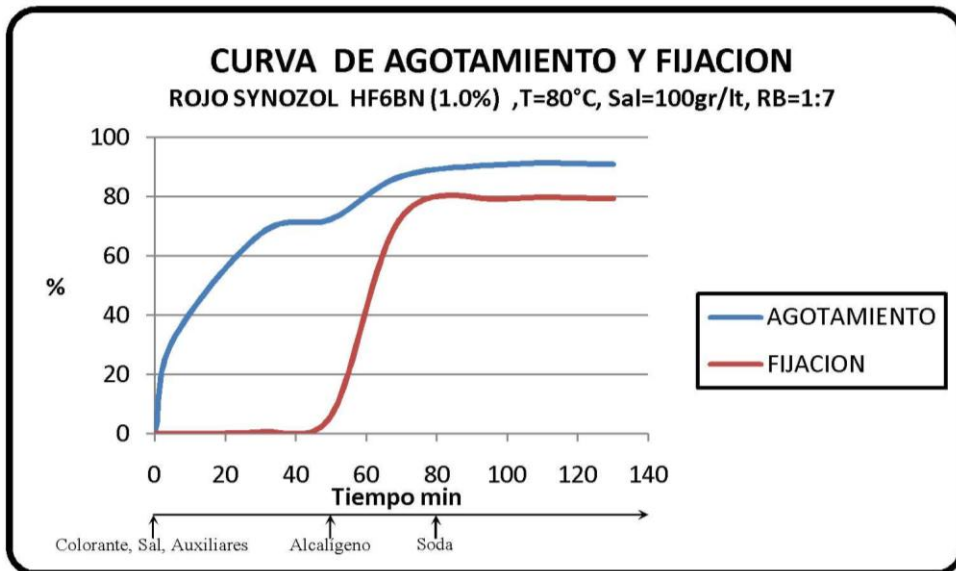


Figura 5.6.42 Curva de agotamiento y fijación del Rojo Synozol HF6BN

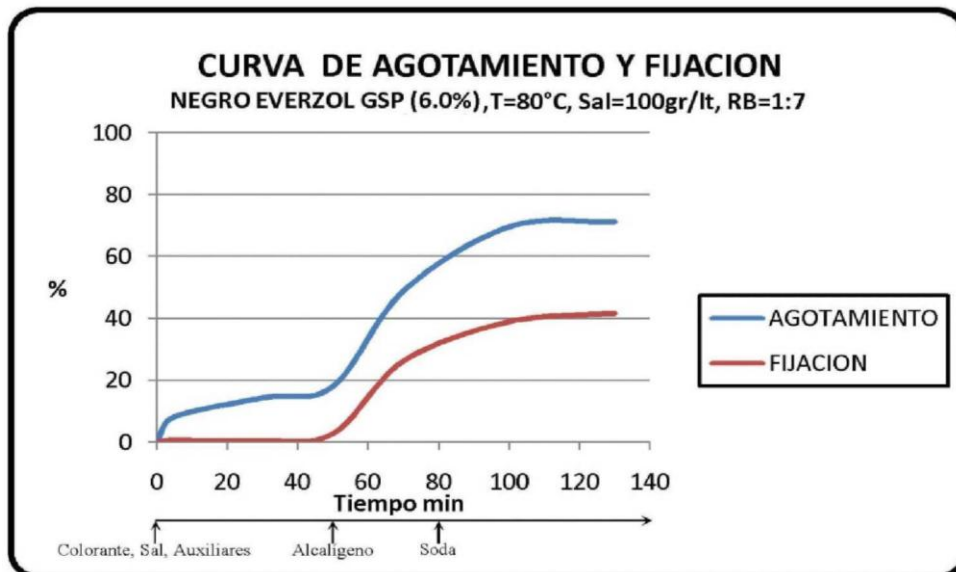


Figura 5.6.43 Curva de agotamiento y fijación del Negro Everzol GSP.

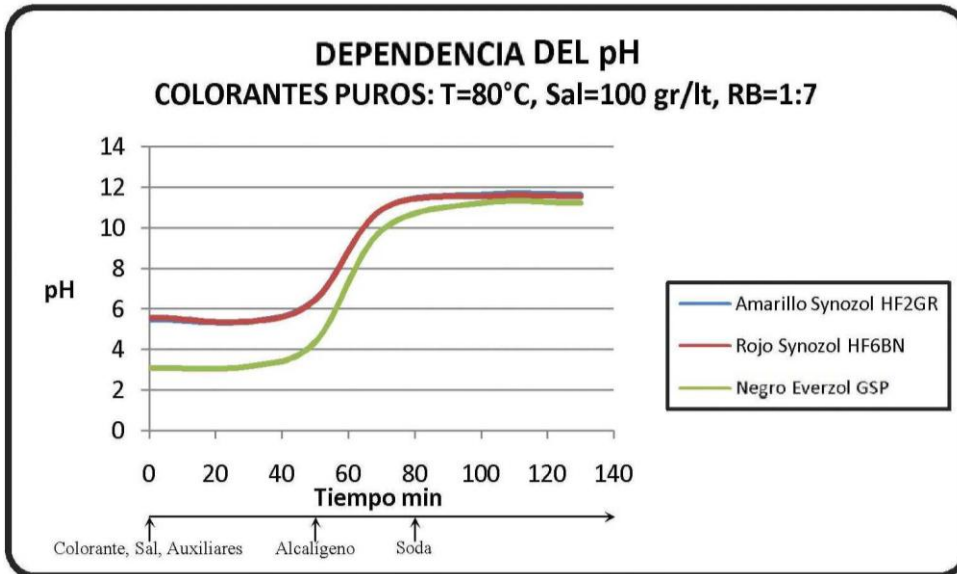


Figura 5.6.44 Curva de variación de pH de los colorantes puros.

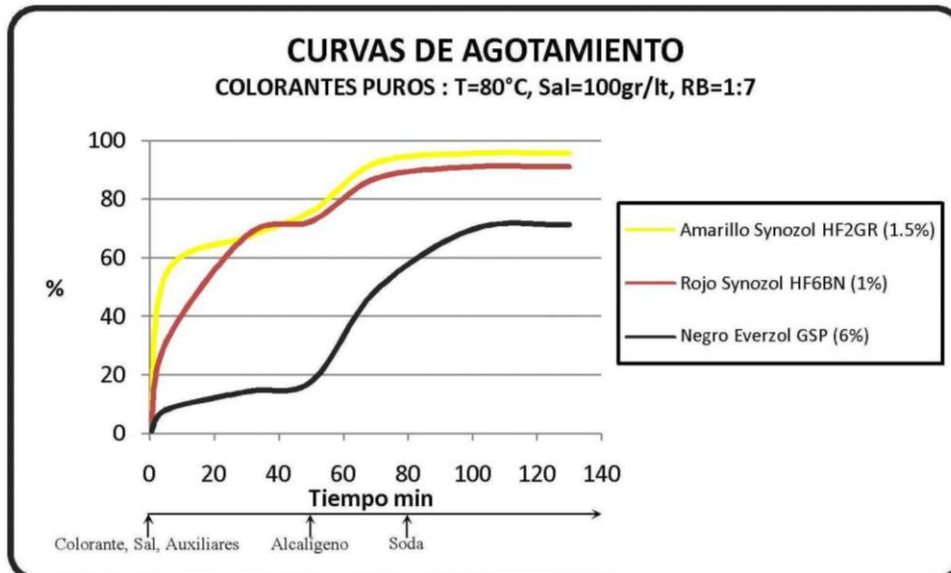


Figura 5.6.45 Curva de agotamiento de colorantes puros.

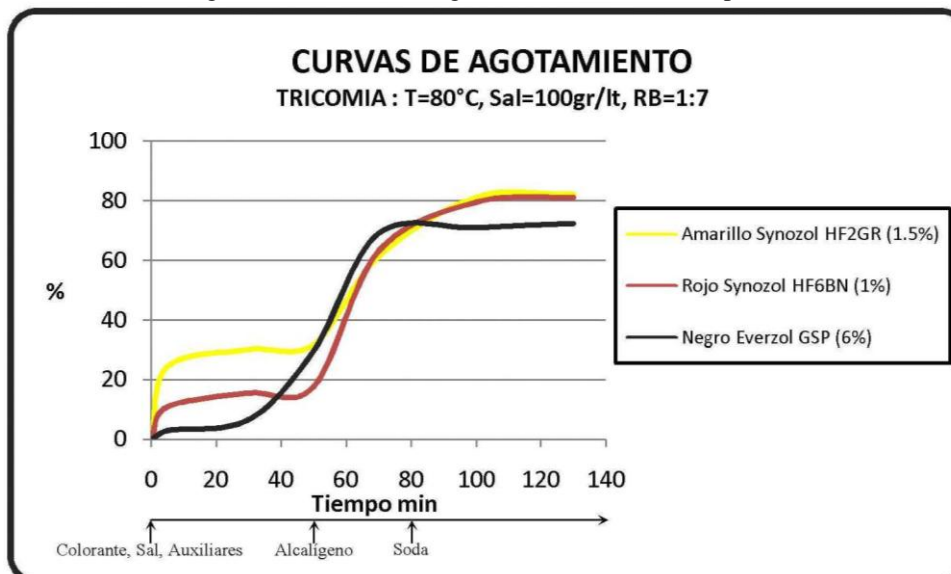


Figura 5.6.46 Curva de agotamiento en tricómia.

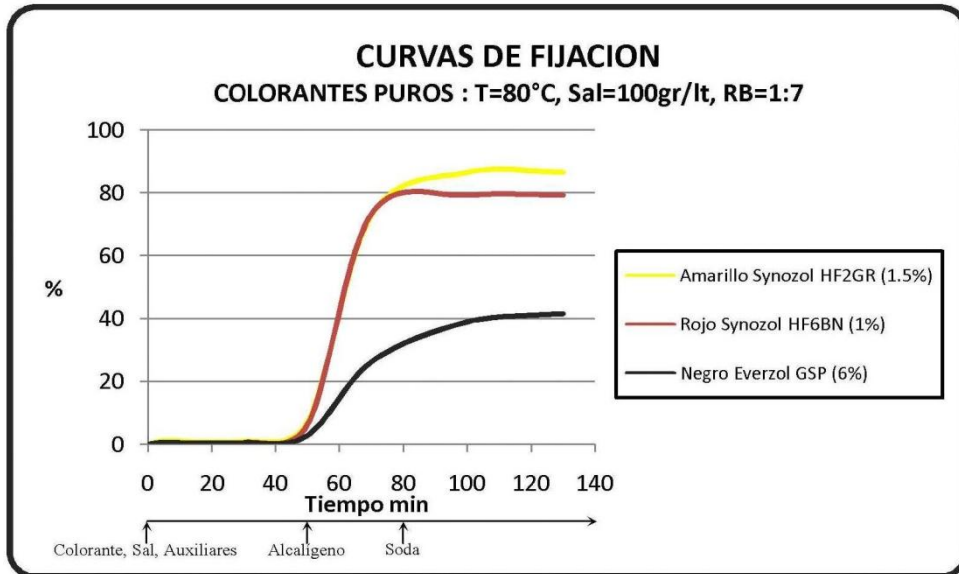


Figura 5.6.47 Curva de fijación de colorantes puros.

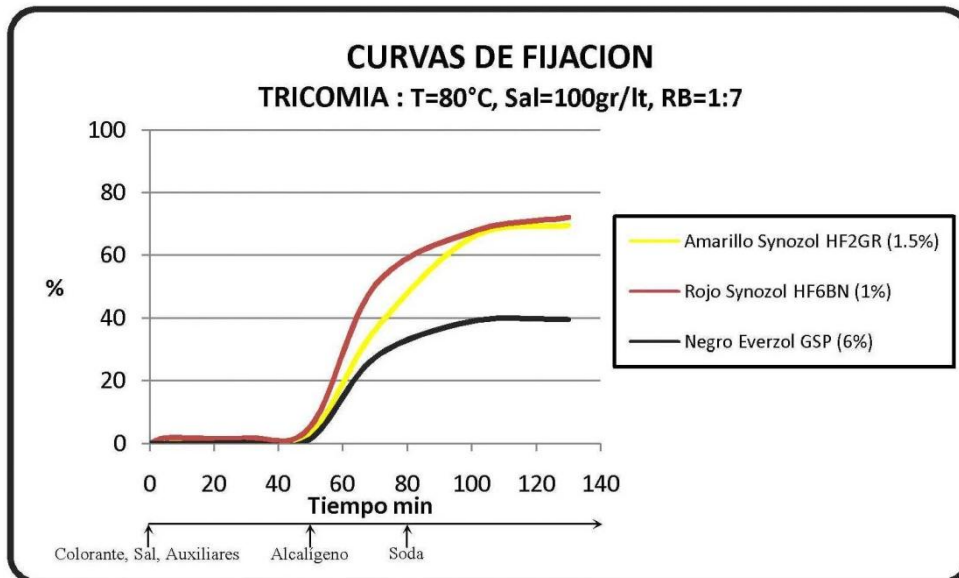


Figura 5.6.48 Curva de fijación en tricómia.

Duplicando las concentraciones de Amarillo Synozol HF2GR a 3.0% y de Rojo Synozol HF6BN a 2.0% y manteniendo en 6% al Negro Everzol GSP, a una temperatura de 80°C tenemos las gráficas 5.6.49 y 5.6.50 en agotamiento y fijación las figuras 5.6.51 y 5.6.52, tanto puro como en tricómia, con una concentración de sal de 100g/L , una relación 1:7, las figuras 5.6.53 y 5.6.54 son agotamientos en dicómia a 80°C con Amarillo Synozol HF2GR a 3.0% y de Rojo Synozol HF6BN a 2.0%. Las figuras 5.6.55 y 5.6.56 son las curvas de fijación puro y en dicómia respectivamente.

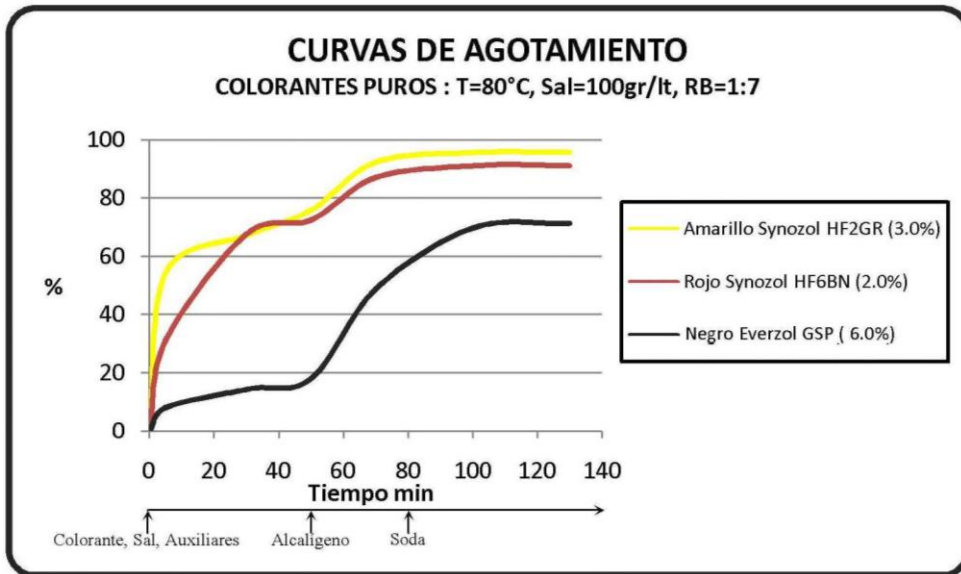


Figura 5.6.49 Curva de agotamiento de colorantes puros.

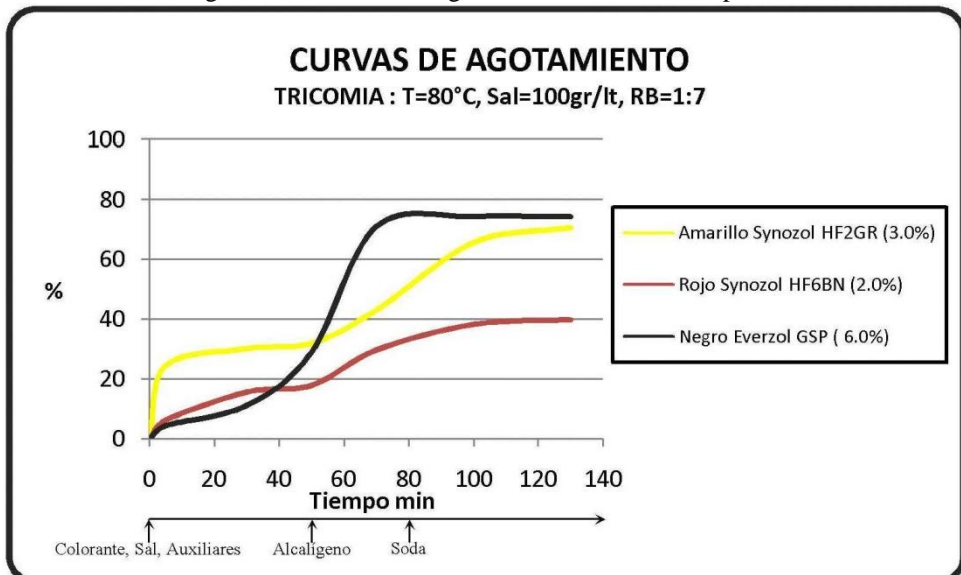


Figura 5.6.50 Curva de agotamiento en tricómia.

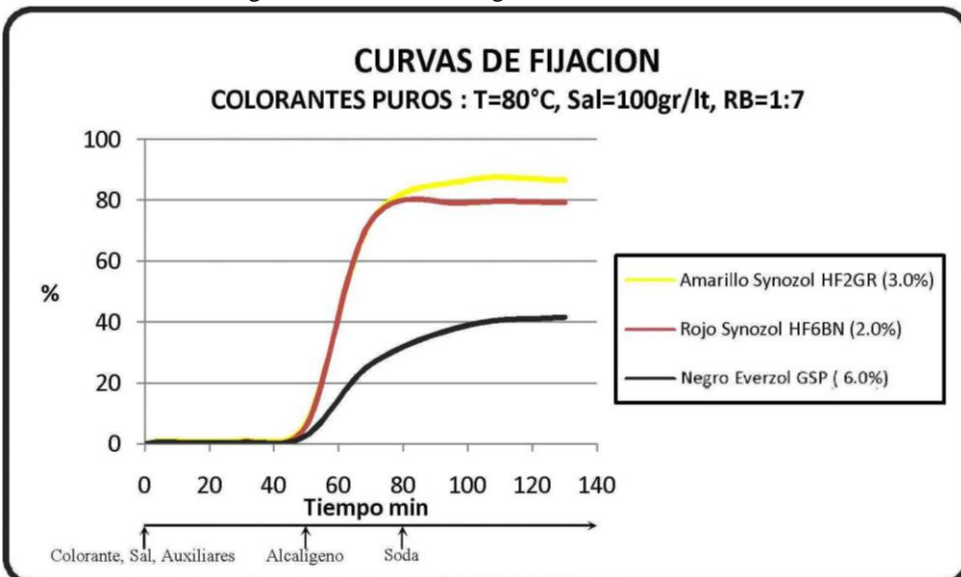


Figura 5.6.51 Curva de fijación de colorantes puros.

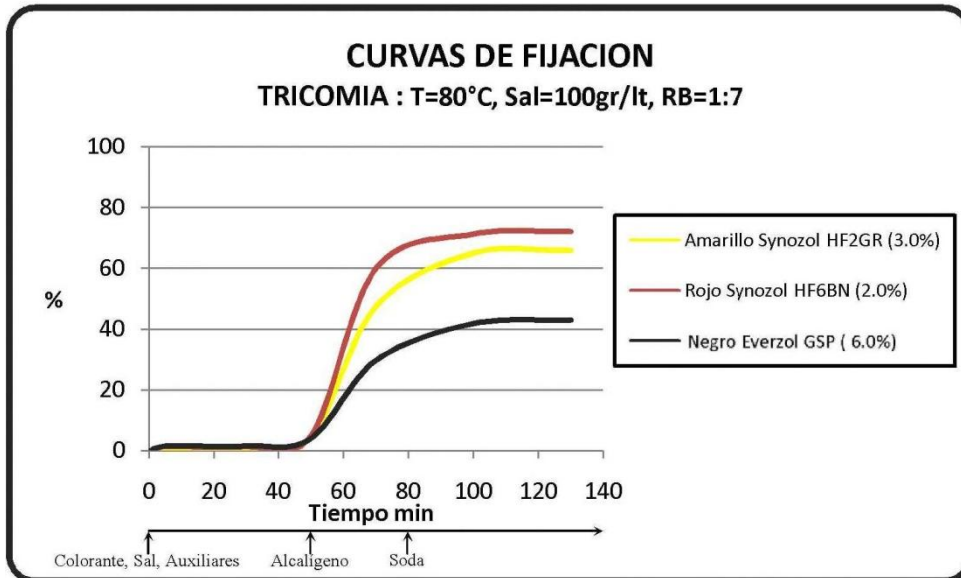


Figura 5.6.52 Curva de fijación en tricromía.

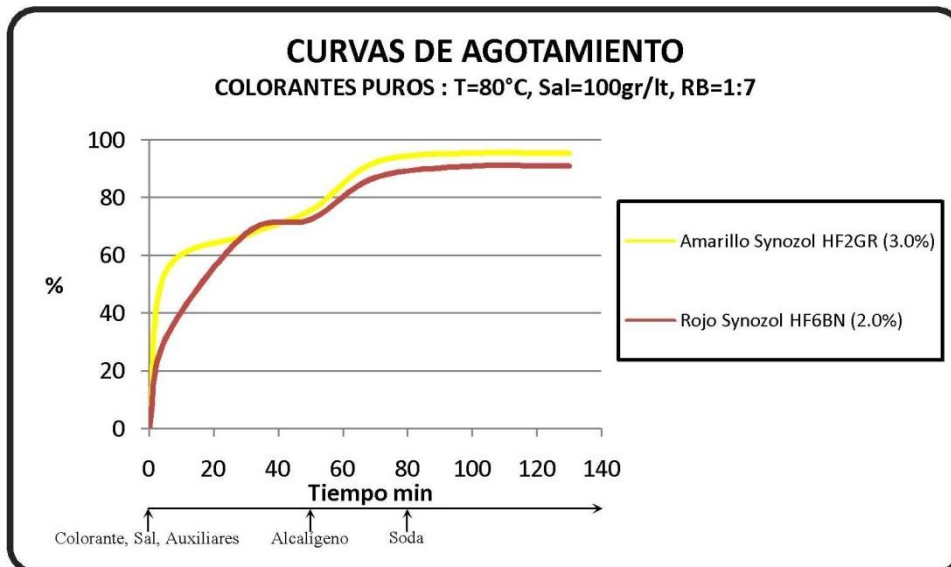


Figura 5.6.53 Curva de agotamiento de colorantes puros.

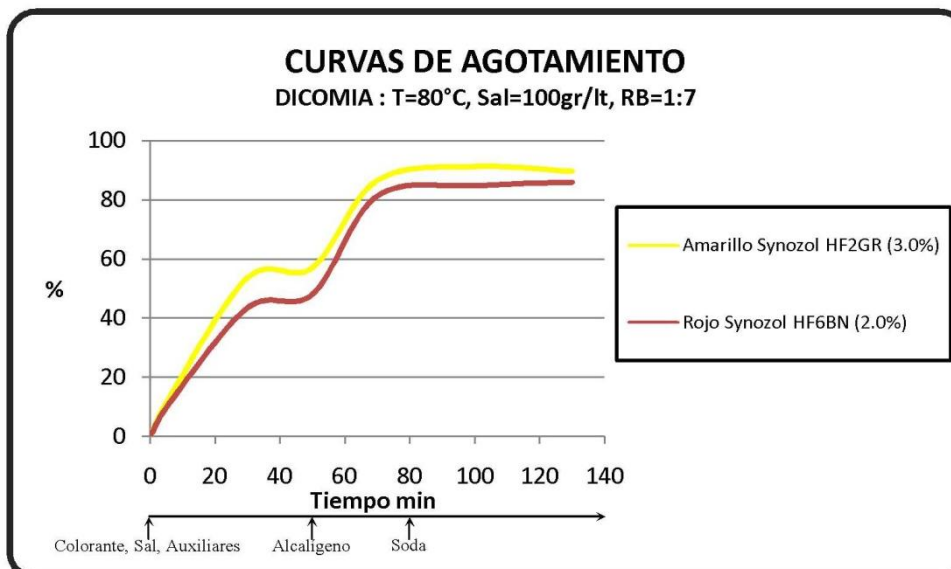


Figura 5.6.54 Curva de agotamiento en dicromía.

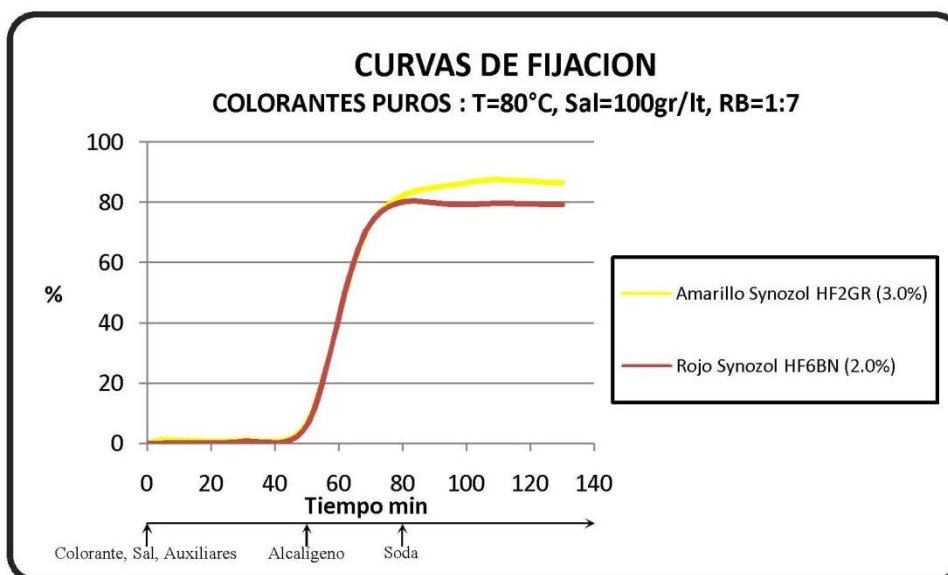


Figura 5.6.55 Curva de fijación de colorantes puros.

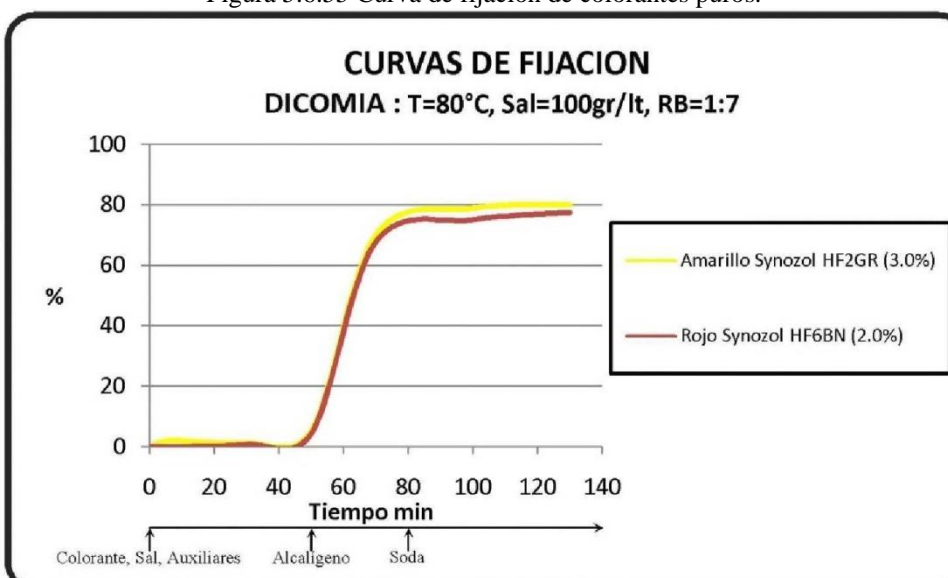


Figura 5.6.56 Curva de fijación en dicomía.

Dependencia de la sal común:

La dependencia del electrolito en la tintura son mostrados en los siguientes gráficos. Curvas de agotamiento con sal a 50g/L, 100g/L y 150g/L para cada colorante fueron, Amarillo Synozol HF2GR al 1.5% en la Figura 5.6.57 puro y en tricomía en la Figura 5.6.58, sus comportamiento en la fijación en las Figuras 5.6.59 puro y 5.6.60 en tricomía. El Rojo Synozol HF6BN al 1.0% % en la Figura 5.6.61 puro y en tricomía en la Figura 5.6.62, sus curvas en la fijación en las Figuras 5.6.63 puro y 5.6.64 en tricomía y el Negro Everzol GSP al 6.0% en la Figura 5.6.65 agotamiento puro, Figura 5.6.66 agotamiento en tricomía, Figura 5.6.67 en fijación puro y Figura 5.6.68 en fijación tricomía.

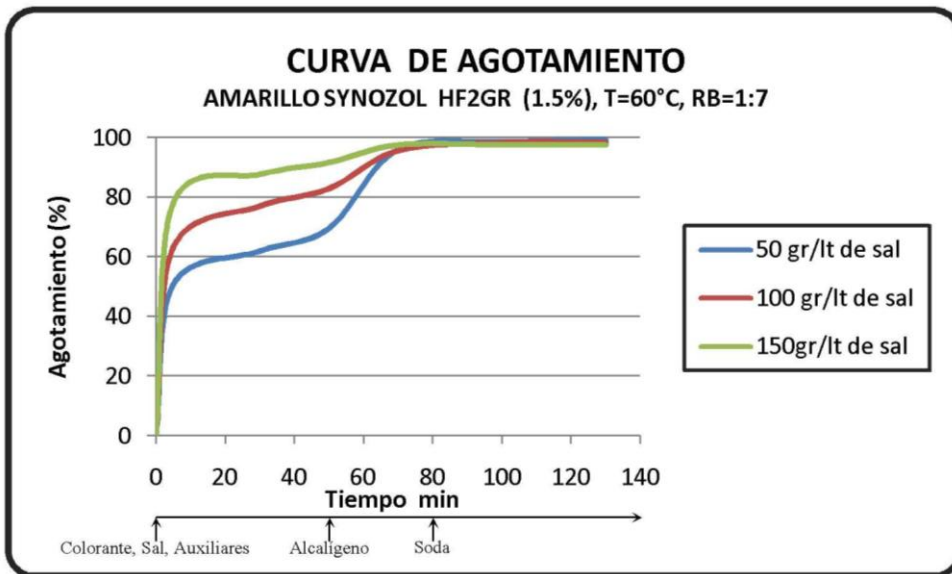


Figura 5.6.57 %Agotamiento vs concentración de sal en el Amarillo Synozol HF2GR.

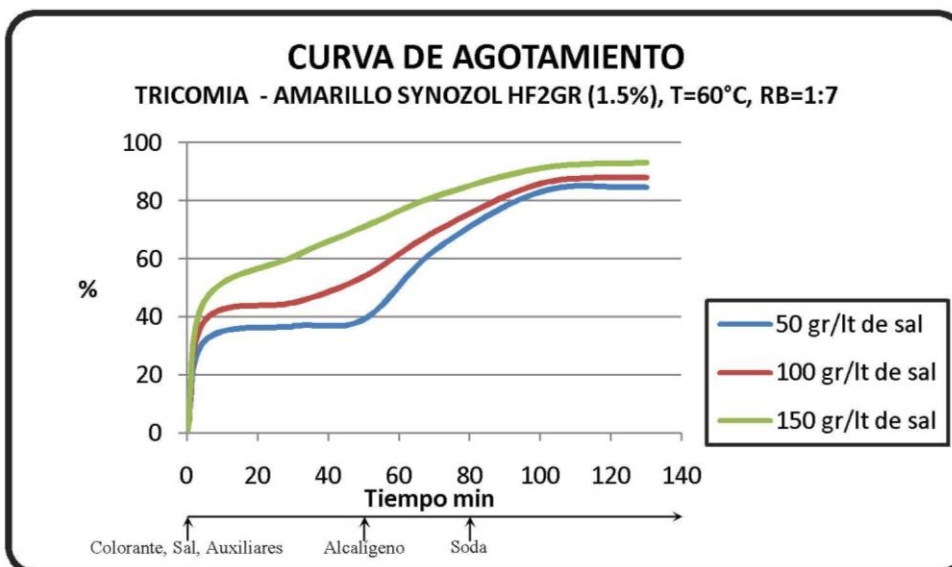


Figura 5.6.58 %Agotamiento vs concentración de sal en el Amarillo Synozol HF2GR. en tricómia.

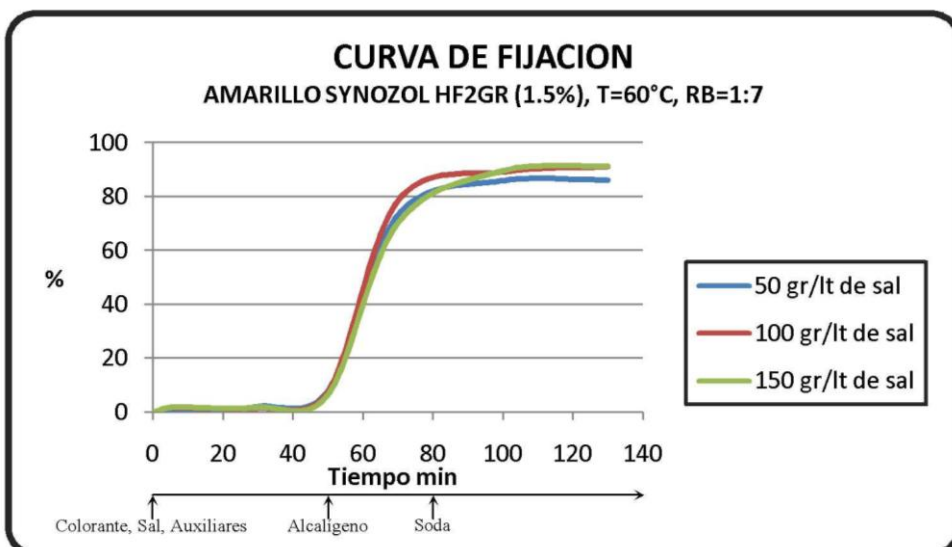


Figura 5.6.59 %Fijación vs concentración de sal en el Amarillo Synozol HF2GR.

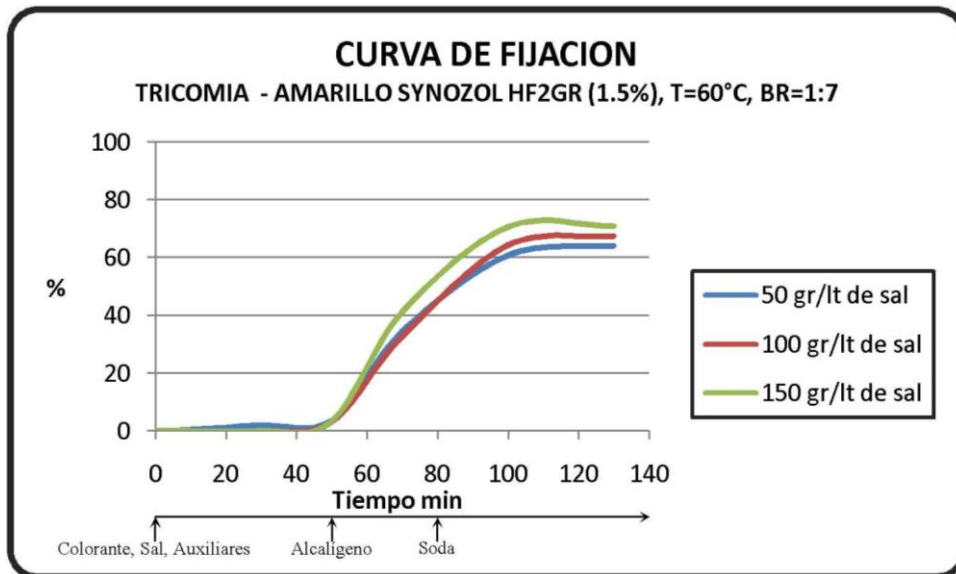


Figura 5.6.60 %Fijación vs concentración de sal en el Amarillo Synozol HF2GR. en tricómia.

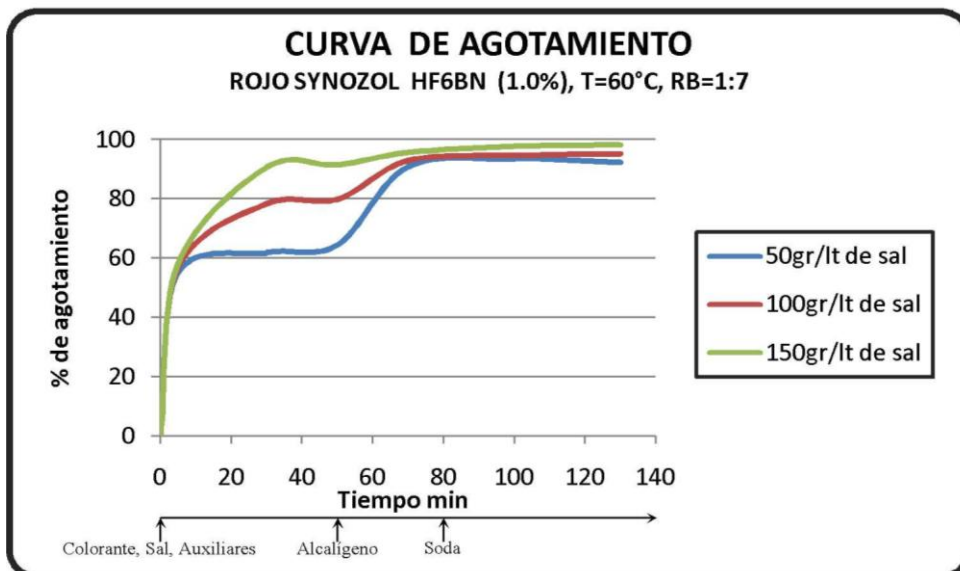


Figura 5.6.61 %Agotamiento vs concentración de sal en el Rojo Synozol HF6BN.

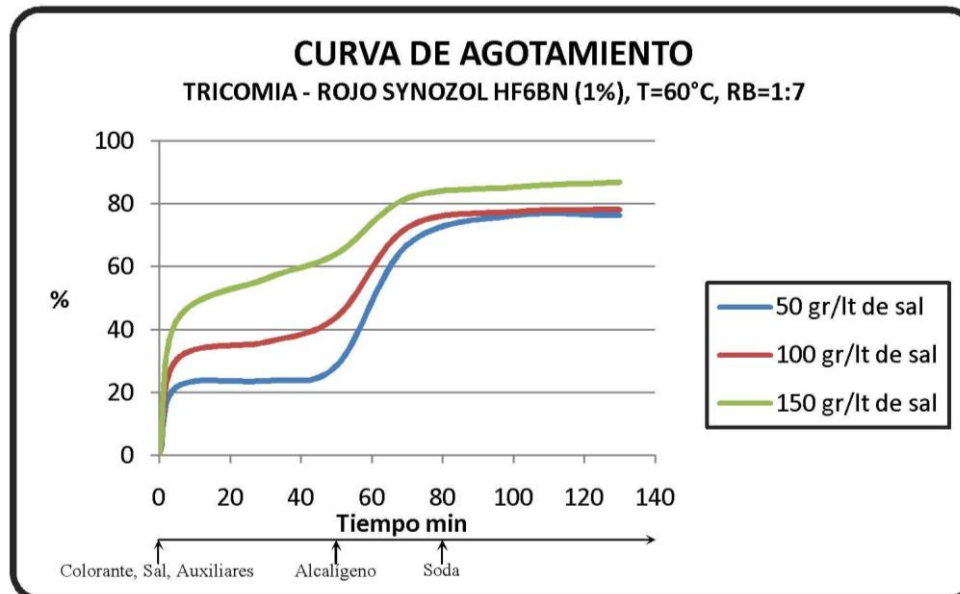


Figura 5.6.62 %Agotamiento vs concentración de sal en el Rojo Synozol HF6BN en tricómia.

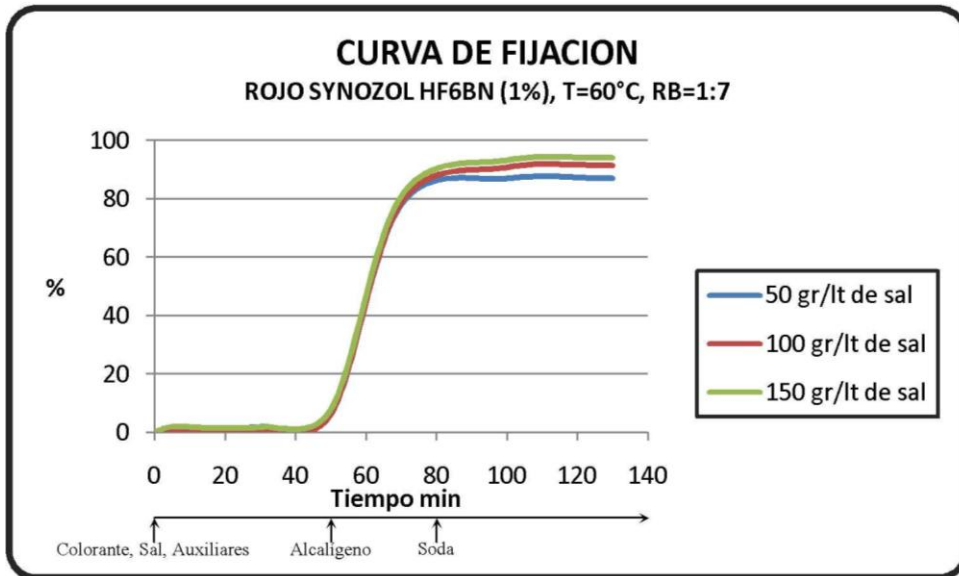


Figura 5.6.63 %Fijación vs concentración de sal en el Rojo Synzol HF6BN.

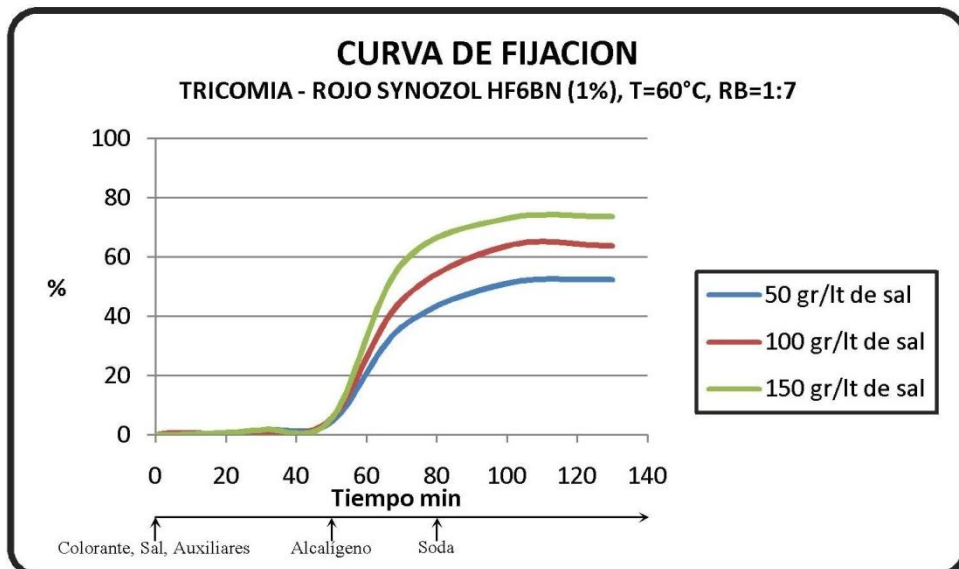


Figura 5.6.64 %Fijación vs concentración de sal en el Rojo Synzol HF6BN en tricomía.

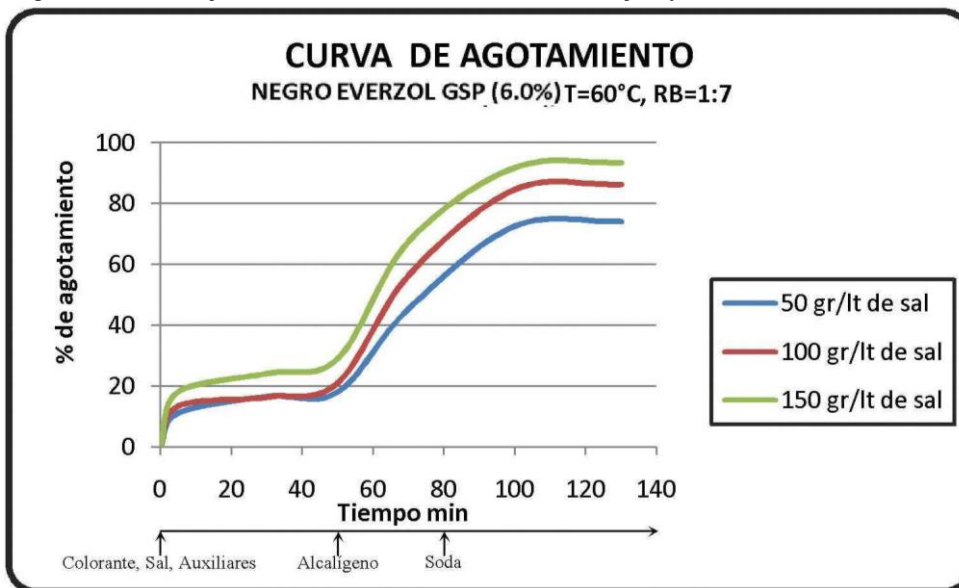


Figura 5.6.65 %Agotamiento vs concentración de sal en el Negro Everzol GSP..

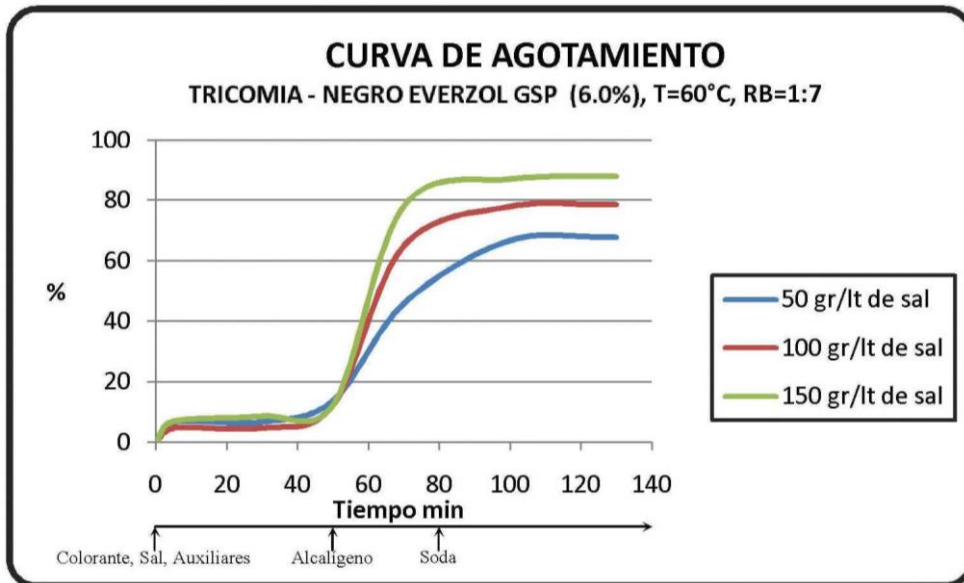


Figura 5.6.66 % Agotamiento vs concentración de sal en el Negro Everzol GSP.

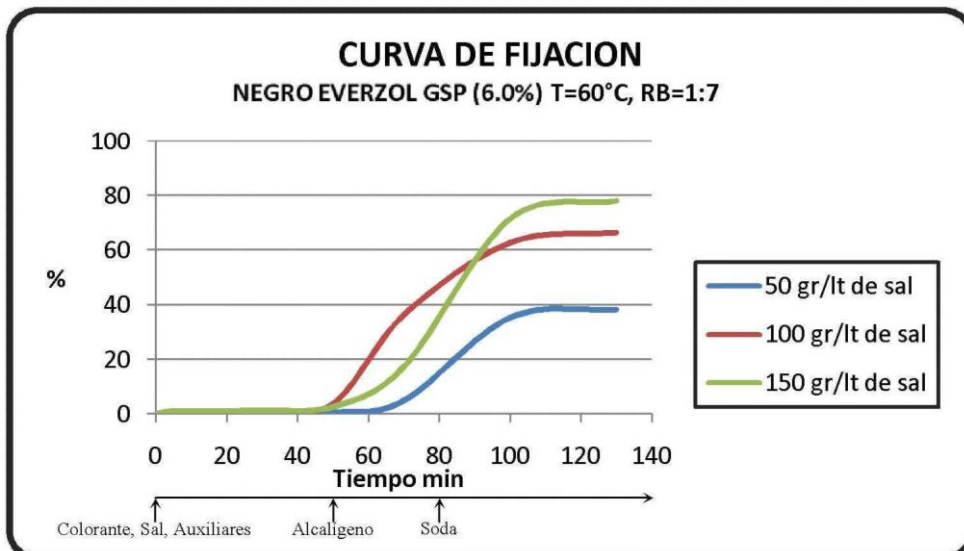


Figura 5.6.67 %Fijación vs concentración de sal en el Negro Everzol GSP.

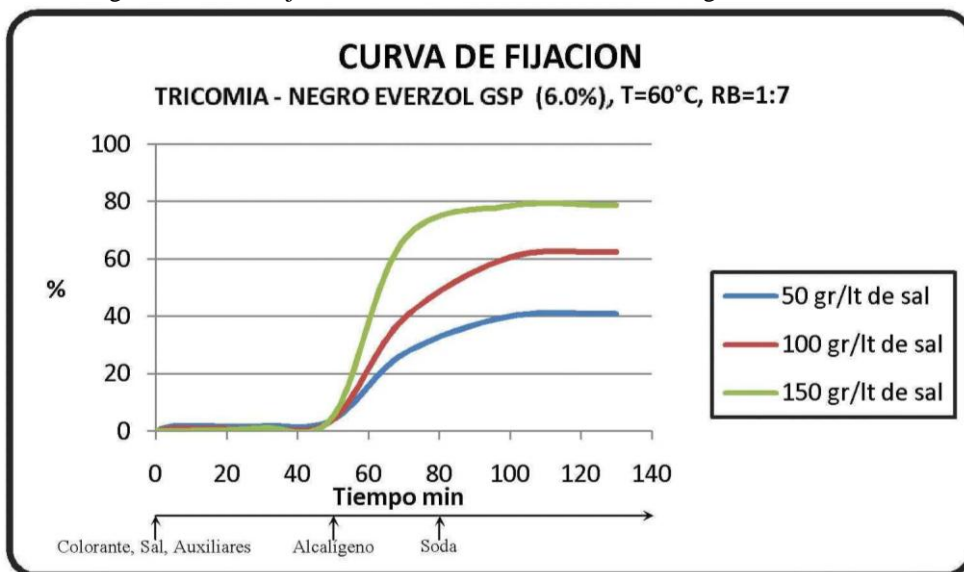


Figura 5.6.68 %Fijación vs concentración de sal en el Negro Everzol GSP en tricomía.

Con las curvas de agotamiento y fijación podemos graficar el comportamiento de su agotamiento máximo vs la cantidad de electrolito usado para poder visualizar su tendencia de difusión del colorante, es de esperar mayores tendencia cuando estén puros que en tricomía, debido a las interferencias que existen con los otros colorantes en su difusión en la fibra de algodón. La Figura 5.6.69 muestra el % de agotamiento máximo vs Concentración de sal con valores de 50g/L, 100g/L y 150g/L para el Amarillo Synozol HF2GR al 1.5%, el Rojo Synozol HF6BN al 1.0% % en la Figura 5.6.71 y el Negro Everzol GSP al 6.0% en la Figura 5.6.73 respectivamente. La figuras 5.6.70, 5.6.72 y 5.6.74 son curvas de fijación para cada tipo de colorante tanto como colorante puro como en tricomía.

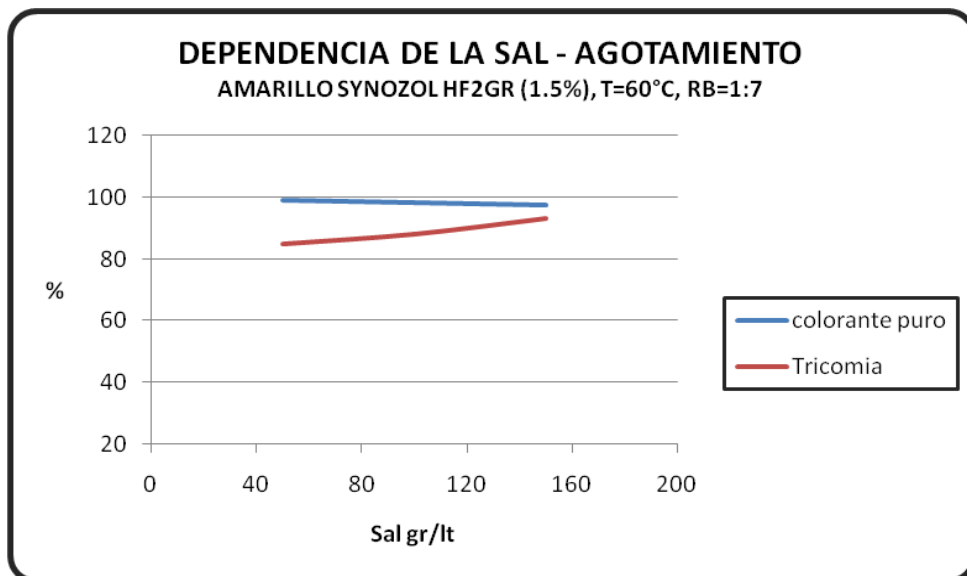


Figura 5.6.69 %Agotamiento máximo vs concentración de sal en el Amarillo Synozol HF2GR.

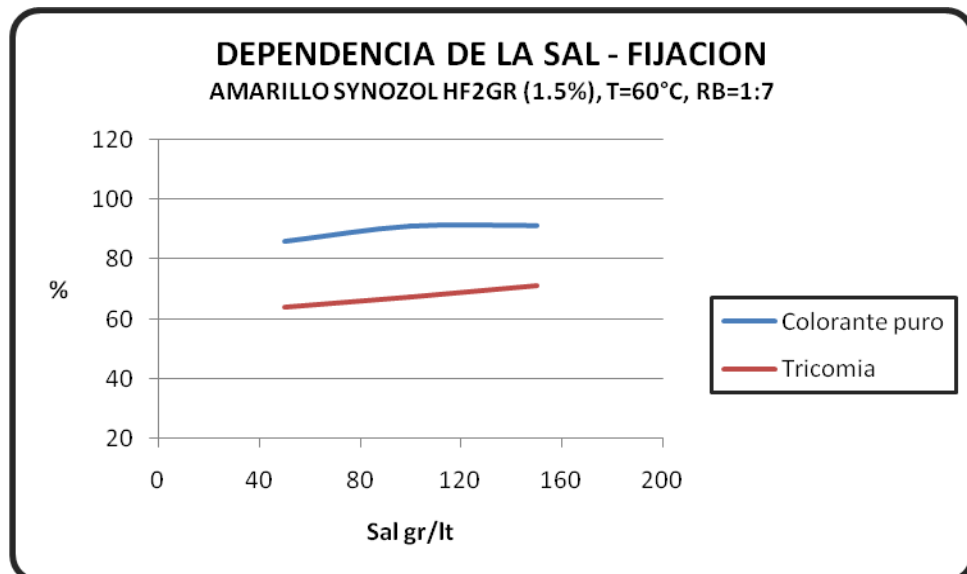


Figura 5.6.70 %Fijación máximo vs concentración de sal en el Amarillo Synozol HF2GR.

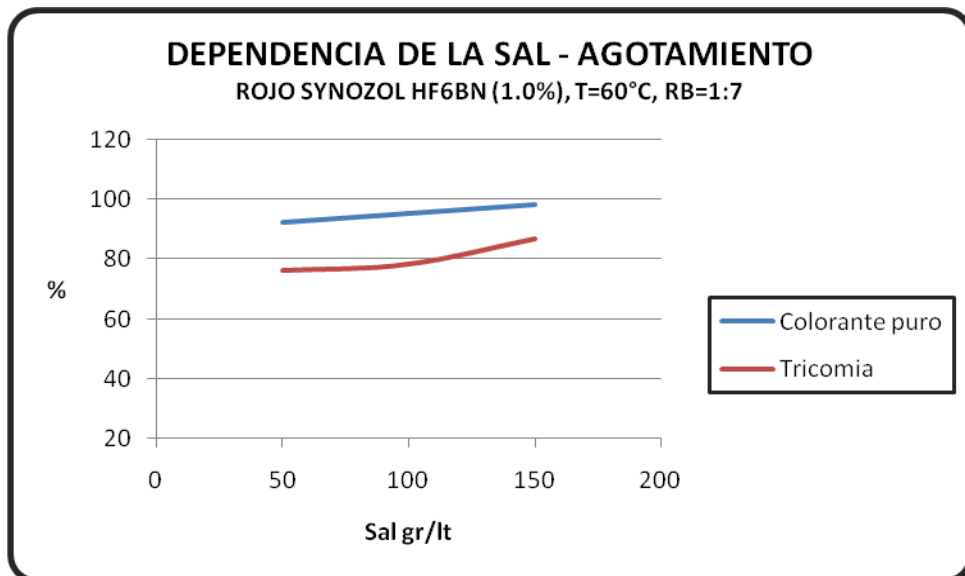


Figura 5.6.71 %Agotamiento máximo vs concentración de sal en el Rojo Synozol HF6BN.

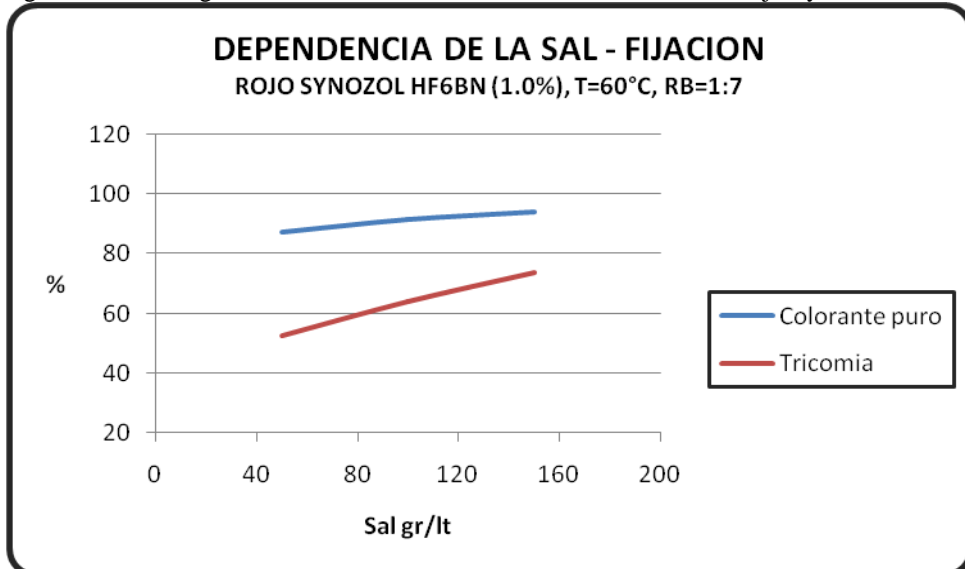


Figura 5.6.72 %Fijación máximo vs concentración de sal en el Rojo Synozol HF6BN.

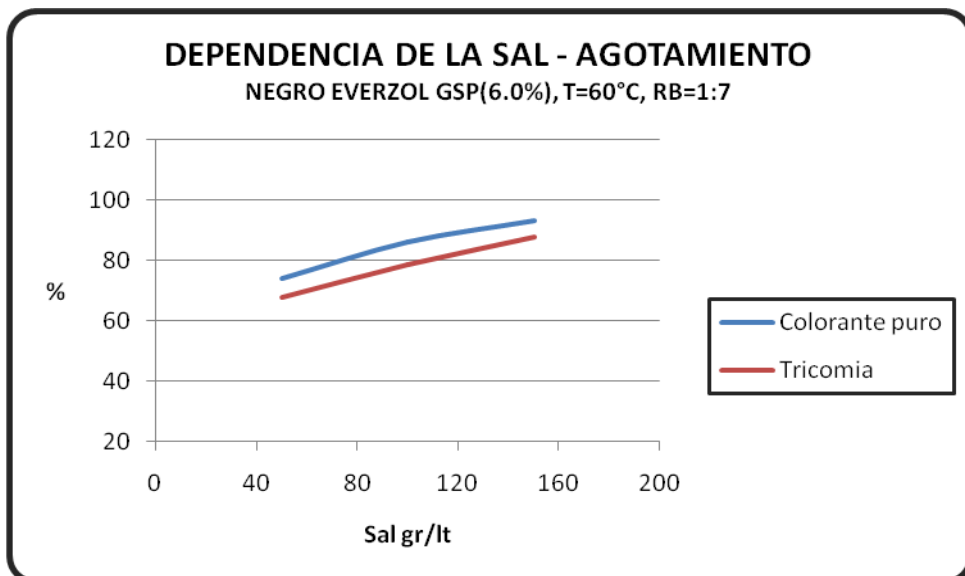


Figura 5.6.73 %Agotamiento máximo vs concentración de sal en el Negro Everzol GSP.

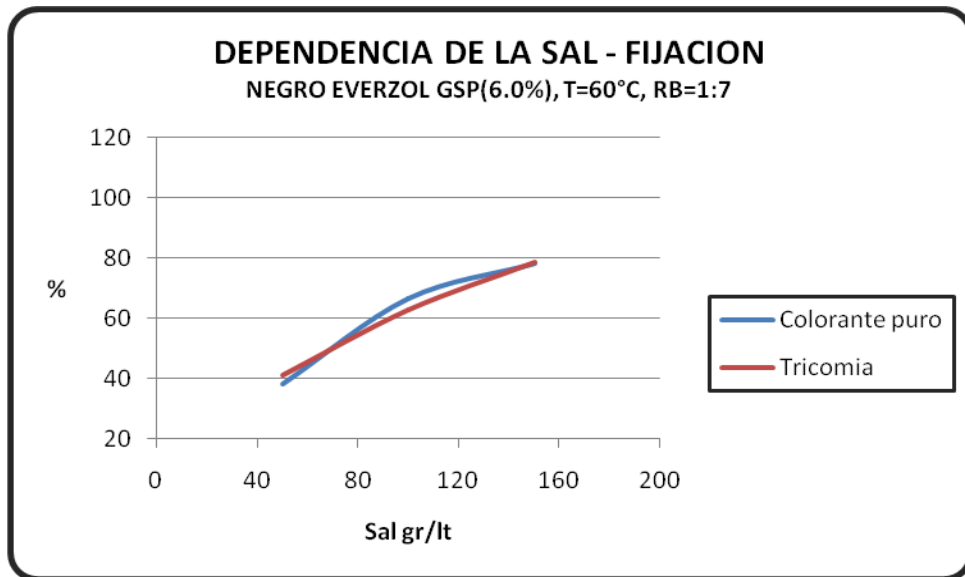


Figura 5.6.74 %Fijación máximo vs concentración de sal en el Negro Everzol GSP.

Dependencia de la temperatura:

La dependencia de la temperatura en el proceso de tintura es fundamental, por ellos las figuras 5.6.75, 5.6.76 muestran los % de agotamiento siguiendo la curva de tintura, a las siguientes temperaturas 40°C, 60°C y 80°C, tanto puro como en tricómia para el Amarillo Synozol HF2GR al 1.5%, en la figura 5.6.77 y 5.6.78 sus curvas de fijación a colorante puro y tricómia respectivamente. Para el caso del El Rojo Synozol HF6BN al 1.0% % y el Negro Everzol GSP al 6.0% son mostrados en las Figuras 5.6.79 y 5.6.83 en agotamiento puro, Figuras 5.6.80 y 5.6.84 en comportamiento con tricómia. Las Figuras 5.6.81 y 5.6.85 curvas en grado de fijación en colorante puro y por último las Figuras 5.6.82 y 5.6.86 en fijación con sus tricomías respectivamente.

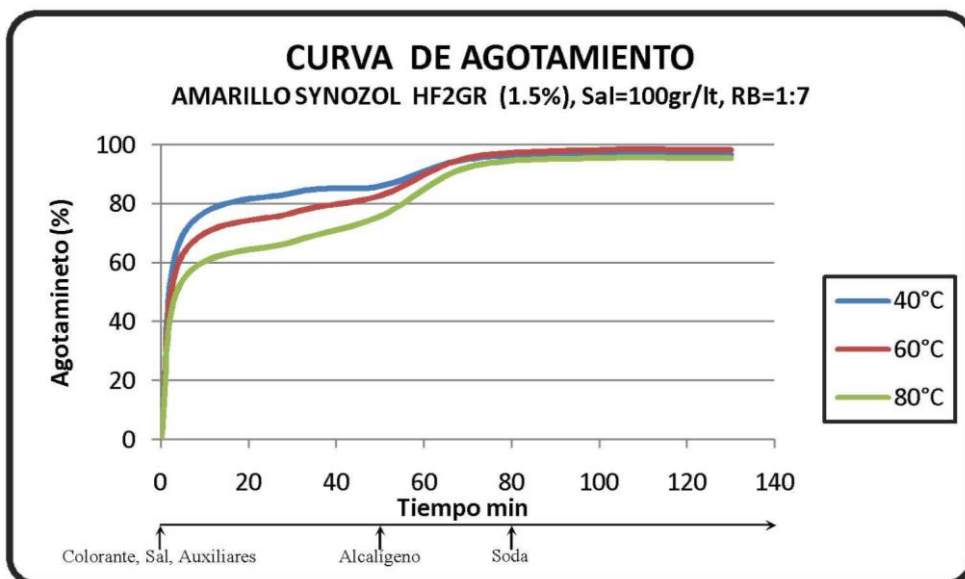


Figura 5.6.75 %Agotamiento vs temperatura en el Amarillo Synozol HF2GR.

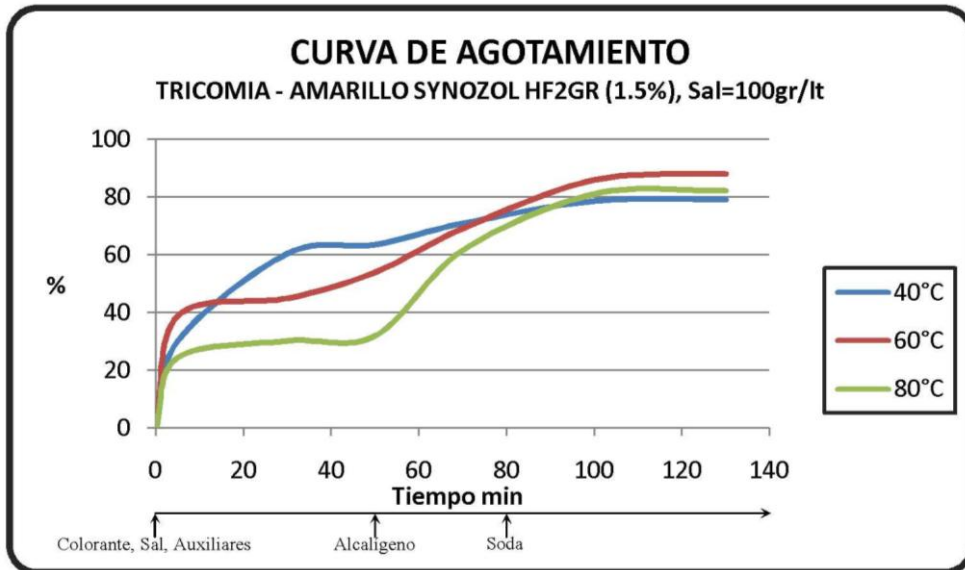


Figura 5.6.76 %Agotamiento vs temperatura en el Amarillo Synozol HF2GR en tricomía.

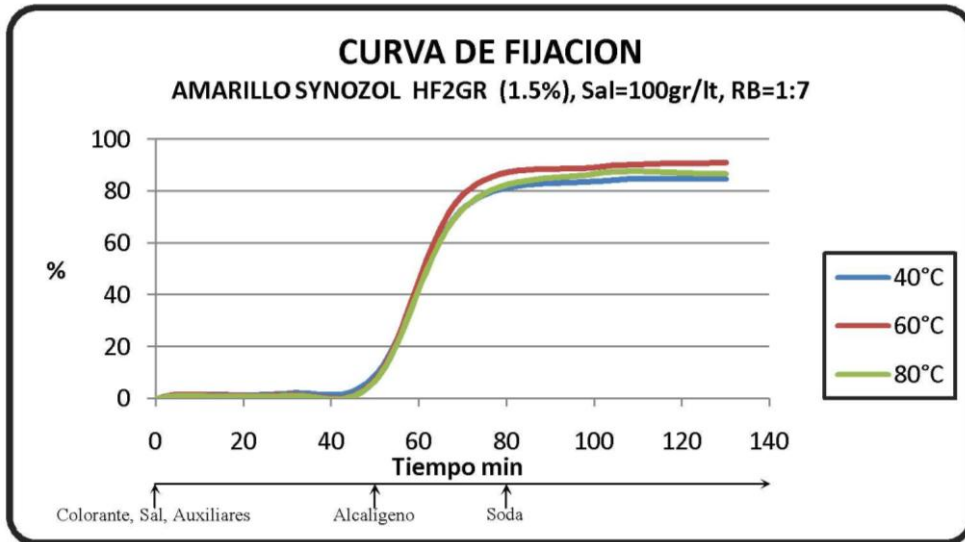


Figura 5.6.77 %Fijación vs temperatura en el Amarillo Synozol HF2GR.

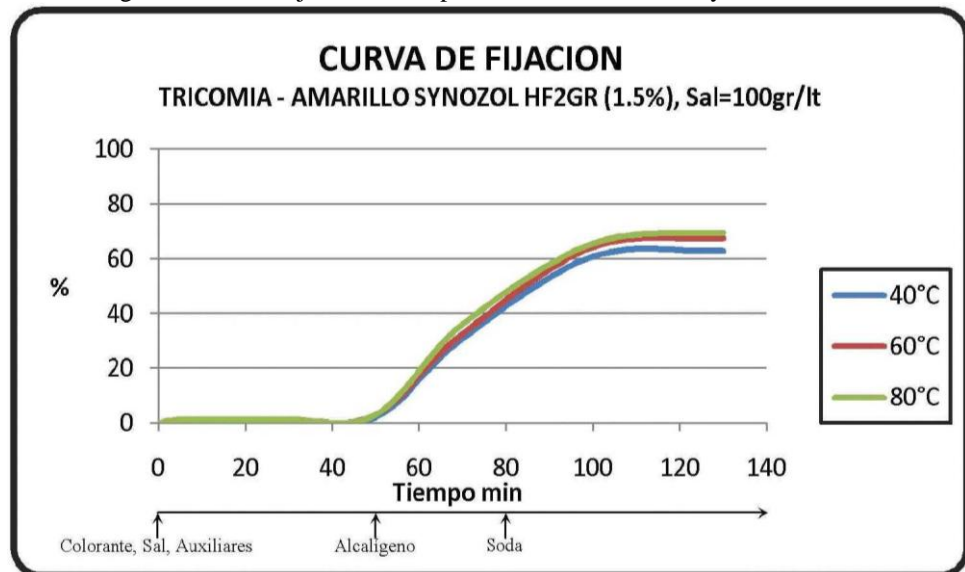


Figura 5.6.78 %Fijación vs temperatura en el Amarillo Synozol HF2GR en tricomía.

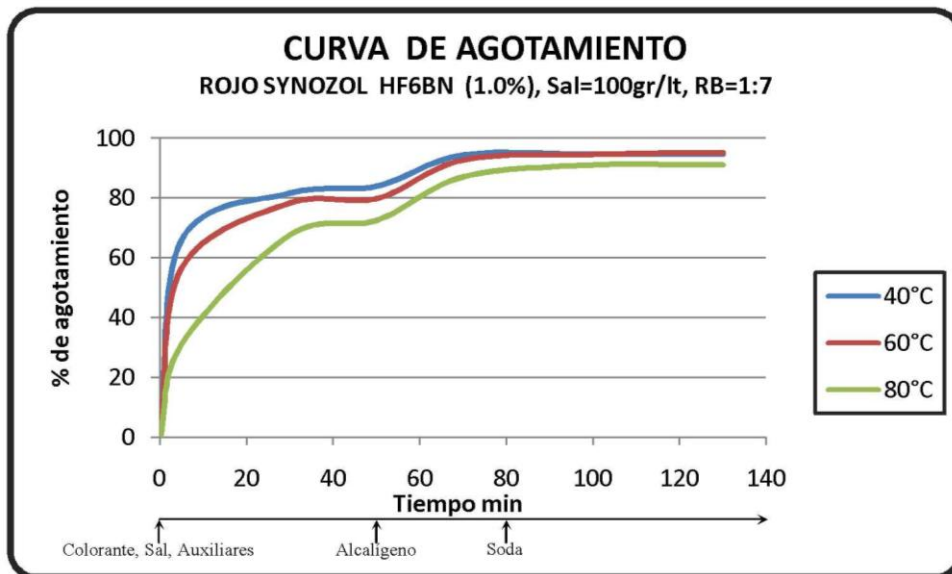


Figura 5.6.79 %Agotamiento vs temperatura en el Rojo Synozol HF6BN.

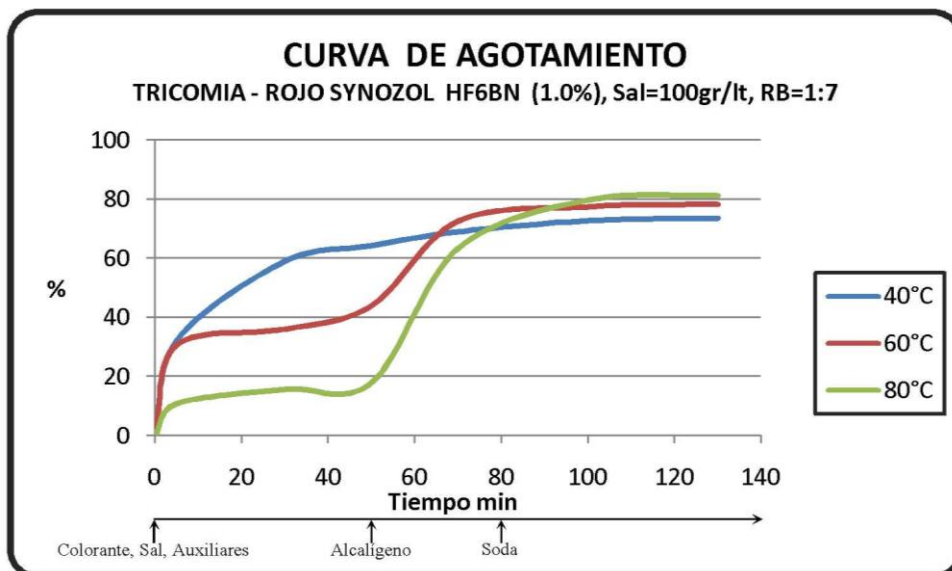


Figura 5.6.80 %Agotamiento vs temperatura en el Rojo Synozol HF6BN en tricomía.

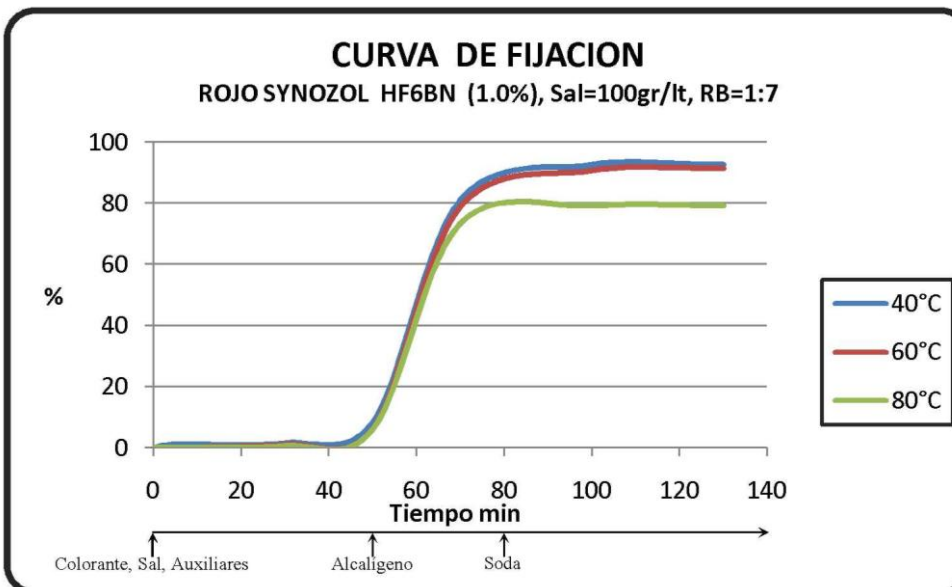


Figura 5.6.81 %Fijación vs temperatura en el Rojo Synozol HF6BN.

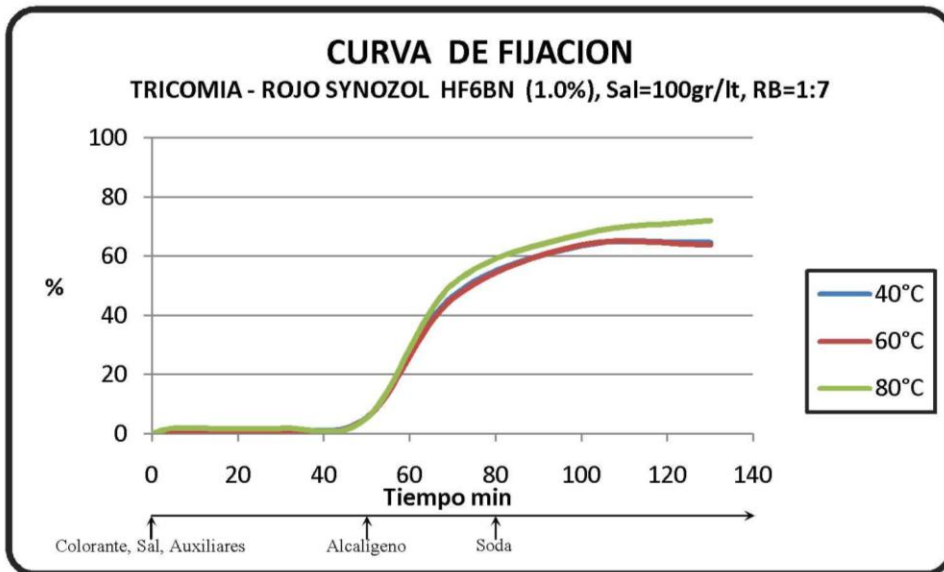


Figura 5.6.82 %Fijación vs temperatura en el Rojo Synzol HF6BN en tricomía.

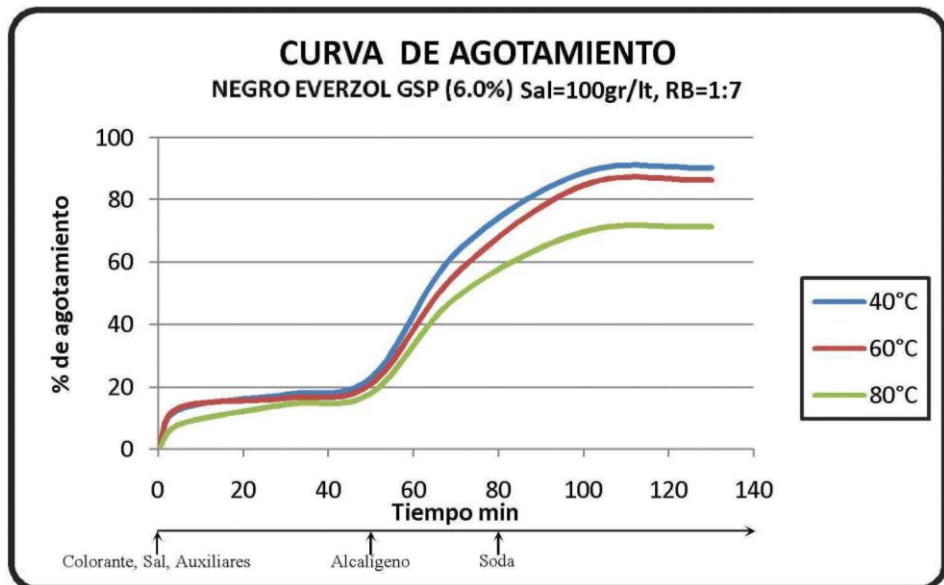


Figura 5.6.83 %Agotamiento vs temperatura en el Negro Everzol GSP.

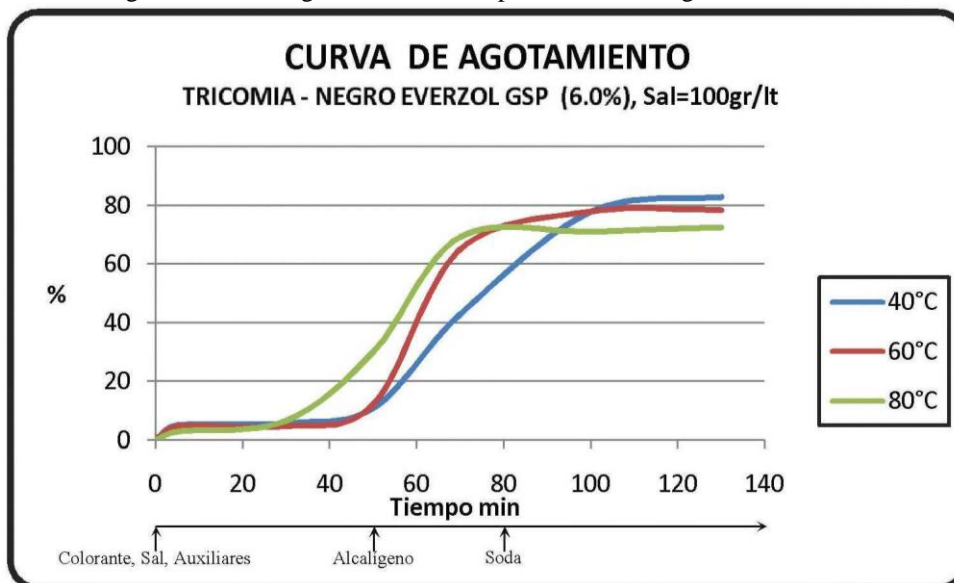


Figura 5.6.84 %Agotamiento vs temperatura en el el Negro Everzol GSP en tricomía.

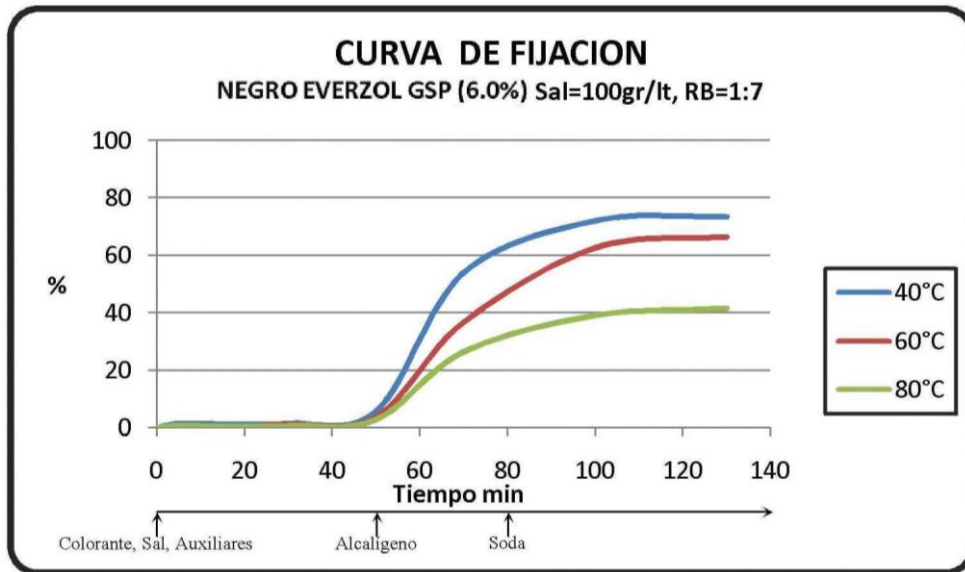


Figura 5.6.85 %Fijación vs temperatura en el Negro Everzol GSP.

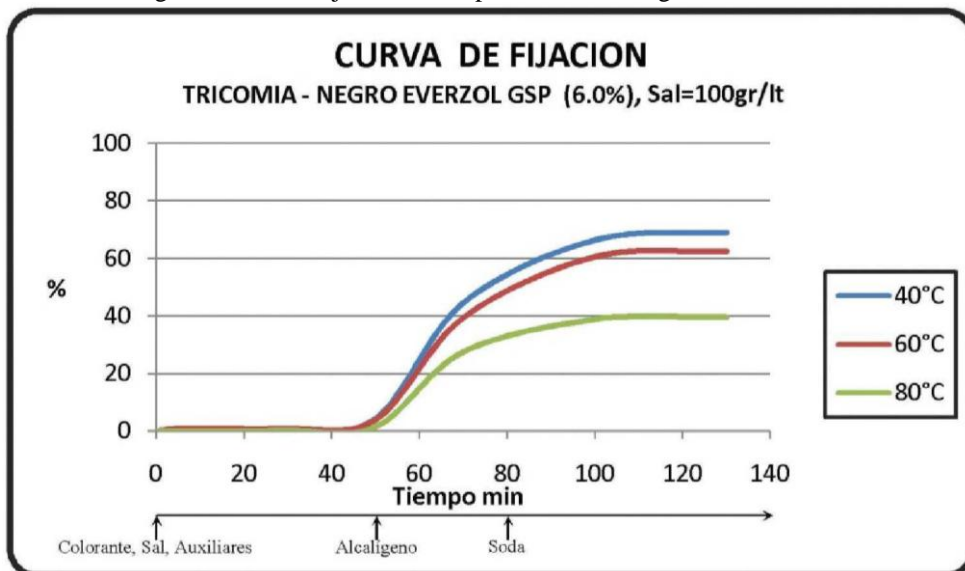


Figura 5.6.86 %Fijación vs temperatura en el Negro Everzol GSP en tricomía.

En las Figuras 5.6.87 y 5.6.88 pueden observarse las dependencias entre el % de agotamiento máximo y % de fijación máximo del colorante Amarillo Synozol HF2GR al 1.5% y un rango de temperatura de tintura desde 40°C a 80°C, en modo puro como en tricomía, para una concentración de sal de 100g/L y una relación de baño de 1:7. De igual manera se grafico las tendencias del Rojo Synozol HF6BN al 1.0% y del Negro Everzol GSP al 6%. Las figuras 5.6.89 y 5.6..91 muestran los % de agotamiento máximo vs temperatura y las Figuras 5.6.790 y 5.6.92 se observa las dependencias para el grado de fijación tanto en colorante puro como en tricomía.

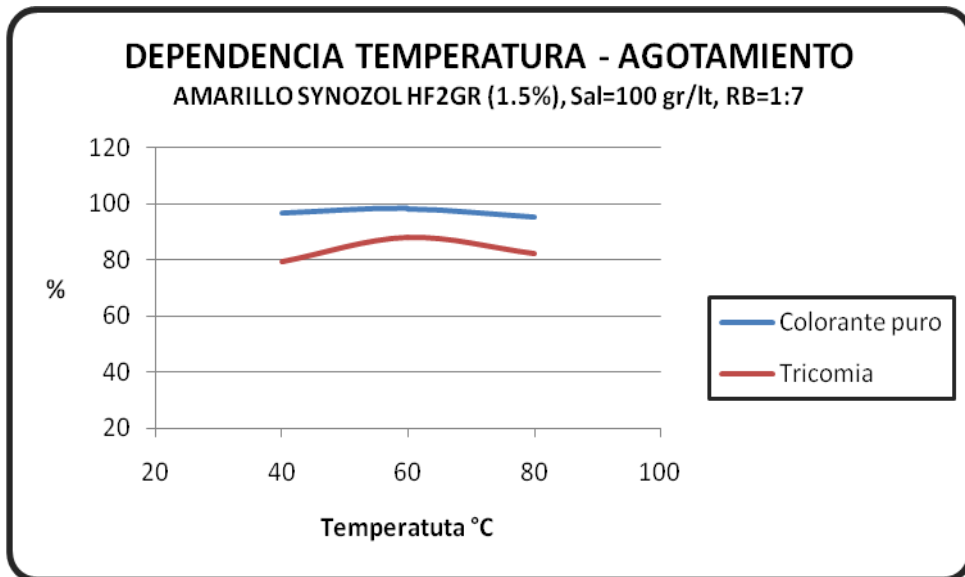


Figura 5.6.87 %Agotamiento máximo vs temperatura en el Amarillo Synozol HF2GR.

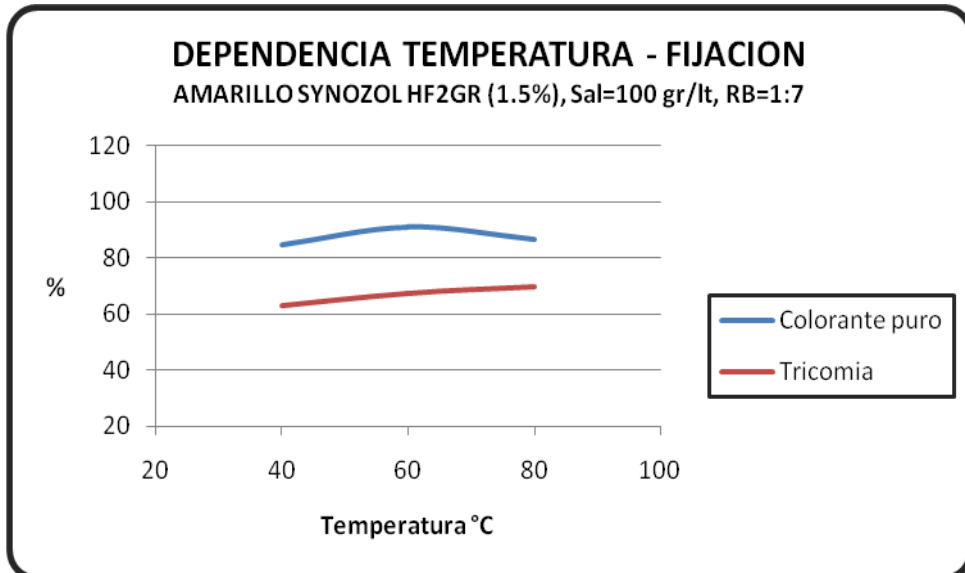


Figura 5.6.88 %Fijación máximo vs temperatura en el Amarillo Synozol HF2GR.

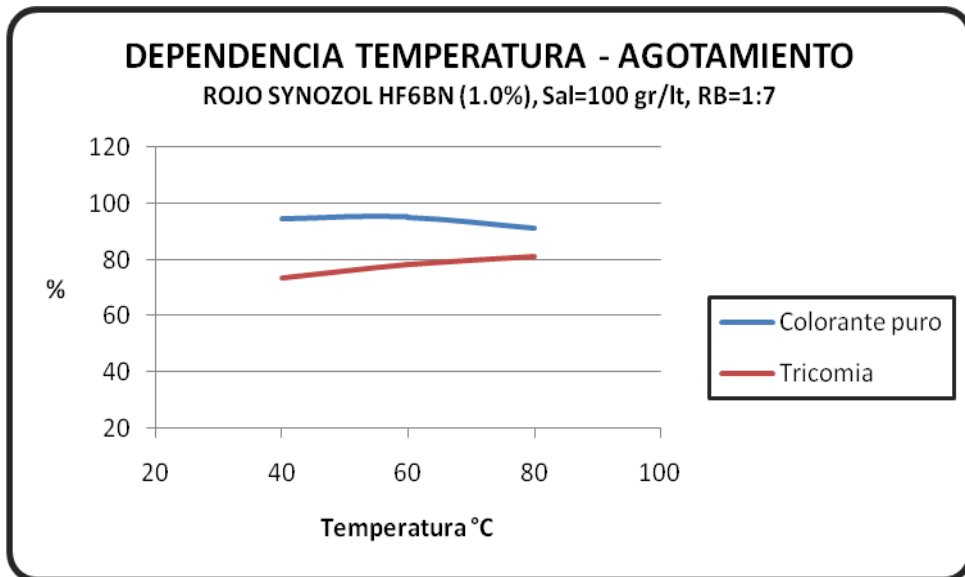


Figura 5.6.89 %Agotamiento máximo vs temperatura en el Rojo Synozol HF6BN.

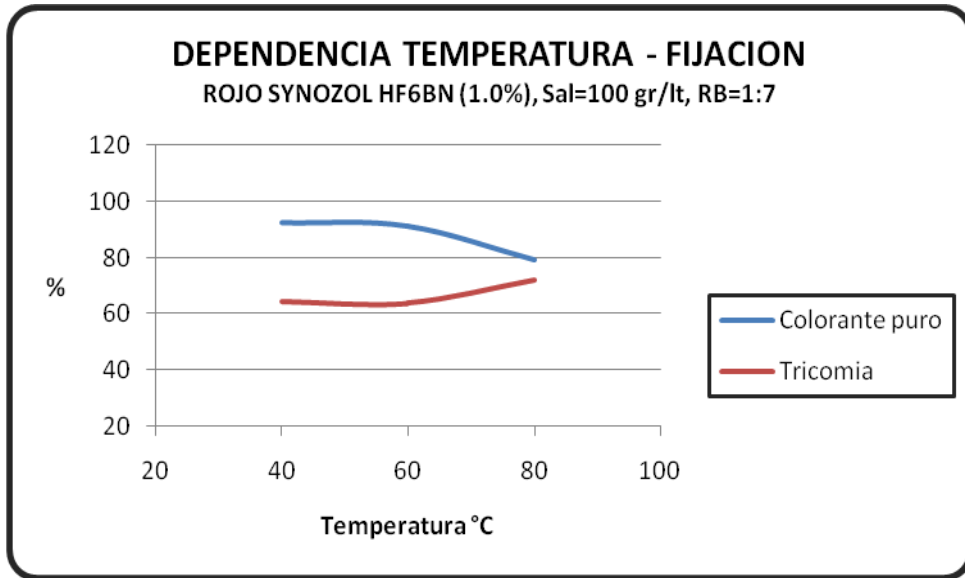


Figura 5.6.90 %Fijación máximo vs temperatura en el Rojo Synozol HF6BN.

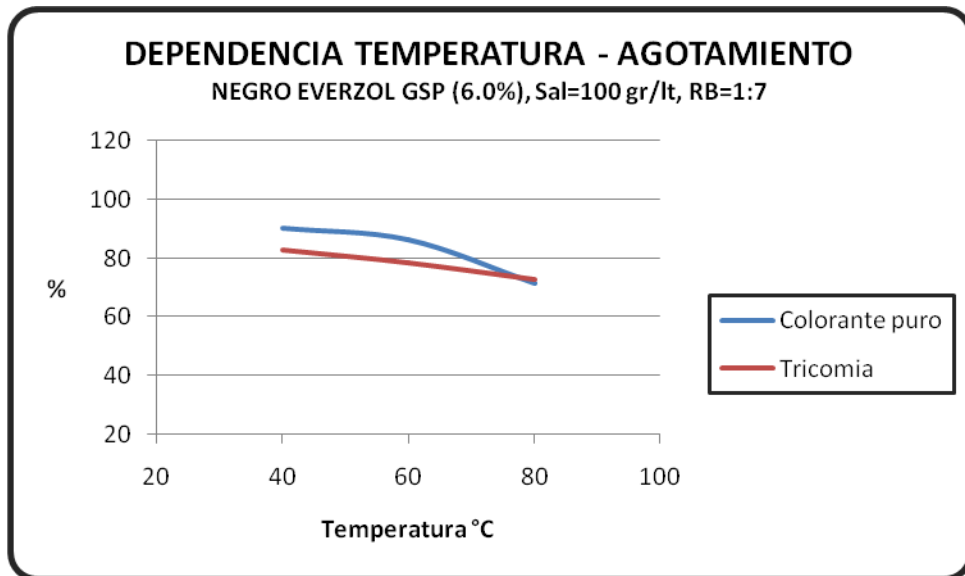


Figura 5.6.91 %Agotamiento máximo vs temperatura en el Negro Everzol GSP.

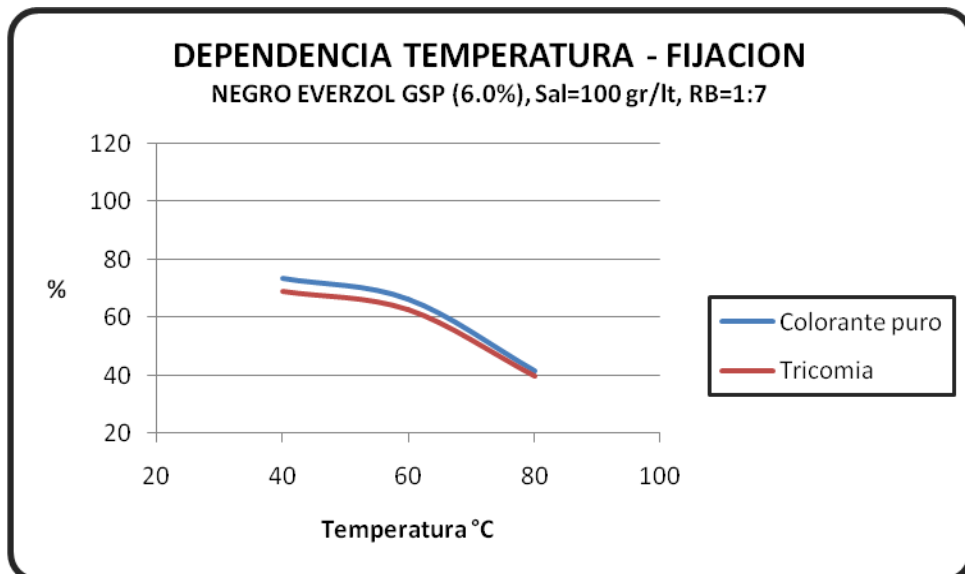


Figura 5.6.92 %Fijación máximo vs temperatura en el Negro Everzol GSP.

CAPÍTULO VI

En este capítulo se desarrolla el tratamiento de resultados experimentales según los modelos teóricos que rigen el proceso de tintura de colorantes textiles, para el cual se utilizó el programa estadístico SPSS 15.0 para el procesamiento de los datos obtenidos experimentalmente y obtener las curvas y constantes por regresión respectivas. (Capítulo V).

6.1. TRATAMIENTO DE RESULTADOS

1.- Rectas de linealidad de colorantes:

Modelos de regresión: $Y = A \cdot X + B$, Donde A y B son ctes.

En la tabla 6.1.1 se muestra los parámetros de calibración de los colorantes, como las constantes A y B de la recta para cada colorante.

Tabla 6.1.1 Parámetros de linealidad de los colorantes.

Amarillo Synozol HF2GR:

Longitud de onda λ (nm)	Temperatura (°C)	A	B	R ²
417 nm	30°C	0.007	0.000	0.999

Rojo Synozol HF6BN:

Longitud de onda λ (nm)	Temperatura (°C)	A	B	R ²
417 nm	30°C	0.222	0.000	0.986
543 nm	30°C	0.049	0.000	0.999

Negro Everzol GSP:

Longitud de onda λ (nm)	Temperatura (°C)	A	B	R ²
417 nm	30°C	0.078	0.000	0.999
600 nm	30°C	0.047	0.000	0.999

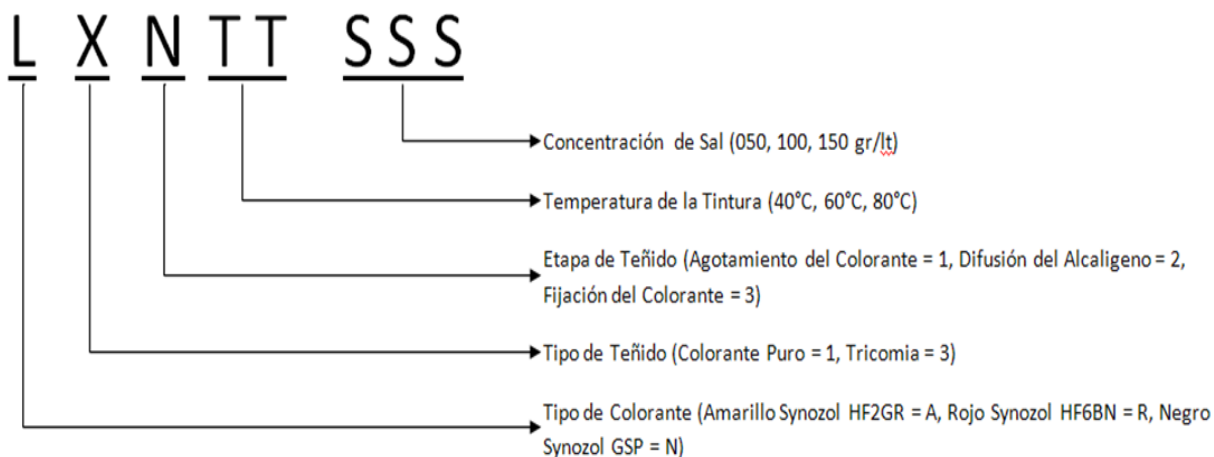
Modelos Matemáticos de Agotamiento y fijación de colorantes textiles^(11,13,14,15,16,17,22):

Modelo	Ecuación	Información Adicional
Orden de Reacción	$\frac{\partial C_A}{\partial t} = -kC_A^n$	$2.0 \leq n \leq 0.0$
Exponencial	$\frac{M_t}{M_\infty} = 1 - \exp(-kt)$	
Parabólica	$\frac{M_t}{M_\infty} = kt^{1/2}$	
Hiperbólica	$\frac{1}{(M_\infty - M_t)} - \frac{1}{M_\infty} = kt$	
Vickerstaff	$\frac{M_t}{M_\infty} = 1 - \exp(-kt)$	
McGregor	$(M_\infty - M_t) = \exp(-k \cdot t)$	
Etters-Ubanik	$\frac{M_t}{M_\infty} = 1 - \exp(-kt^a)$	$a=1/2$
Rais	$\frac{M_t}{M_\infty} = \tanh(kt)$	
Cegarra-Puente	$\frac{M_t}{M_\infty} = [1 - \exp(-kt)]^{1/2}$	
Cegarra-Puente Modificada	$\frac{M_t}{M_\infty} = [1 - \exp(-kt)^a]^{1/2}$	

2.- Determinación de constantes cinéticas de tinturas.

Se realizó las regresiones respectivas agrupadas en tres categorías a los colorantes reactivos Amarillo Synozol HF2GR, Rojo Synozol HF6BN y el Negro Everzol GSP (ver Tablas 6.1.3, 6.1.4, 6.1.5). Para poder resumir el procesamiento de datos se utilizo unos identificadores (ID) tal como se muestran en la Tabla 6.1.2.

Tabla 6.1.2 Codificadores de las muestras de tintura.



6.2. Regresiones cinéticas de los colorantes.

TABLA 6.1.3 REGRESIONES CINÉTICAS DE AMARILLO SYNOZOL HF2GR

REGRESIONES CINÉTICAS

ID	PARABOLICA		EXPONENCIAL		URBANIK			CEGARRA		HIPERBOLICA		CEGARRA MODIFICADA		
	K	R2	K	R2	K	a	R2	K	R2	K	R2	K	a	R2
AP160100	0.163	0.715	0.284	0.992	0.725	0.415	0.998	0.168	0.993	17.699	0.998	0.149	0.553	0.998
AP260100	0.131	0.867	0.087	0.990	0.005	1.940	0.990	0.059	0.999	47.505	0.990	0.052	3.287	0.999
AP360100	0.119	0.982	0.042	0.991	0.011	1.387	0.990	0.025	0.963	2.814	0.934	0.028	1.988	0.999
AP160050	0.160	0.744	0.261	0.980	0.687	0.392	0.995	0.145	0.982	17.449	0.994	0.251	0.534	0.995
AP260050	0.132	0.817	0.112	0.990	0.329	0.640	0.990	0.079	1.000	39.564	0.998	0.090	0.798	0.999
AP360050	0.120	0.956	0.041	0.965	0.001	2.130	0.990	0.025	0.925	3.125	0.891	0.031	2.974	0.999
AP160150	0.167	0.610	0.377	0.997	1.088	0.339	0.990	0.254	0.997	28.242	0.999	0.343	0.436	0.999
AP260150	0.137	0.731	1.119	0.990	21.157	0.027	0.999	1.083	1.000	7.942	0.979	0.667	0.409	0.999
AP360150	0.110	0.867	0.029	0.883	0.005	2.642	0.990	0.017	0.797	1.593	0.778	0.024	4.127	0.999
AP140100	0.167	0.664	0.328	0.999	0.771	0.470	0.990	0.210	0.999	23.181	0.999	0.217	0.605	0.999
AP240100	0.132	0.842	0.098	0.990	0.009	1.787	0.990	0.069	1.000	89.415	0.994	0.055	3.008	0.999
AP340100	0.129	0.904	0.073	0.990	0.054	1.096	0.990	0.047	0.998	6.737	0.986	0.046	1.430	0.999
AP180100	0.159	0.760	0.250	0.979	0.646	0.405	0.995	0.134	0.981	14.922	0.993	0.157	0.555	0.995
AP280100	0.132	0.857	0.092	0.990	0.007	1.868	0.990	0.063	0.999	41.358	0.992	0.053	3.193	0.999
AP380100	0.125	0.955	0.052	0.989	0.001	2.536	0.990	0.033	0.972	4.196	0.943	0.042	4.229	0.999
AT160100	0.156	0.744	0.254	0.952	0.718	0.340	0.985	0.133	0.956	12.108	0.979	0.095	0.472	0.986
AT260100	0.117	0.964	0.038	0.974	0.004	1.692	0.990	0.023	0.931	3.243	0.900	0.027	2.462	0.999
AT360100	0.092	0.735	0.020	0.799	0.009	5.470	0.990	0.010	0.670	1.698	0.691	0.020	23.864	0.999
AT160050	0.165	0.649	0.338	0.994	0.950	0.354	0.999	0.217	0.995	27.695	0.998	0.158	0.463	0.999
AT260050	0.121	0.970	0.044	0.983	0.005	1.680	0.990	0.027	0.953	2.651	0.921	0.031	2.362	0.999
AT360050	0.097	0.737	0.022	0.792	0.001	2.092	0.999	0.011	0.669	1.324	0.682	0.020	24.627	0.999
AT160150	0.155	0.834	0.203	0.965	0.480	0.463	0.991	0.089	0.976	6.218	0.989	0.073	0.651	0.992
AT260150	0.117	0.979	0.038	0.982	0.007	1.509	0.990	0.023	0.945	4.489	0.914	0.026	2.202	0.999
AT360150	0.106	0.713	0.026	0.750	0.003	1.426	0.995	0.014	0.643	0.894	0.923	0.021	28.701	0.999
AT140100	0.157	0.946	0.126	0.999	0.159	0.871	0.990	0.060	0.995	10.270	0.976	0.067	1.243	0.999
AT240100	0.119	0.966	0.041	0.974	0.003	1.795	0.990	0.025	0.936	15.676	0.903	0.029	2.559	0.999
AT340100	0.107	0.996	0.055	0.983	0.033	1.003	0.985	0.028	0.983	3.982	0.975	0.020	0.392	0.958
AT180100	0.164	0.712	0.287	0.995	0.705	0.441	0.999	0.172	0.995	36.876	0.999	0.093	0.583	0.999
AT280100	0.123	0.965	0.049	0.991	0.007	1.600	0.990	0.031	0.972	4.209	0.943	0.034	2.191	0.999
AT380100	0.112	0.918	0.031	0.927	0.001	2.140	0.990	0.018	0.855	1.704	0.830	0.024	3.274	0.999

TABLA 6.1.4 REGRESIONES CINÉTICAS DE ROJO SYNOZOL HF6BN

REGRESIONES CINÉTICAS														
ID	PARABOLICA		EXPONENCIAL		URBANIK			CEGARRA		HIPERBOLICA		CEGARRA MODIFICADA		
	K	R2	K	R2	K	a	R2	K	R2	K	R2	K	a	R2
RP160100	0.165	0.772	0.247	0.999	0.430	0.655	0.990	0.139	0.990	23.384	0.995	0.132	0.864	0.999
RP260100	0.130	0.855	0.091	0.999	0.254	0.663	0.990	0.061	0.990	73.763	0.997	0.065	0.851	0.999
RP360100	0.126	0.944	0.059	0.997	0.017	1.407	0.990	0.037	0.989	6.663	0.967	0.038	1.877	0.999
RP160050	0.167	0.607	0.382	0.998	1.089	0.347	0.999	0.258	0.998	62.716	0.999	0.353	0.444	0.999
RP260050	0.137	0.773	0.151	0.997	0.007	2.025	0.998	0.119	0.997	235.313	0.995	0.069	2.605	0.998
RP360050	0.130	0.897	0.075	0.999	0.003	2.063	0.990	0.050	0.997	11.218	0.983	0.049	3.505	0.999
RP160150	0.164	0.842	0.200	0.990	0.247	0.869	0.990	0.104	0.990	15.258	0.988	0.112	1.156	0.999
RP260150	0.122	0.969	0.050	0.998	0.027	1.194	0.990	0.031	0.986	62.538	0.962	0.032	1.655	0.999
RP360150	0.126	0.941	0.060	0.998	0.024	1.298	0.990	0.038	0.991	6.378	0.971	0.038	1.736	0.999
RP140100	0.167	0.687	0.309	0.999	0.695	0.496	0.990	0.192	0.999	32.281	0.999	0.189	0.644	0.999
RP240100	0.136	0.745	0.204	0.990	0.132	1.145	0.990	0.170	0.990	1190.241	0.990	0.118	1.425	0.999
RP340100	0.130	0.897	0.075	0.999	0.003	2.059	0.990	0.050	0.997	9.642	0.983	0.049	3.521	0.999
R180100	0.155	0.965	0.108	0.999	0.133	0.895	0.990	0.053	0.991	9.627	0.971	0.160	1.301	0.999
RP280100	0.130	0.892	0.077	0.999	0.003	2.047	0.990	0.051	0.997	47.418	0.985	0.072	3.082	0.999
RP380100	0.132	0.855	0.093	0.990	0.007	1.849	0.990	0.064	0.999	19.351	0.992	0.054	3.082	0.999
RT160100	0.154	0.771	0.236	0.944	0.646	0.361	0.983	0.113	0.951	17.549	0.976	0.059	0.506	0.983
RT260100	0.131	0.861	0.089	0.990	0.147	0.836	0.990	0.060	0.990	17.506	0.995	0.024	1.068	0.999
RT360100	0.118	0.930	0.038	0.936	0.009	3.238	0.990	0.023	0.881	3.160	0.847	0.035	5.314	0.999
RT160050	0.157	0.693	0.286	0.953	0.878	0.287	0.984	0.165	0.955	33.459	0.976	0.125	0.394	0.984
RT260050	0.131	0.878	0.083	0.990	0.005	1.962	0.990	0.055	0.998	10.060	0.988	0.051	3.376	0.999
RT360050	0.118	0.964	0.039	0.970	0.003	1.803	0.990	0.024	0.927	3.623	0.895	0.028	2.601	0.999
RT160150	0.157	0.810	0.219	0.975	0.523	0.455	0.994	0.105	0.981	10.560	0.993	0.084	0.632	0.995
RT260150	0.127	0.899	0.073	0.997	0.181	0.708	0.999	0.046	0.999	16.009	0.993	0.046	0.938	0.999
RT360150	0.124	0.959	0.052	0.993	0.008	1.586	0.990	0.033	0.977	3.598	0.950	0.035	2.146	0.999
RT140100	0.155	0.941	0.133	0.993	0.208	0.745	0.999	0.060	0.999	15.261	0.985	0.062	1.067	0.999
RT240100	0.117	0.985	0.040	0.990	0.011	1.372	0.990	0.024	0.960	38.432	0.931	0.027	1.982	0.999
RT340100	0.103	0.722	0.025	0.764	0.003	2.721	0.925	0.013	0.653	5.340	0.654	0.031	3.580	0.997
RT180100	0.155	0.867	0.184	0.973	0.398	0.524	0.994	0.078	0.986	136.236	0.992	0.068	0.734	0.995
RT280100	0.127	0.929	0.064	0.999	0.037	1.180	0.990	0.041	0.995	21.918	0.978	0.041	1.568	0.999
RT380100	0.127	0.914	0.069	0.999	0.106	0.861	0.990	0.043	0.999	20.035	0.989	0.043	1.143	0.999

TABLA 6.1.5 REGRESIONES CINÉTICAS DE NEGRO EVERZOL GSP

REGRESIONES CINÉTICAS

ID	PARABOLICA		EXPONENCIAL		URBANIK			CEGARRA		HIPERBOLICA		CEGARRA MODIFICADA		
	K	R2	K	R2	K	a	R2	K	R2	K	R2	K	a	R2
NP160100	0.150	0.825	0.199	0.917	0.514	0.402	0.974	0.072	0.941	8.674	0.966	0.059	0.577	0.975
NP260100	0.122	0.968	0.046	0.985	0.005	1.700	0.990	0.028	0.959	0.929	0.928	0.032	2.360	0.999
NP360100	0.119	0.979	0.042	0.989	0.009	1.462	0.990	0.026	0.961	0.828	0.930	0.029	2.086	0.999
NP160050	0.159	0.857	0.192	0.991	0.373	0.590	0.999	0.091	0.996	11.303	0.995	0.082	0.817	0.999
NP260050	0.120	0.966	0.042	0.976	0.003	1.836	0.990	0.026	0.940	0.949	0.907	0.030	2.588	0.999
NP360050	0.113	0.919	0.033	0.927	0.001	2.203	0.990	0.019	0.857	0.804	0.830	0.025	3.300	0.989
NP160150	0.153	0.854	0.189	0.955	0.443	0.471	0.988	0.076	0.972	6.273	0.985	0.064	0.669	0.989
NP260150	0.123	0.964	0.050	0.993	1.528	1.000	0.031	0.976	1.094	0.948	0.070	0.034	2.092	0.999
NP360150	0.102	0.742	0.198	0.995	0.068	1.856	0.995	0.013	0.672	0.297	0.675	0.021	9.082	0.999
NP140100	0.147	0.894	0.152	0.906	0.363	0.486	0.972	0.051	0.956	5.874	0.965	0.046	0.712	0.974
NP240100	0.124	0.964	0.050	0.992	0.008	1.567	0.990	0.031	0.974	1.045	0.946	0.034	2.142	0.999
NP340100	0.121	0.971	0.044	0.985	0.006	1.637	0.990	0.027	0.958	0.945	0.926	0.031	2.296	0.999
NP180100	0.147	0.971	0.093	0.955	0.198	0.668	0.987	0.043	0.989	5.675	0.978	0.043	0.997	0.989
NP280100	0.123	0.968	0.048	0.991	0.009	1.526	0.990	0.030	0.971	1.232	0.942	0.033	2.111	0.999
NP380100	0.095	0.737	0.021	0.797	0.112	0.928	0.995	0.010	0.671	1.226	0.688	0.048	24.282	0.999
NT160100	0.118	0.784	0.033	0.707	0.126	0.628	0.736	0.018	0.747	4.452	0.705	0.019	1.089	0.748
NT260100	0.130	0.885	0.080	0.990	0.043	1.204	0.990	0.053	0.999	3.169	0.988	0.025	1.536	0.999
NT360100	0.113	0.917	0.033	0.925	0.002	2.239	0.990	0.019	0.855	1.025	0.828	0.025	3.378	0.999
NT160050	0.144	0.878	0.149	0.855	0.381	0.449	0.952	0.045	0.929	14.097	0.939	0.041	0.667	0.955
NT260050	0.132	0.835	0.102	0.990	0.164	0.842	0.990	0.071	0.990	4.367	0.996	0.069	1.055	0.999
NT360050	0.127	0.940	0.060	0.997	0.010	1.596	0.990	0.038	0.988	1.978	0.965	0.040	2.095	0.999
NT160150	0.144	0.878	0.149	0.855	0.381	0.449	0.952	0.045	0.929	14.097	0.939	0.041	0.667	0.955
NT260150	0.132	0.835	0.102	0.990	0.164	0.842	0.990	0.071	0.990	4.367	0.996	0.069	1.055	0.999
NT360150	0.127	0.940	0.060	0.997	0.010	1.596	0.990	0.038	0.988	1.978	0.965	0.040	2.095	0.999
NT140100	0.129	0.852	0.044	0.741	0.237	0.501	0.838	0.025	0.836	5.947	0.805	0.023	0.801	0.844
NT240100	0.117	0.970	0.038	0.974	0.004	1.660	0.990	0.023	0.932	0.630	0.900	0.027	2.425	0.999
NT340100	0.118	0.973	0.040	0.980	0.005	1.621	0.990	0.024	0.944	0.833	0.913	0.028	2.332	0.999
NT180100	0.100	0.665	0.024	0.717	0.031	6.201	0.985	0.011	0.621	0.547	0.647	0.024	9.414	0.985
NT280100	0.133	0.795	0.125	0.998	0.720	0.418	0.990	0.092	0.999	6.609	0.999	0.025	0.520	0.999
NT380100	0.127	0.928	0.064	0.999	0.025	1.312	0.990	0.041	0.994	1.990	0.976	0.041	1.730	0.999

Como se puede observar en los tres procesos involucrados, agotamiento del colorantes, difusión del alcalígeno y fijación del colorante se puede deducir que el modelo que se ajusta en casi todos los tipos de tintura, tanto el colorante puro como en tricomía es el modelo de Cegarra Puente Modificada, por tanto los valores de sus constantes cinéticas serán usadas para el cálculo de los coeficientes de agotamiento como se observan en las Tablas 6.1.6, 6.1.7 y 6.1.8.

Tabla 6.1.6 Constantes cinéticas para el Amarillo Synozol HF2GR

	Temp C	Sal (gr/lt)	K	a		K	a		K	a
AP160050	60	50	0.251	0.534	AP260050	0.090	0.798	AP360050	0.031	2.974
AP160100	60	100	0.149	0.553	AP260100	0.052	3.287	AP360100	0.028	1.988
AP160150	60	150	0.343	0.436	AP260150	0.667	0.409	AP360150	0.024	4.127
AT160050	60	50	0.158	0.463	AT260050	0.031	2.362	AT360050	0.020	24.627
AT160100	60	100	0.065	0.472	AT260100	0.027	2.462	AT360100	0.020	23.864
AT160150	60	150	0.073	0.651	AT260150	0.026	2.202	AT360150	0.021	28.701
AP140100	40	100	0.217	0.605	AP240100	0.055	3.008	AP340100	0.046	1.430
AP160100	60	100	0.149	0.553	AP260100	0.052	3.287	AP360100	0.028	1.988
AP180100	80	100	0.157	0.555	AP280100	0.053	3.193	AP380100	0.042	4.229
AT140100	40	100	0.067	1.243	AT240100	0.029	2.559	AT340100	0.020	0.392
AT160100	60	100	0.065	0.472	AT260100	0.027	2.462	AT360100	0.020	23.6640
AT180100	80	100	0.093	0.583	AT280100	0.034	2.191	AT380100	0.024	3.2740

Tabla 6.1.7 Constantes cinéticas para Rojo Synozol HF6BN

	Temp C	Sal (gr/lt)	K	a		K	a		K	a
RP160050	60	50	0.353	0.444	RP260050	0.069	2.605	RP360050	0.049	3.505
RP160100	60	100	0.132	0.864	RP260100	0.065	0.851	RP360100	0.038	1.877
RP160150	60	150	0.112	1.156	RP260150	0.032	1.655	RP360150	0.038	1.736
RT160050	60	50	0.125	0.394	RT260050	0.051	3.376	RT360050	0.028	2.601
RT160100	60	100	0.059	0.506	RT260100	0.024	1.068	RT360100	0.035	5.314
RT160150	60	150	0.084	0.632	RT260150	0.046	0.938	RT360150	0.035	2.146
RP140100	40	100	0.189	0.644	RP240100	0.118	1.425	RP340100	0.049	3.521
RP160100	60	100	0.132	0.864	RP260100	0.065	0.851	RP360100	0.038	1.877
RP180100	80	100	0.160	1.301	RP280100	0.072	3.082	RP380100	0.054	3.082
RT140100	40	100	0.062	1.067	RT240100	0.027	1.982	RT340100	0.031	5.482
RT160100	60	100	0.059	0.506	RT260100	0.024	1.068	RT360100	0.035	5.314
RT180100	80	100	0.068	0.739	RT280100	0.041	1.568	RT380100	0.043	1.143

Tabla 6.1.8 Constantes cinéticas para Negro Everzol GSP

	Temp C	Sal (gr/lt)	K	a		K	a		K	a
NP160050	60	50	0.082	0.817	NP260050	0.030	2.588	NP360050	0.025	3.300
NP160100	60	100	0.039	0.577	NP260100	0.032	2.360	NP360100	0.029	2.086
NP160150	60	150	0.064	0.669	NP260150	0.034	2.092	NP360150	0.021	9.082
NT160050	60	50	0.041	0.667	NT260050	0.069	1.055	NT360050	0.040	2.095
NT160100	60	100	0.019	1.089	NT260100	0.025	1.536	NT360100	0.025	3.378
NT160150	60	150	0.041	0.667	NT260150	0.069	1.055	NT360150	0.040	2.095
NP140100	40	100	0.046	0.712	NP240100	0.034	2.142	NP340100	0.031	2.296
NP160100	60	100	0.039	0.577	NP260100	0.032	2.360	NP360100	0.029	2.086
NP180100	80	100	0.043	0.997	NP280100	0.033	2.111	NP380100	0.048	24.282
NT140100	40	100	0.023	0.801	NT240100	0.027	2.425	NT340100	0.028	2.332
NT160100	60	100	0.019	1.089	NT260100	0.025	1.536	NT360100	0.025	3.378
NT180100	80	100	0.024	9.414	NT280100	0.025	0.520	NT380100	0.041	1.730

6.3. Curva de Arrhenius.

Como la cinética del proceso de teñido es gobernado por la ecuación de Arrhenius, tanto en el agotamiento como en la fijación podemos aplicar la siguiente ecuación:

$$k = A_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$$

Donde k es la constante cinética del colorante, A₀ es el factor pre exponencial que tiene las unidades de k y que a veces se llama el factor frecuencia, E_a la energía de activación con dimensiones de energía por mol, R la constante de los gases y T la temperatura absoluta.

Si esta expresión se le aplica logaritmos neperianos, entonces se convertirá en:

$$\ln(k) = \ln(A_0) - \frac{E_a}{RT}$$

A partir de la representación gráfica de Ln(k) frente a 1/T, podrá obtenerse como ordenada en el origen el termino pre-exponencial A₀ y como pendiente, el valor de E_a/R ⁽²⁷⁾.

En las Figuras 6.3.1, 6.3.2 y 6.3.3 se muestran el comportamiento cinético segmentado en tres etapas de teñido para el Amarillo Synozol HF2GR, el agotamiento, la alcaligenación (etapa donde se agrega los álcalis) y su respectiva fijación a la fibra textil de algodón, estas curvas comparan su comportamiento en baño con colorante puro frente a su tricomía (Amarillo Synozol HF2GR, Rojo Synozol HF6BN y Negro Everzol GSP) a las mismas condiciones de teñido. de igual manera son mostrados para el Rojo Synozol HF6BN (ver Figuras 6.3.4, 6.3.5 y 6.3.6) y para el Negro Everzol GSP (ver Figuras 6.3.7, 6.3.8 y 6.3.9) respectivamente.

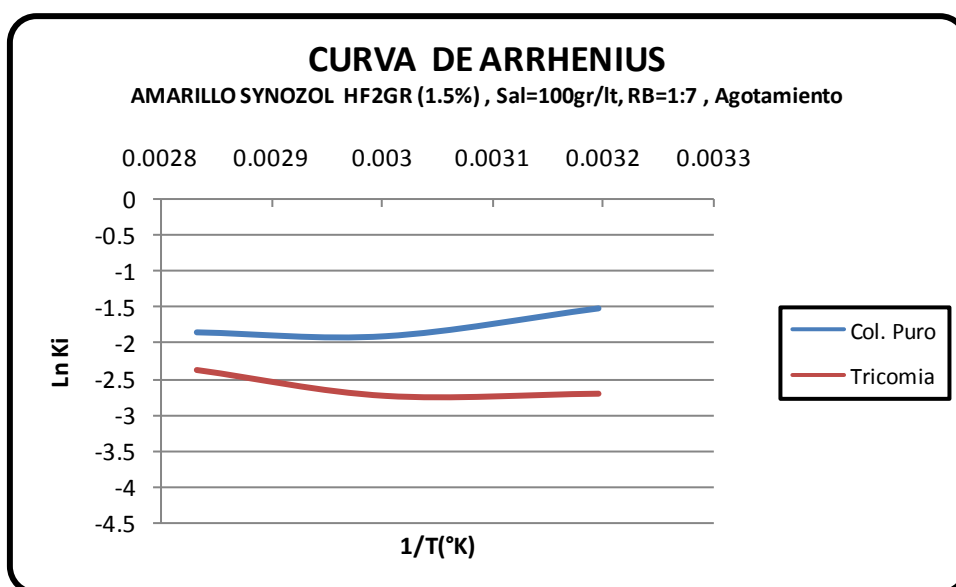


Figura 6.3.1 Curva de Arrhenius para el agotamiento del Amarillo Synozol HF2GR.

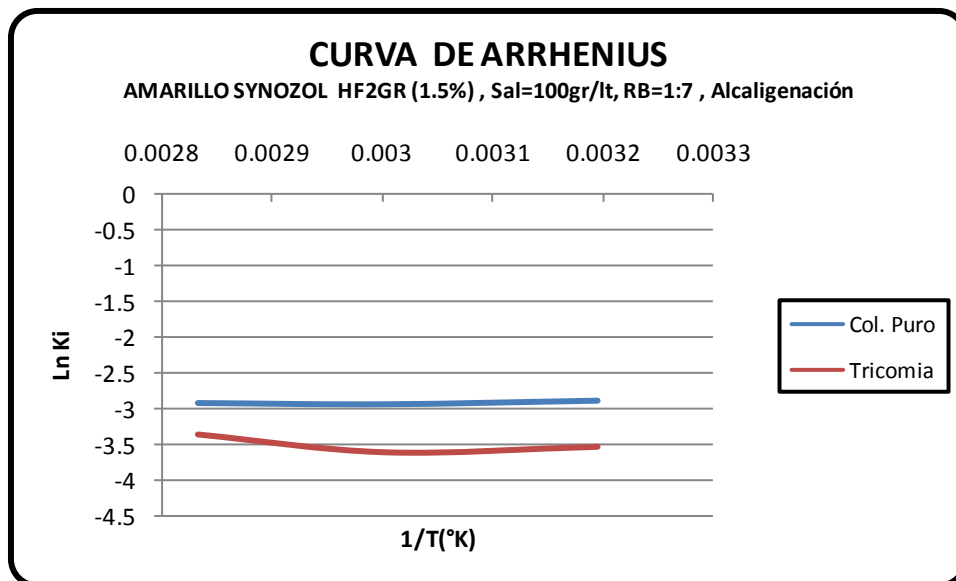


Figura 6.3.2 Curva de Arrhenius para la alcaligenación del Amarillo Synozol HF2GR.

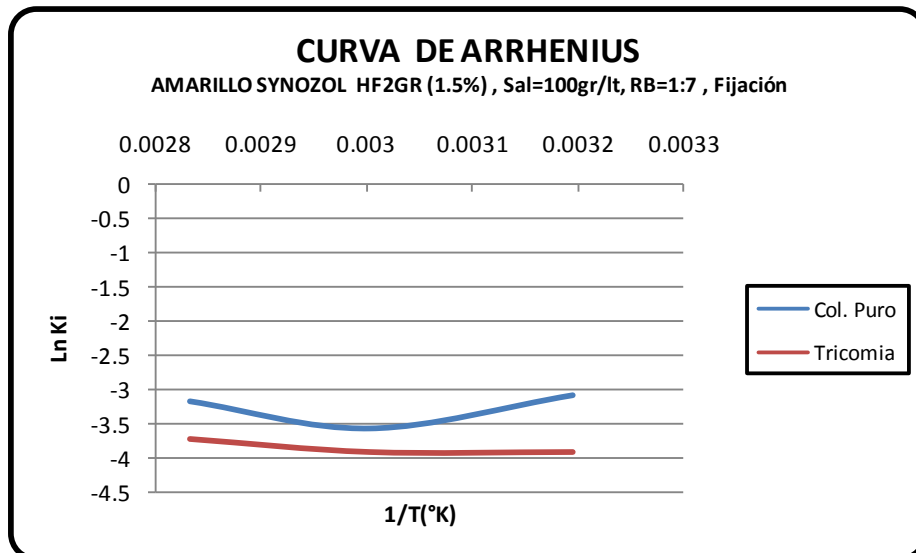


Figura 6.3.3 Curva de Arrhenius para la fijación del Amarillo Synozol HF2GR.

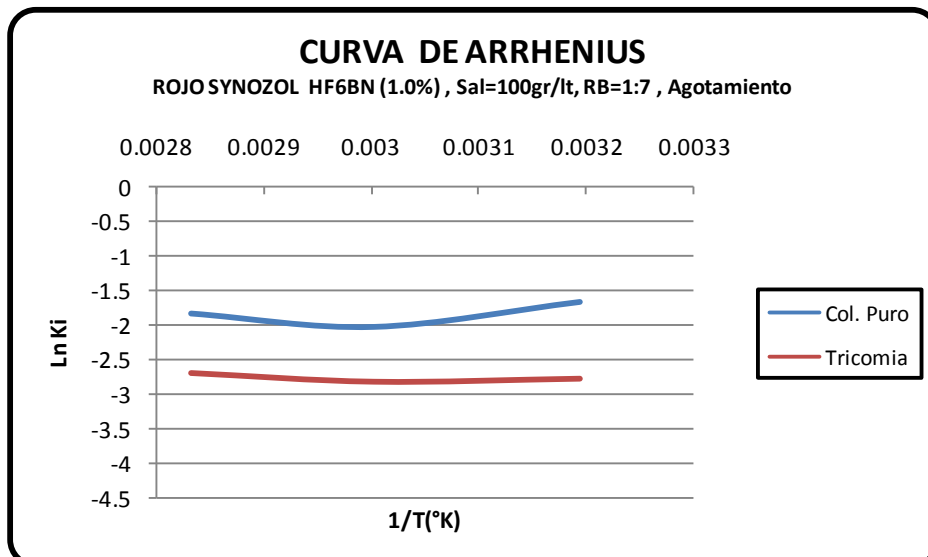


Figura 6.3.4 Curva de Arrhenius para el agotamiento del Rojo Synozol HF6BN.

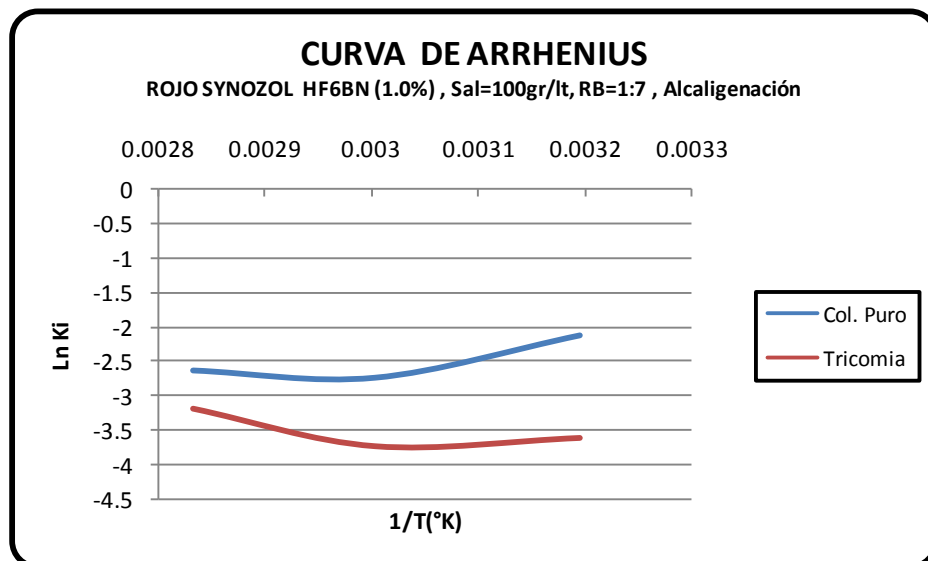


Figura 6.3.5 Curva de Arrhenius para la alcaligenación del Rojo Synozol HF6BN.

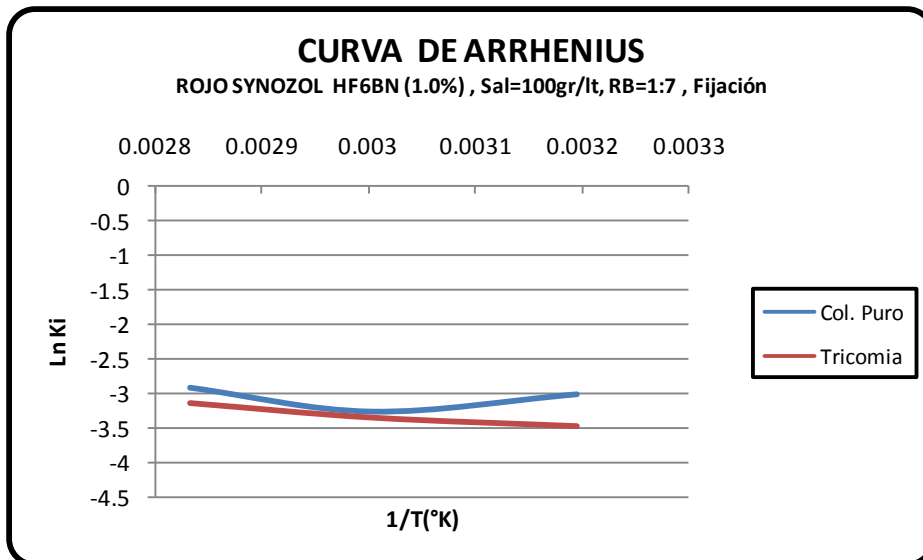


Figura 6.3.6 Curva de Arrhenius para la fijación del Rojo Synozol HF6BN.

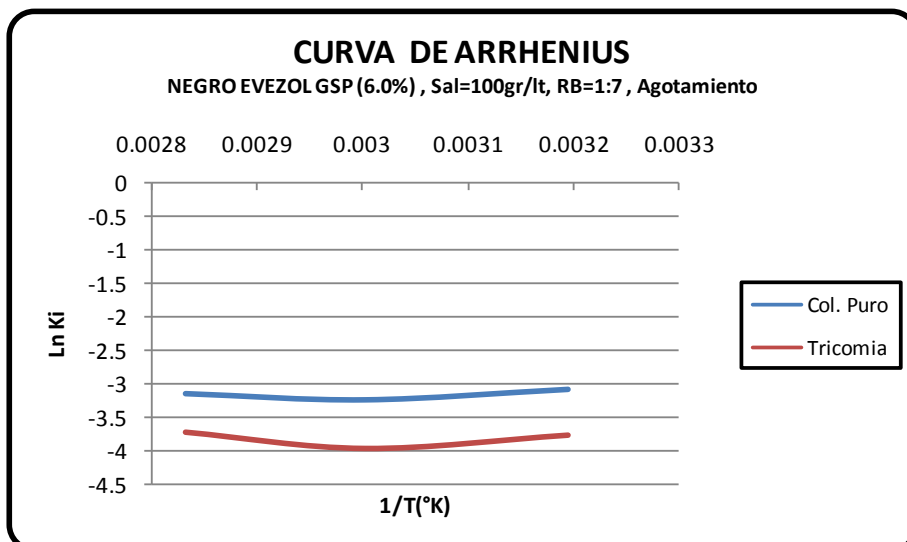


Figura 6.3.7 Curva de Arrhenius para el agotamiento del Negro Everzol GSP.

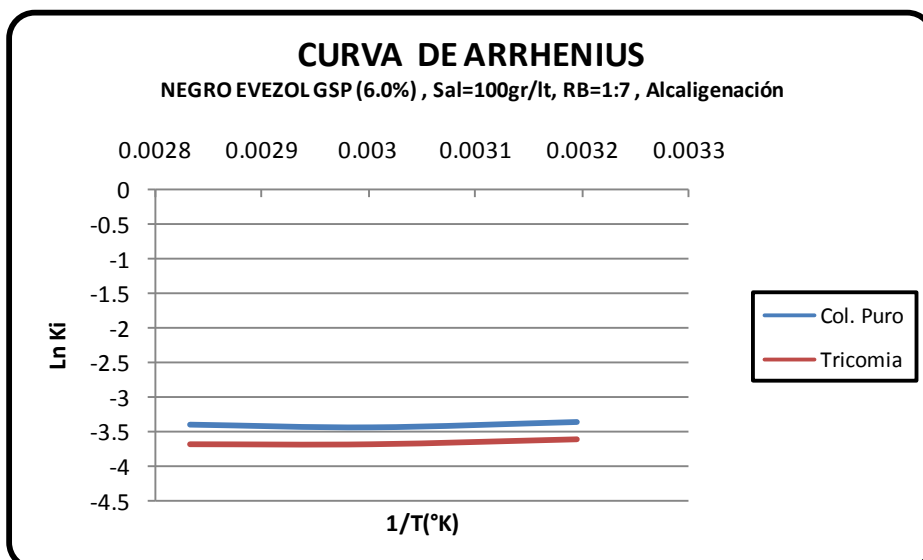


Figura 6.3.8 Curva de Arrhenius para la alcaligenación del Negro Everzol GSP.

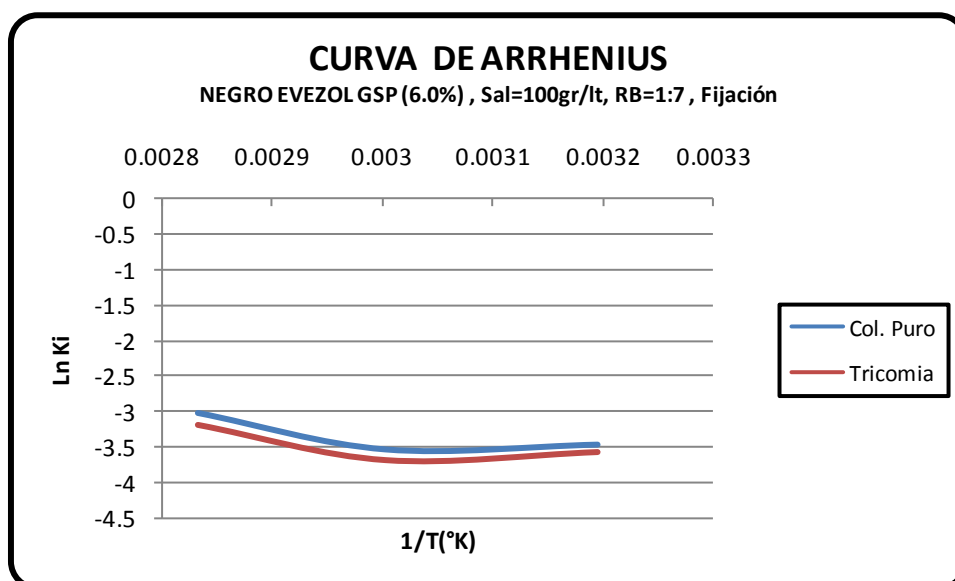


Figura 6.3.9 Curva de Arrhenius para la fijación del Negro Everzol GSP.

Los valores obtenidos para la ecuación de Arrhenius correspondientes a los colorantes Amarillo Synozol HF2GR, Rojo Synozol HF6BN y Negro Everzol GSP son mostrados en la Tabla 6.3.1.

Tabla 6.3.1 CONSTANTES DE ARRHENIUS

Amarillo Synozol HF2GR

	Ao		Eo(cal/mol)	
	Colorante puro		Tricomía	
Fase de difusión de colorante	0.1620	0.0993	-0.0866	-0.2792
Fase de difusión del alcalígeno	0.0550	0.0351	-0.1739	-0.2438
Fase de fijación	0.0498	0.0259	-0.5323	-0.2088

Rojo Synozol HF6BN

	Ao		Eo(cal/mol)	
	Colorante puro		Tricomía	
Fase de difusión de colorante	0.1738	0.0706	-0.1738	-0.1041
Fase de difusión del alcalígeno	0.0735	0.0442	-0.1215	-0.3503
Fase de fijación	0.0639	0.0483	-0.5323	-0.2617

Negro Everzol GSP

	Ao		Eo(cal/mol)	
	Colorante puro		Tricomía	
Fase de difusión de colorante	0.0428	0.0297	-0.1215	-0.2264
Fase de difusión del alcalígeno	0.0333	0.0247	-0.0348	-0.0693
Fase de fijación	0.0907	0.0450	-0.4588	-0.4224

6.4. Determinación de las constantes de reparto.

Según los datos experimentales de las concentraciones en el baño de tintura y de la fibra se pueden obtener que las isotermas de adsorción de muestran en los la Tabla 6.4.1 ^(29,31):

Tabla 6.4.1 Constantes de reparto de los colorantes a diferentes temperaturas.

Amarillo Synozol HF2GR

	T=40°C		T=60°C		T=80°C	
	Cbaño	Cfibra	Cbaño	Cfibra	Cbaño	Cfibra
Agotamiento puro	0.0038	0.0818	0.0007	0.0421	0.0028	0.0828
Agotamiento tricomía	0.0163	0.0691	0.0084	0.0625	0.0073	0.0278
Fijación puro	0.0120	0.0773	0.0107	0.1107	0.0100	0.0566
Fijación Tricomía	0.0611	0.1175	0.0536	0.1116	0.0774	0.1012

Rojo Synozol HF6BN

	T=40°C		T=60°C		T=80°C	
	Cbaño	Cfibra	Cbaño	Cfibra	Cbaño	Cfibra
Agotamiento puro	0.0051	0.0517	0.0014	0.0270	0.0031	0.0537
Agotamiento tricomía	0.0077	0.0255	0.0115	0.0414	0.0036	0.0449
Fijación puro	0.0100	0.0384	0.0051	0.0551	0.0036	0.0449
Fijación Tricomía	0.0224	0.0576	0.0290	0.0513	0.0371	0.0862

Negro Everzol GSP

	T=40°C		T=60°C		T=80°C	
	Cbaño	Cfibra	Cbaño	Cfibra	Cbaño	Cfibra
Agotamiento puro	0.0492	0.1222	0.0236	0.1478	0.0168	0.1546
Agotamiento tricomía	0.0601	0.1591	0.0269	0.0984	0.0289	0.1410
Fijación puro	0.1461	0.1044	0.0599	0.1191	0.0663	0.1848
Fijación Tricomía	0.1267	0.0955	0.0661	0.1106	0.0675	0.1410

Las relaciones entre la concentración del colorante en el baño de tintura frente a la concentración de colorante en la fibra textil (constante de reparto) son mostradas en la Figura 6.4.1 y 6.4.2 para el Amarillo Synozol HF2GR en grado agotamiento puro como en tricomía, las Figuras 6.4.3 y 6.4.4 muestran tendencias en la etapa de fijación tanto como colorante puro como en tricomía respectivamente. Siguiendo la misma secuencia se muestran las figuras 6.4.5, 6.4.6, 6.4.7 y 6.4.8 para el Rojo Synozol HF6BN y las Figuras 6.4.5, 9.4.10, 6.4.11 y 6.4.12 para el Negro Everzol GSP.

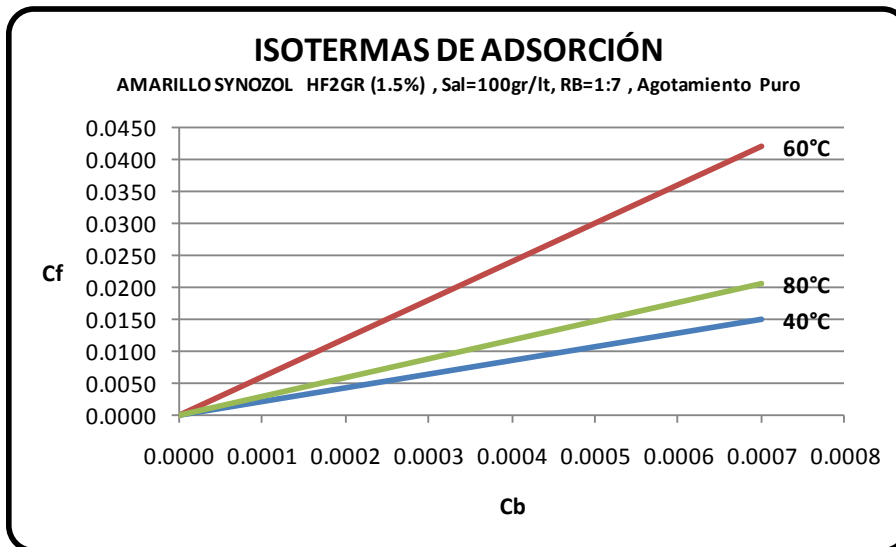


Figura 6.4.1 Constante de reparto para el Amarillo Synozol HF2GR en agotamiento puro.

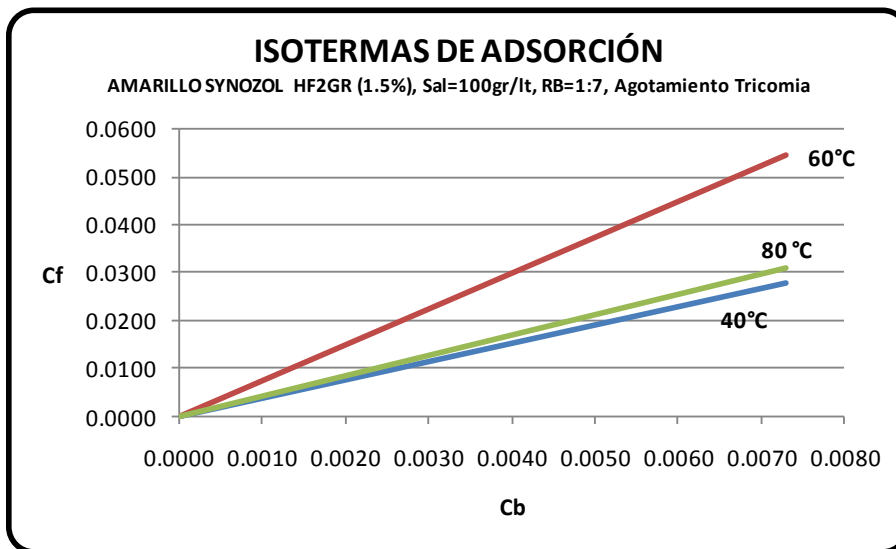


Figura 6.4.2 Constante de reparto para el Amarillo Synozol HF2GR en agotamiento tricomía.

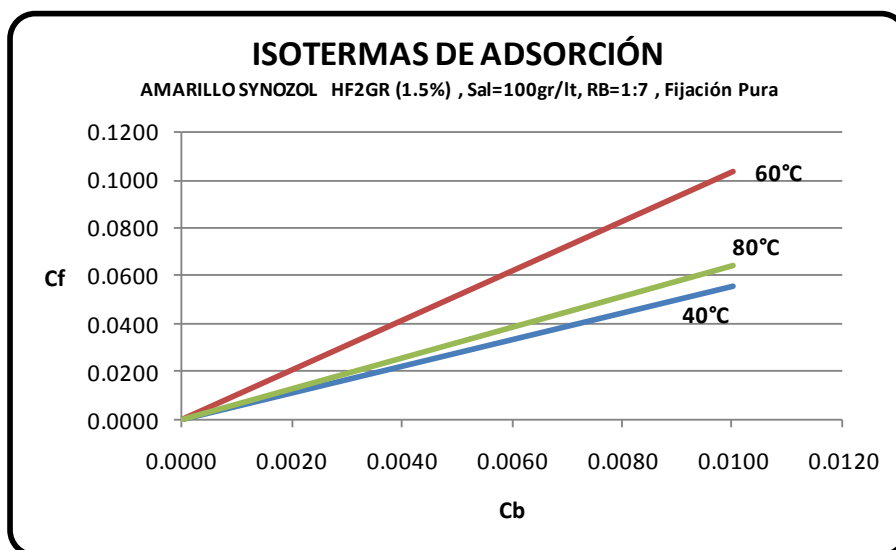


Figura 6.4.3 Constante de reparto para el Amarillo Synozol HF2GR en fijación pura.

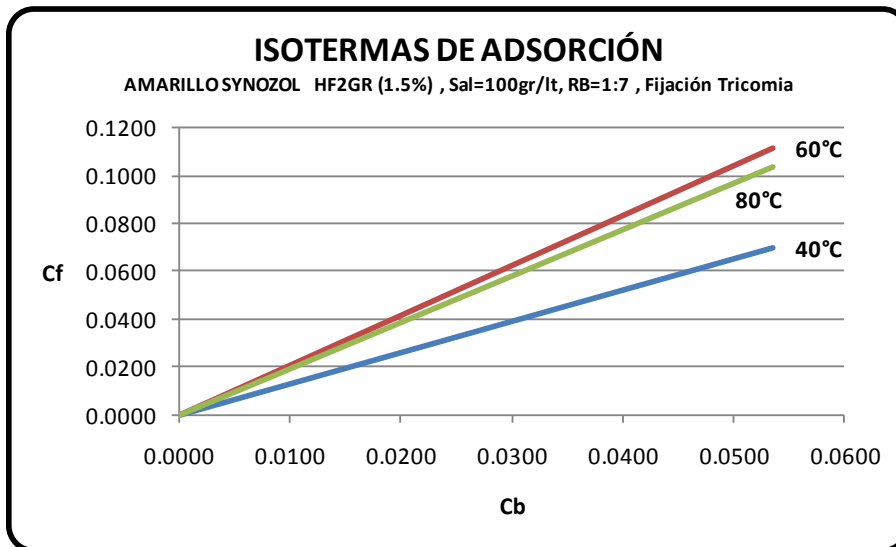


Figura 6.4.4 Constante de reparto para el Amarillo Synozol HF2GR en fijación tricómia.

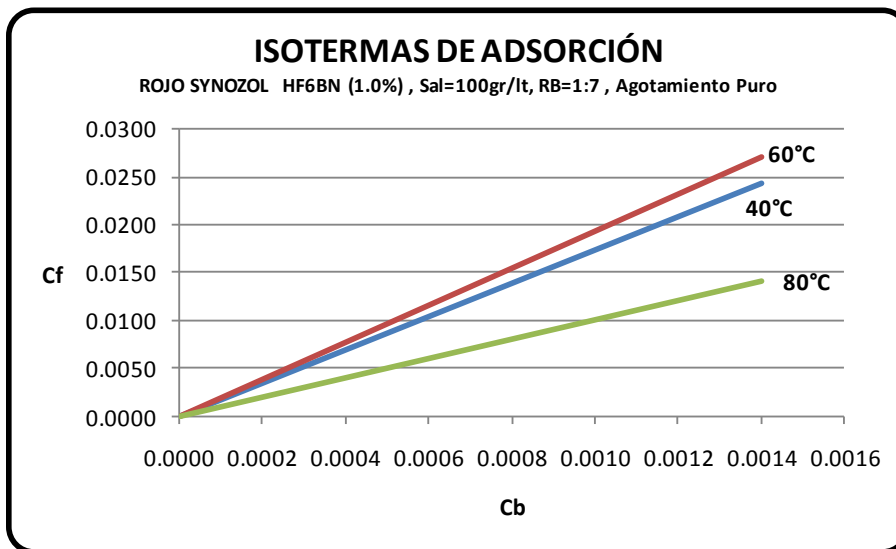


Figura 6.4.5 Constante de reparto para el Rojo Synozol HF6BN en agotamiento puro.

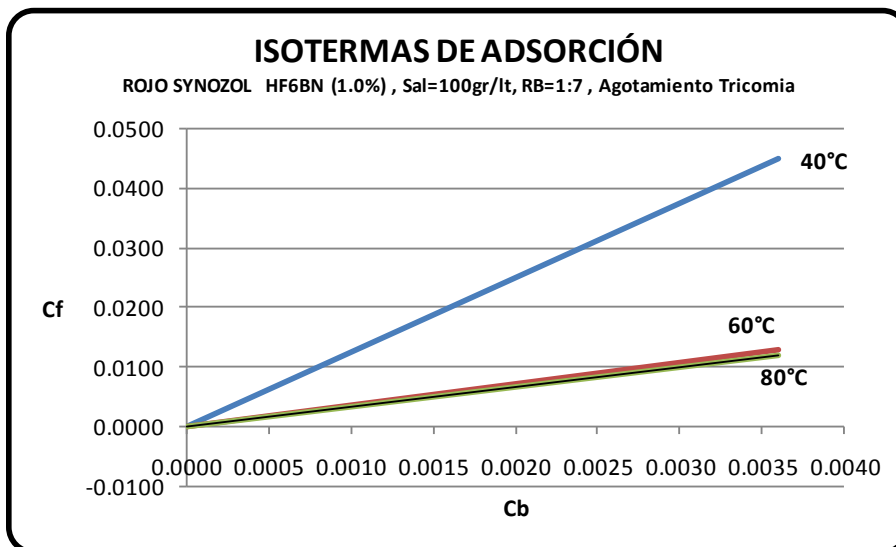


Figura 6.4.6 Constante de reparto para el Rojo Synozol HF6BN en agotamiento tricómia.

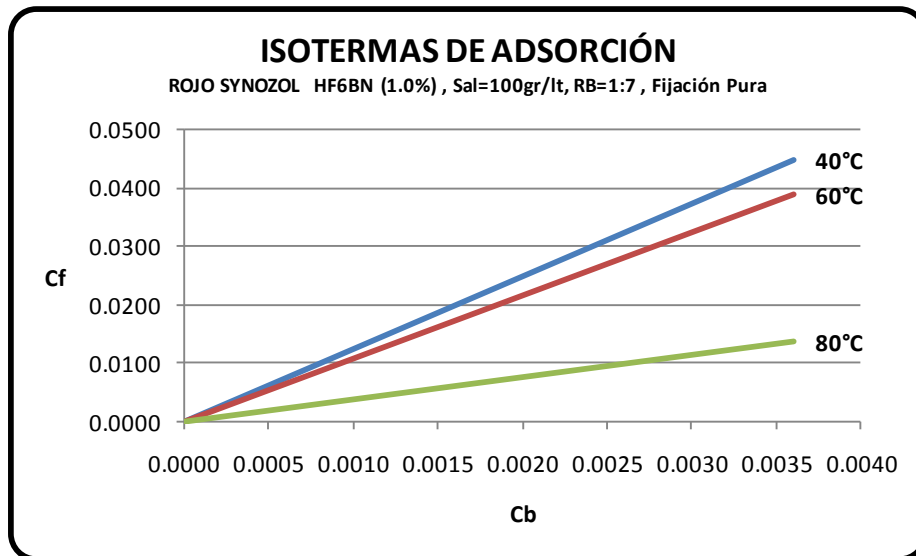


Figura 6.4.7 Constante de reparto para el Rojo Synozol HF6BN en fijación pura.

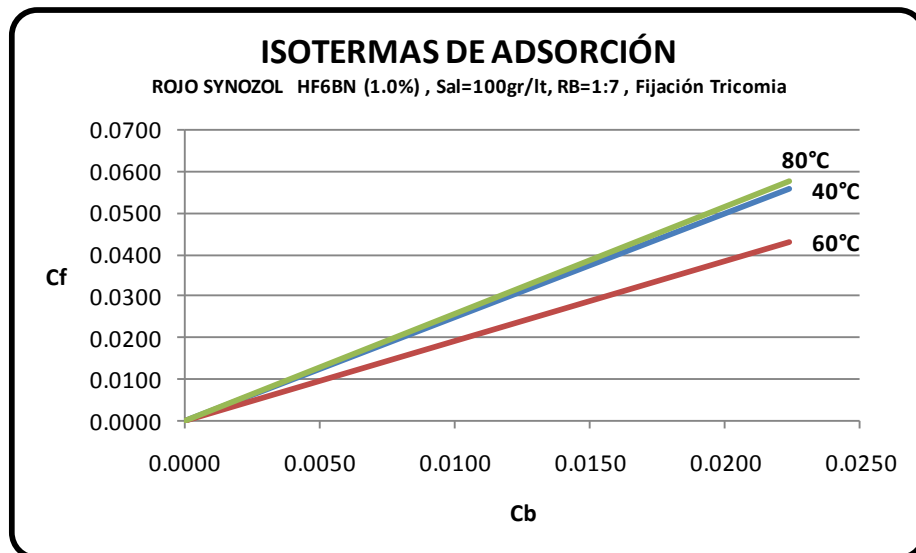


Figura 6.4.8 Constante de reparto para el Rojo Synozol HF6BN en fijación tricomía.

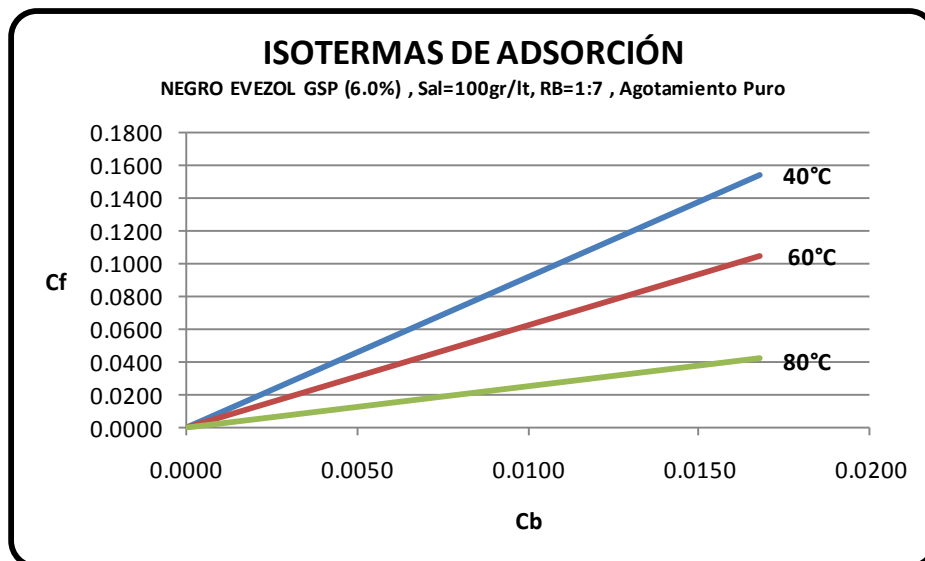
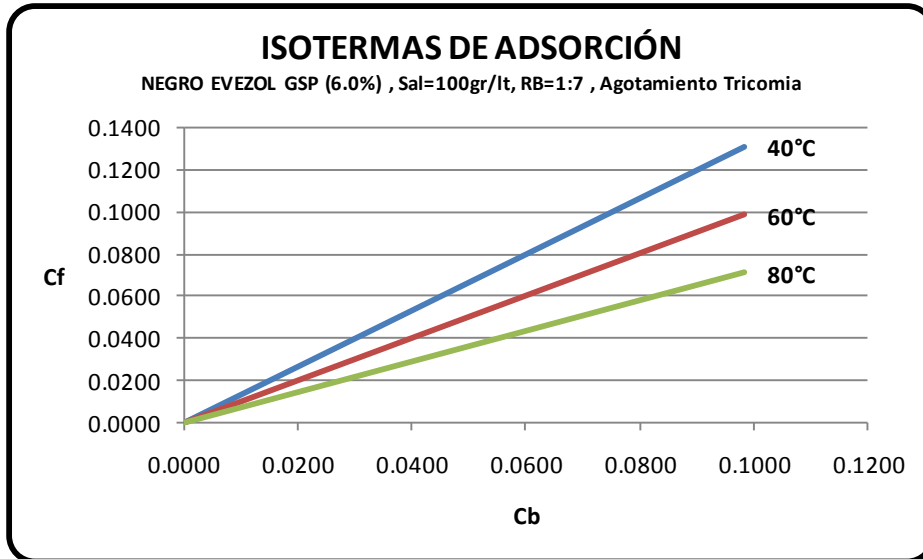
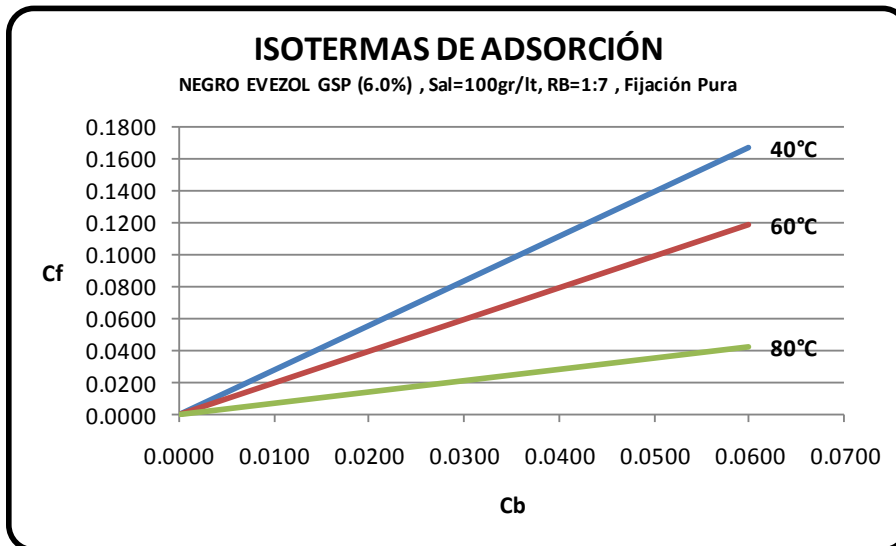


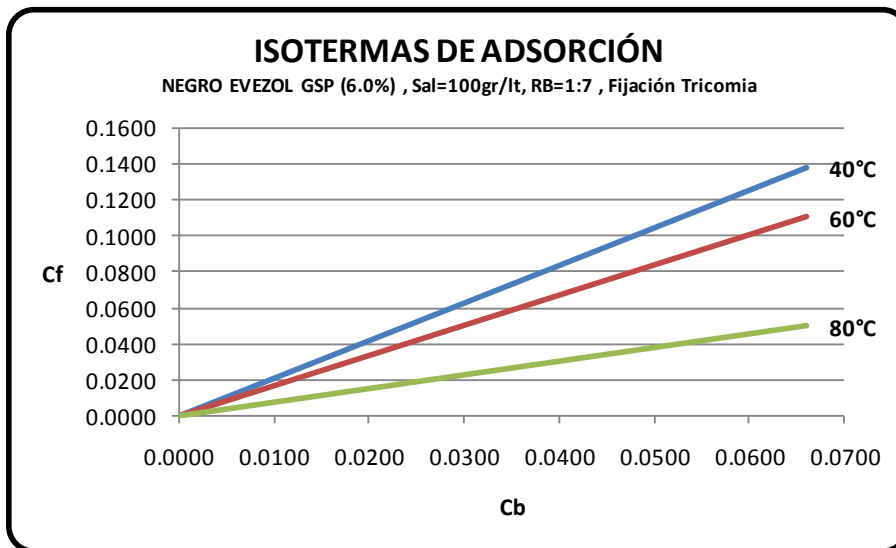
Figura 6.4.9 Constante de reparto para el Negro Everzol GSP, en agotamiento puro.



6.4.10 Constante de reparto para el Negro Everzol GSP.en agotamiento tricómia.



6.4.11 Constante de reparto para el Negro Everzol GSP.en fijación pura.



6.4.12 Constante de reparto para el Negro Everzol GSP en fijación tricómia.

6.5. Determinación de constantes de difusión.

Para la determinación de las constantes de difusión se utilizó la ecuación de Crank:

$$\frac{C_t}{C_\infty} = \frac{4(1+\alpha)}{\alpha\pi^{1/2}} \cdot \left(\frac{Dt}{r^2}\right)^{1/2}$$

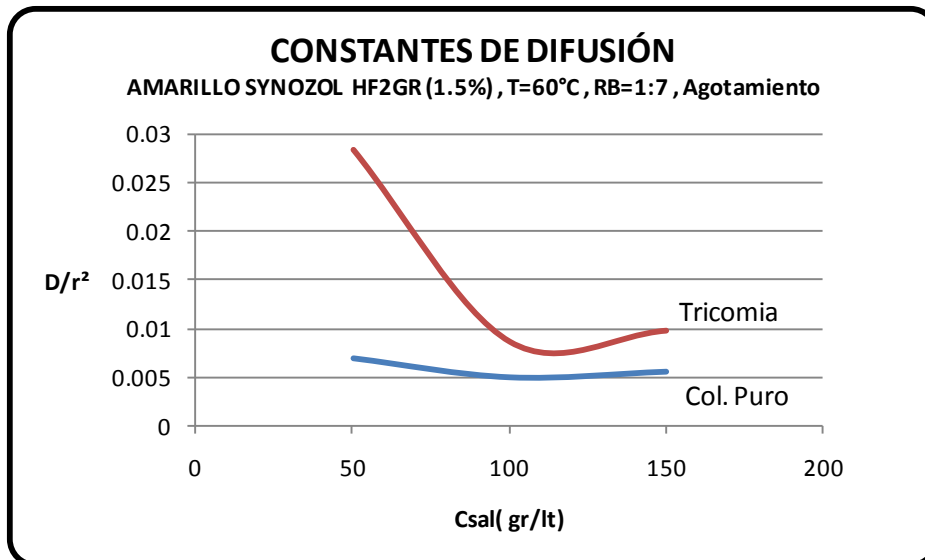
Para el cual:

$$(k)^{1/2} = \frac{4(1+\alpha)}{\alpha\pi^{1/2}} \cdot \left(\frac{Dt}{r^2}\right)^{1/2}$$

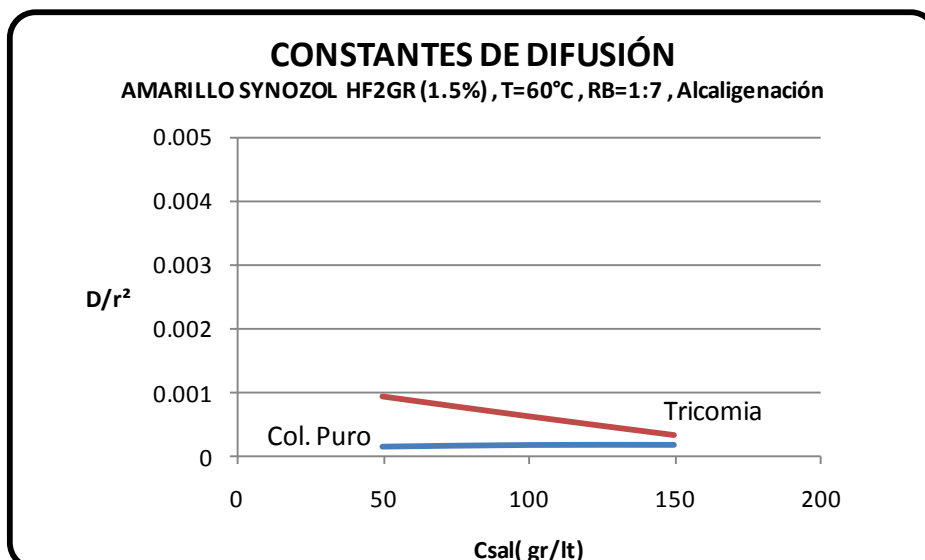
Se efectuaron los cálculos de los coeficientes de difusión usando las constantes de la ecuación de Cegarra Puente Valldeperas ^(16,19,20,21,23).

Debido a que la constante de difusión representa la facilidad que el colorante se desplaza a través de la fibra textil, dependiendo de la temperatura y del electrolito, se muestra estos comportamientos para cada colorante estudiado a través de cada etapa de teñido (curva de teñido). En la Figura 6.5.1, 6.5.2 y 6.5.3 el agotamiento, alcalígenación y fijación del Amarillo Synozol HF2GR al 1.5%, frente a variaciones de concentración de sal (electrolito), a una temperatura constante de 60°C y una relación de baño 1:7. Las Figuras 6.5.4, 6.5.5 y 6.5.6 muestran variaciones de temperatura frente a un valor constante de electrolito de 100g/L, a las mismas condiciones anteriores.

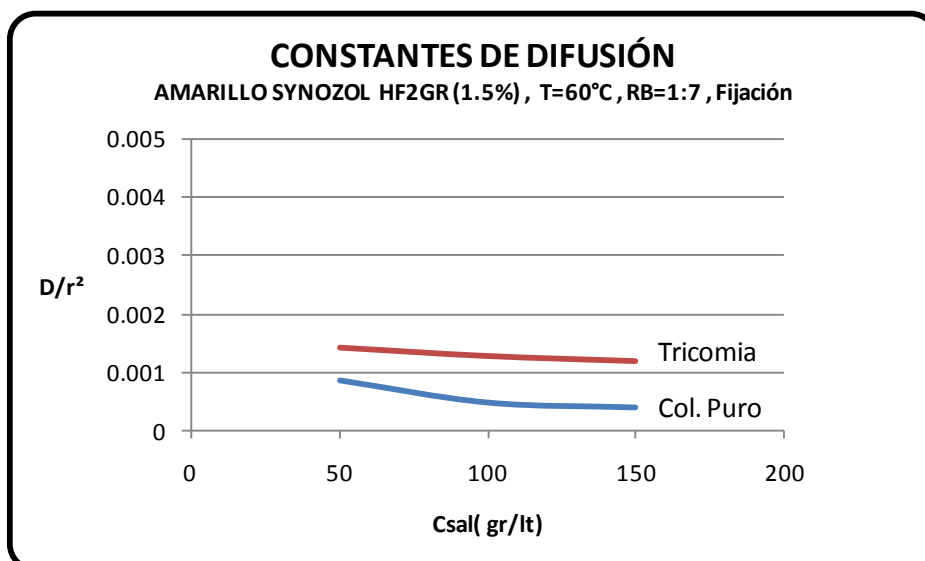
Siguiendo la misma secuencia se efectuaron graficas para el Rojo Synozol HF6BN al 1.0%, La Figura 6.5.7, 6.5.8 y 6.5.9 se desarrollo a una temperatura de 60°C y las Figuras 6.5.10, 6.5.11 y 6.5.12 a una concentración de sal de 100g/L. Lo mismo sucedió para el Negro Everzol GSP (ver figuras del 6.5.13 al 6.5.18).



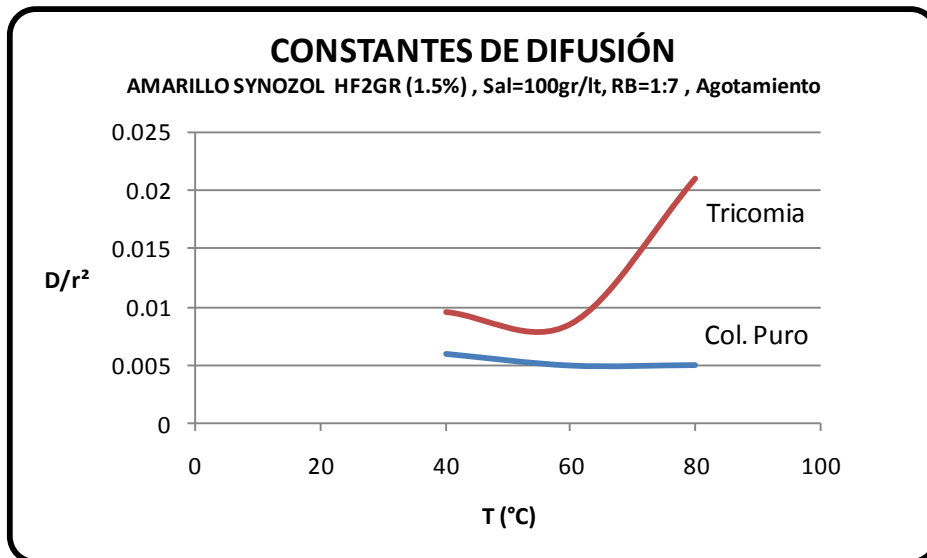
6.5.1 Constante de difusión para el Amarillo Synozol HF2GR.en agotamiento a 60°C.



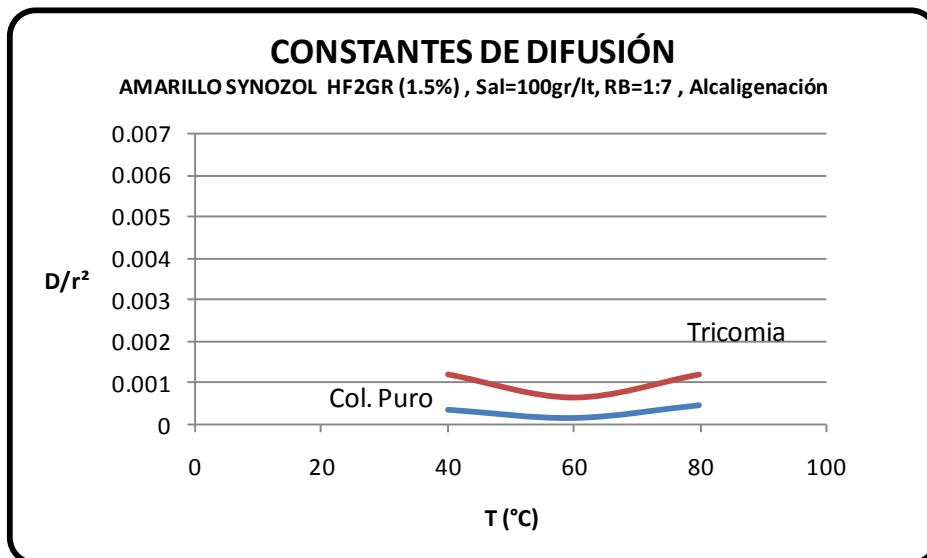
6.5.2 Constante de difusión para el Amarillo Synozol HF2GR.en alcaligenación a 60°C.



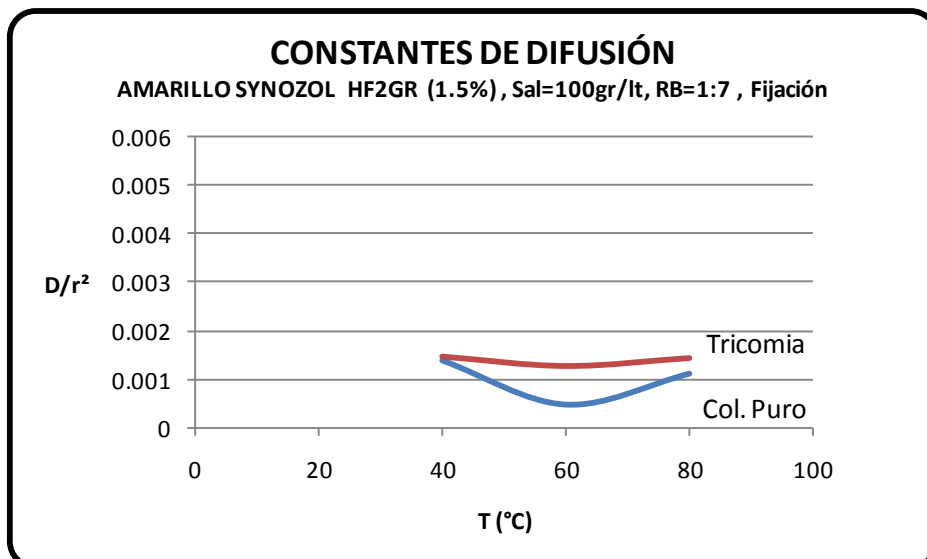
6.5.3 Constante de difusión para el Amarillo Synozol HF2GR.en fijación a 60°C.



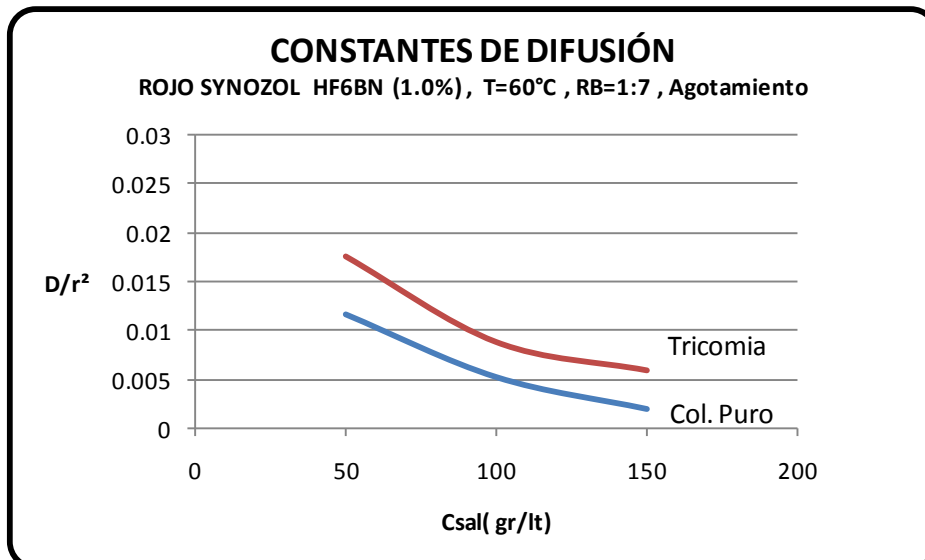
6.5.4 Constante de difusión para el Amarillo Synozol HF2GR.en agotamiento a 100g/L de sal.



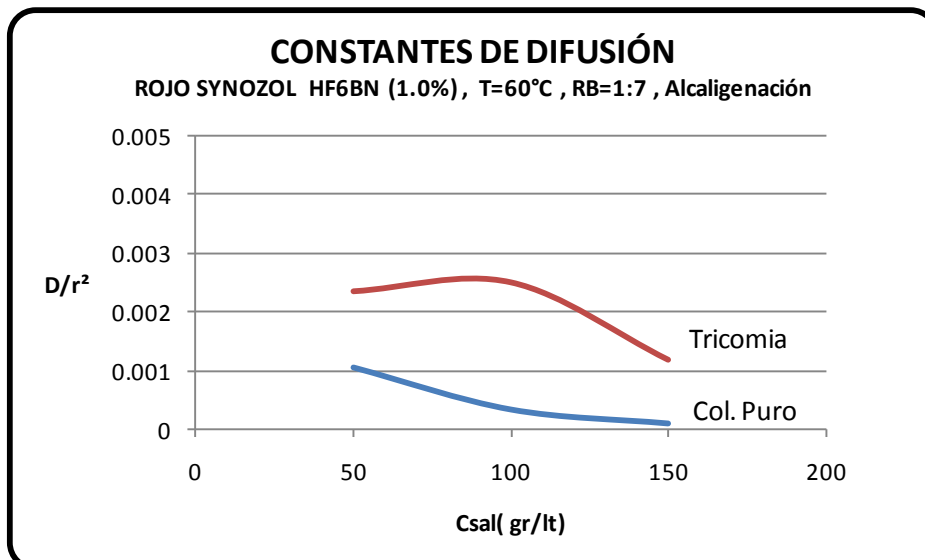
6.5.5 Constante de difusión para el Amarillo Synozol HF2GR.en alcaligenación a 100g/L sal.



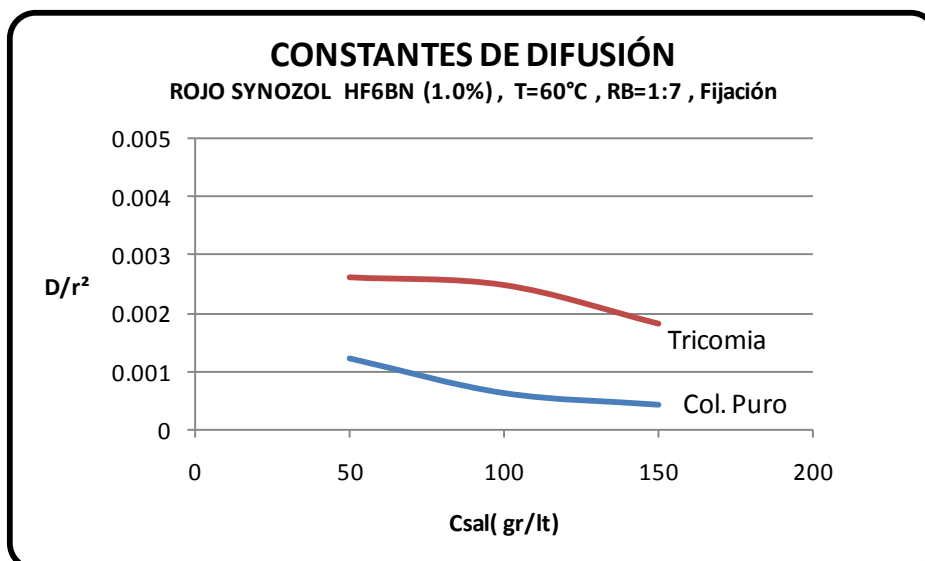
6.5.6 Constante de difusión para el Amarillo Synozol HF2GR.en fijación a 100g/L de sal.



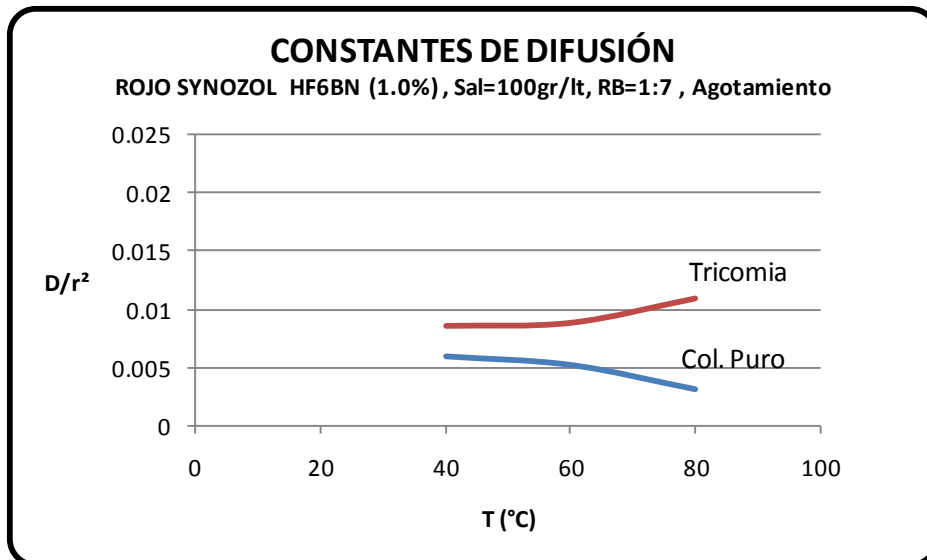
6.5.7 Constante de difusión para el Rojo Synozol HF6BN en agotamiento a 60°C.



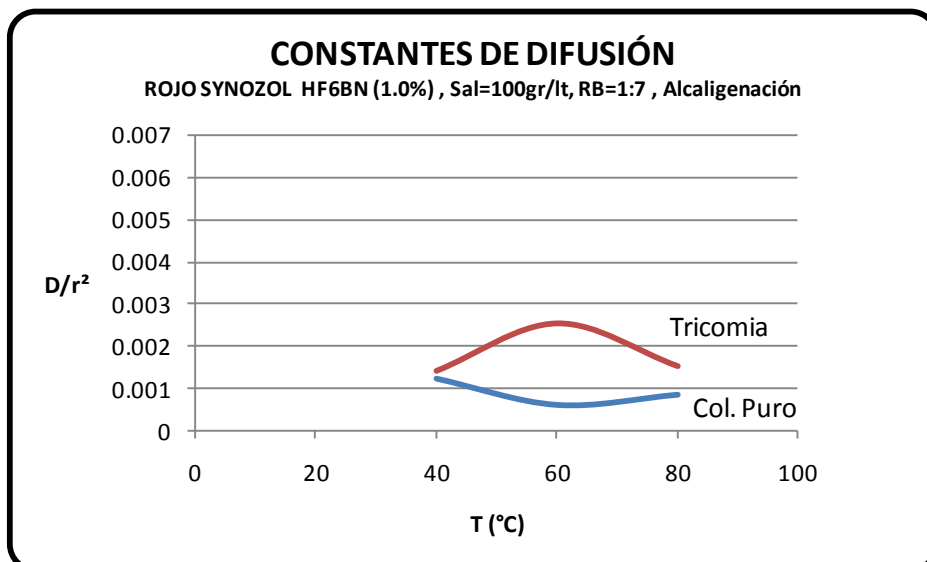
6.5.8 Constante de difusión para el Rojo Synozol HF6BN en alcaligenación a 60°C.



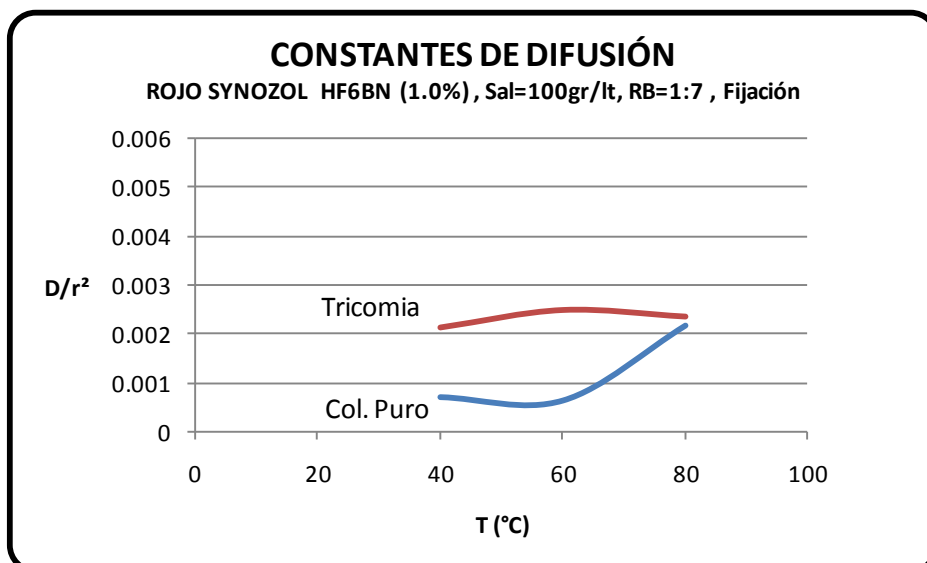
6.5.9 Constante de difusión para el Rojo Synozol HF6BN en fijación a 60°C.



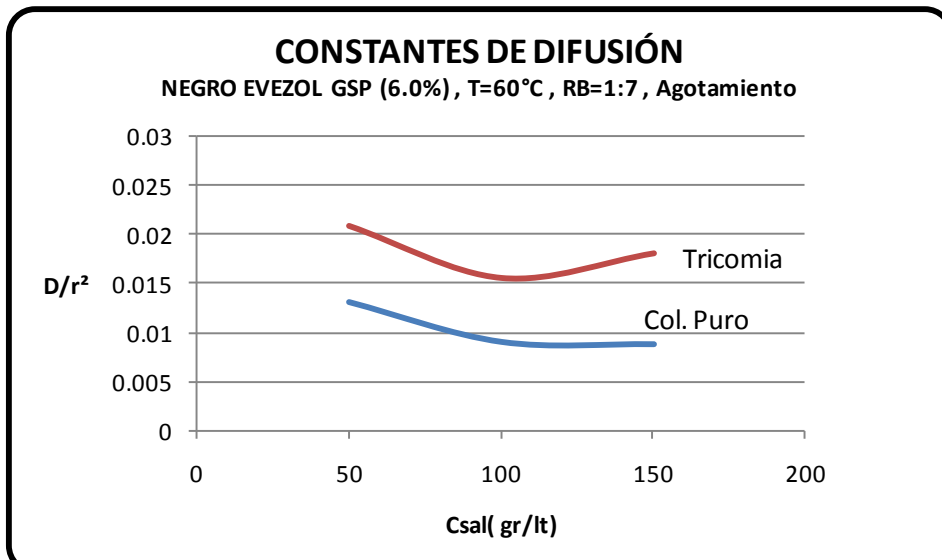
6.5.10 Constante de difusión para el Rojo Synozol HF6BN en agotamiento a 100g/L de sal.



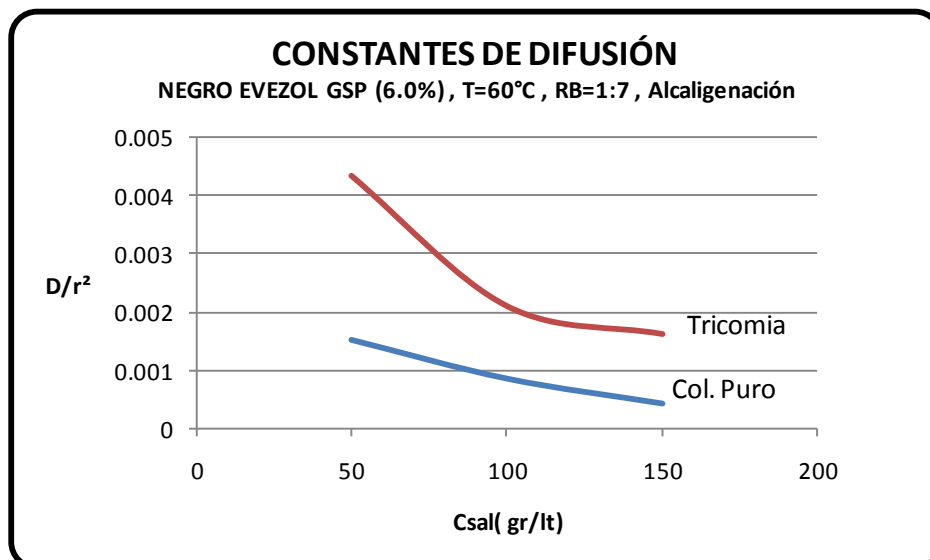
6.5.11 Constante de difusión para el Rojo Synozol HF6BN en alcaligenación a 100g/L de sal.



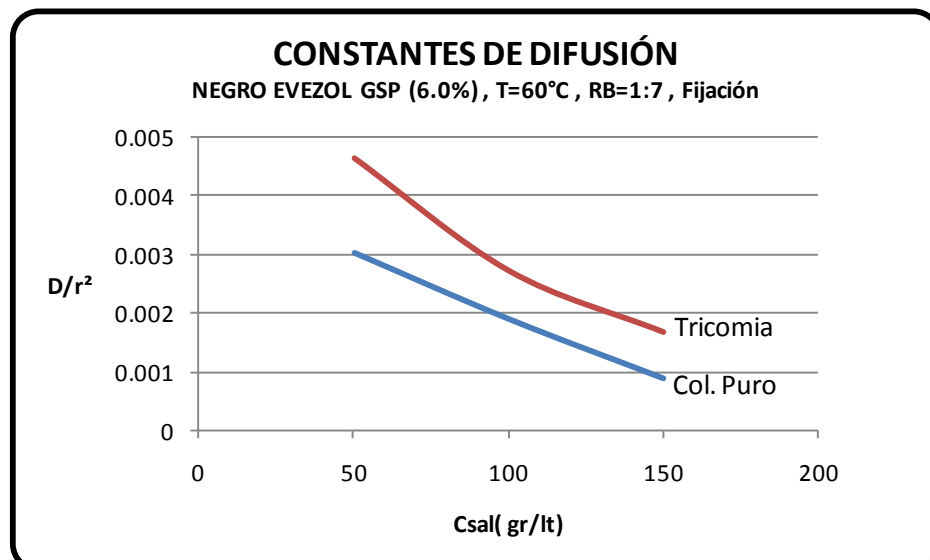
6.5.12 Constante de difusión para el Rojo Synozol HF6BN en fijación a 100g/L de sal.



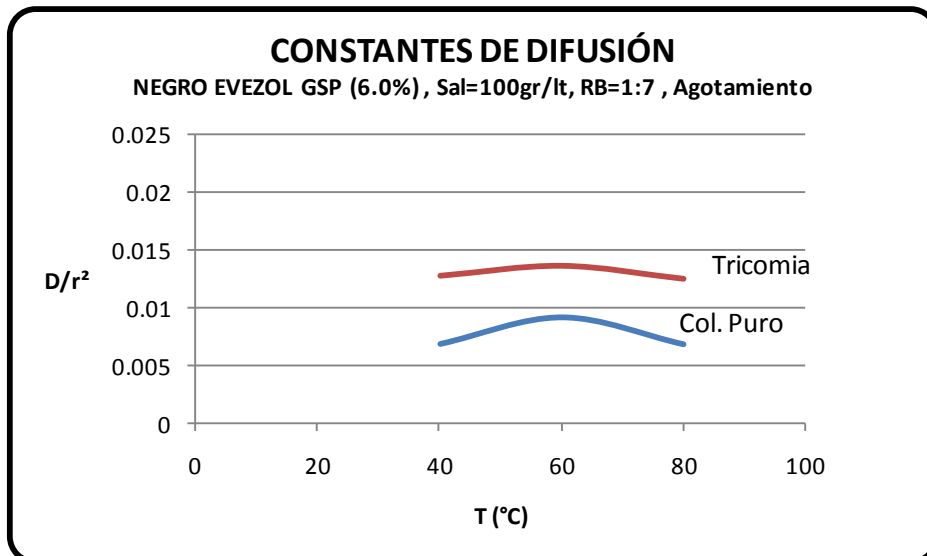
6.5.13 Constante de difusión para el Negro Everzol GSP.en agotamiento a 60°C.



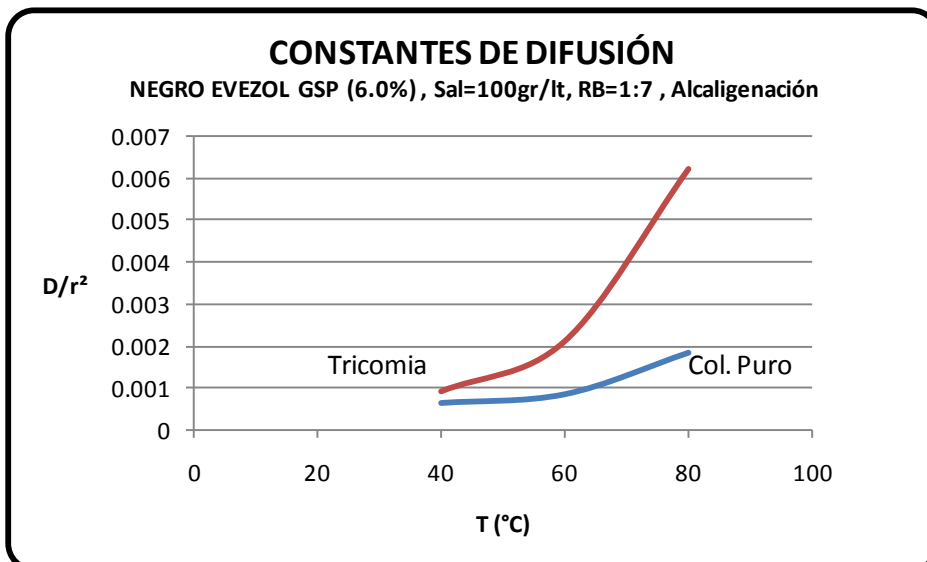
6.5.14 Constante de difusión para el Negro Everzol GSP en alcaligenación a 60°C.



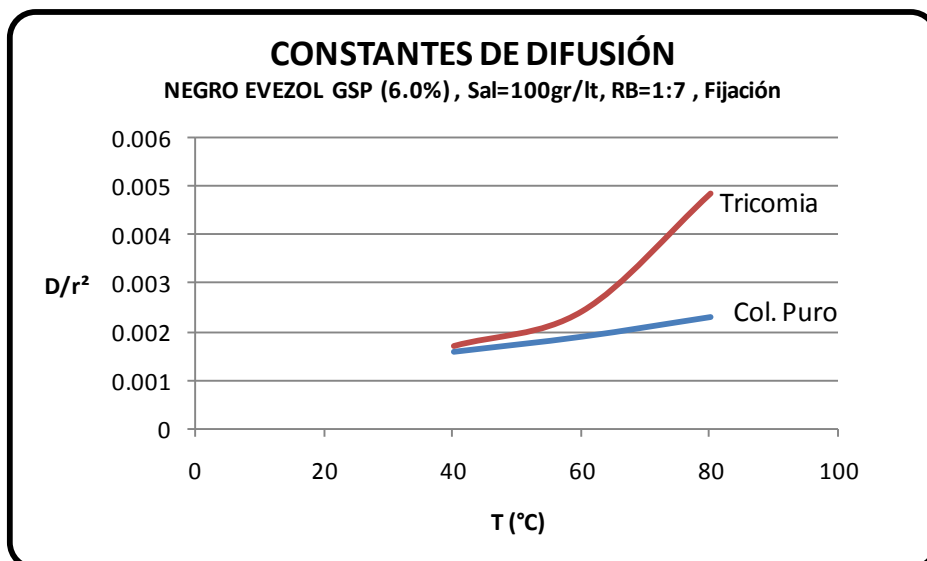
6.5.15 Constante de difusión para el Negro Everzol GSP en fijación a 60°C.



6.5.16 Constante de difusión para el Negro Everzol GSP en agotamiento a 100g/L de sal.



6.5.17 Constante de difusión para el Negro Everzol GSP en alcaligenación a 100g/L de sal.



6.5.18 Constante de difusión para el Negro Everzol GSP en fijación a 100g/L de sal.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES:

1. Las curvas de agotamiento y fijación de los colorantes textiles de naturaleza reactiva siguen en su totalidad un patrón definido estándar con las curvas de mostradas en la bibliografía indicada de los proveedores de colorantes, en nuestro caso se probaron colorantes vinilsulfónicos amarillo Synozol HF2GR , rojo Synozol HF6BN y negro Everzol GSP.
2. Las curvas de teñido donde se han cambiado las variables concentración de sal, temperatura y % de colorantes en forma independiente tienen bien marcados los procesos de agotamiento clásico y de fijación de los colorantes reactivos convencionales, mostrando el proceso de comportamiento en forma de S.
3. En todos los gráficos de tintura de colorantes reactivos podemos afirmar que el colorante disuelto en el baño no se fija a la fibra antes de agregarse el medio alcalino, teniendo datos experimentales bastante bajos de absorbancia de color, sin antes agregarle el alcalígeno como se corrobora en la bibliografía.
4. En todos los casos de tintura de los colorantes amarillo Synozol HF2GR , rojo Synozol HF6BN y negro Everzol GSP, los porcentajes de agotamiento son mayores que los porcentajes de fijación a todas las condiciones de temperatura y concentraciones de sal efectuados en los experimentos, esta diferencia es eliminada en el proceso de lavado dando como resultado que la diferencia sería el % de colorante hidrolizado no fijado en la fibra.
5. El grado de agotamiento y fijación del amarillo Synozol HF2GR y el rojo HF6BN son bastantes altos a condiciones normales de teñido, mayores del 90%, con respecto al negro Everzol GSP que tienen un agotamiento promedio de 80% y una fijación de 40% aproximadamente. Esto es influenciado por los parámetros de teñido donde el factor difusión es importante.

6. El estudio de las curvas se hicieron segmentando la curva de agotamiento clásica en dos secciones, denominado curva de agotamiento puro y curva de alcaligenación, por otro lado la curva de fijación se estudió solo en una etapa. Esto se hizo con la finalidad de que las regresión estadística pueda obtenerse correlaciones más exactas, por ser curvas separadas y tener una cinética distinta, de tal manera que la curva final sería la suma de ellas.
7. Las tricomías son bastante comunes en tinturas industriales donde se mezclan como máximo tres colores para poder reproducir toda la gama de colores que el mercado textil exige, por lo tanto las curvas de agotamiento y fijación deberían cumplir una buena curva de agotamiento y difusión, en este caso se puede ver que los colorantes amarillo Synozol HF2GR y el rojo HF6BN lo hacen muy bien, mientras que el negro Everzol GSP desarrolla muy deficientemente con respecto a los dos colorantes , ya que tiene muy bajo agotamiento en la curva de tintura.
8. Para poder hablar de una buena tricomía en un teñido industrial , las curvas de agotamiento deberías estar cercanas con respecto al tiempo y así permitir que los colorantes agoten en forma uniforme, en los experimentos desarrollados podemos ver que esta afirmación se da en los colorantes amarillo Synozol HF2GR y rojo Synozol HF6BN, mas no en el negro Everzol GSP que se retrasa notoriamente, este comportamiento no es recomendado por causar problemas en su tintura a nivel industrial, estos problemas de igualación son corroborados con la información de planta, ya que son frecuentes problemas de tinturas con estas tricomías.
9. Podemos afirmar que los colorantes amarillo Synozol HF2GR , rojo Synozol HF6BN y negro Everzol GSP tienen un buen comportamiento del pH en el proceso de teñido, mostrando en todas las condiciones de temperatura y electrolito buenas curvas de fijación, características una buena combinación de colorantes según bibliografía.
10. La fijación en todos los teñidos con colorantes reactivos amarillo Synozol HF2GR, rojo Symazol HF6BN, negro Everzol GSP fueron desarrollados con un producto denominado alcalígeno (hidróxido de potasio). Además de los productos auxiliares tales como secuestrante (Sequion M250), igualante(Makidye EDR), Controlador de pH (Controller RD-BF), electrolito (sal común textil) y soda cáustica (alcalígeno fuerte). Las curvas de teñido usadas fueron las clásicas de incremento lineal en temperatura y lineales en fijación e igualación según bibliografía.

CURVAS DE AGOTAMIENTO Y FIJACIÓN:

El estudio de las variables más importantes en proceso de teñido tuvieron los siguientes efectos:

-El efecto de la sal en los colorantes reactivos por agotamiento fueron:

11. En el amarillo Synozol HF2GR, el agotamiento tiende a mantenerse estable a concentraciones de entre 50 g/L a 150 g/L en lo referente al uso del colorante puro, en unos valores relativamente diferenciados en el uso de una tricomía (alrededor de un 10% de diferencia), las mismas características se presentan también en las curvas de fijación de este colorante reactivo.
12. En el caso del rojo Synozol HF6BN es algo parecido al amarillo Synozol HF2GR, teniendo un valor bastante estable ante alteraciones en la concentración de la sal (50 g/L a 150 g/L), tanto en el agotamiento como en la fijación del colorante.
13. En el negro Everzol GSP se tiene un incremento del agotamiento cuando aumenta la concentración de sal, desde 74% a 50 g/L hasta 93% a 150g/L de sal en el caso de colorante puro, y en tricomía de 68% a 50 g/L hasta 88% a 150g/L de sal. Mostrando una marcada sensibilidad a las variaciones de sal textil.
14. Con las curvas de agotamiento donde se muestran los % de agotamiento vs concentración de sal podemos deducir el rango de valores de sal que podrían sugerirse en un teñido industrial para poder alcanzar óptimos agotamientos cuando se trabaja en planta, para este caso podemos observar que los colorantes amarillo Synozol HF2GR y el rojo Synozol HF6BN tiene buena estabilidad a cambios de concentración de sal y por lo tanto una buena posibilidad de teñidos homogéneos, en cambio el negro Everzol GSP muestra sensibilidad a los cambios de electrolito dando altas posibilidad a teñidos defectuosos.

-El efecto de la temperatura en un teñido por agotamiento con colorantes reactivos es:

15. El amarillo Synozol HF2GR muestra un comportamiento estable desde una temperatura de 40°C a 80°C para una tintura de colorante puro, podemos también afirmar su comportamiento casi estable cuando se trabaja en tricomía

con un ligero aumento a 60°C. Esto también se puede observar para la fijación de este colorante tanto puro como en tricomía.

16. El colorante rojo Symazol HF6BN se comporta de manera similar al Amarillo Synozol HF2GR con una estabilidad con la temperatura (40°C a 80°C) tanto puro como tricomía, en cambio se ve un marcada sensibilidad a la fijación del colorante a la fibra de algodón a temperaturas altas, cuando esta puro decrece su fijación (-10% aprox.) y un aumento cuando está en tricomía (+10% aprox.).
17. En el caso del negro Everzol GSP podemos afirmar su alta sensibilidad a la temperatura decreciendo su afinidad tanto puro como en tricomía hasta de una 20% en un agotamiento de 40°C a 80°C, en el proceso de fijación este colorante muestra mucho más sensibilidad cuando se aumenta la temperatura (-25% de fijación).
18. En este caso podemos justificar la razón porque los teñidos con colorantes reactivos a nivel industrial son hechos normalmente a 60°C, ya que su mejor rendimiento de los colorantes reactivos en cuestión alcanzan justo a este rango de temperaturas, indicando además que son temperaturas sugeridas por los proveedores de colorantes comerciales, descartando la tintura en frío por su escasa difusión a la fibra.
19. Los porcentajes de colorantes usados en esta investigación son valores normalmente usados en teñidos de tela de algodón a nivel industrial (amarillo Synozol HF2GR = 1.5%, rojo Synozol HF6BN = 1% y negro Everzol GSP = 6%) con el cual se reproducen todas las gamas de colores normalmente, la cual se verificó con datos de las recetas de planta de la empresa textil.

REGRESIONES:

20. Se realizó las regresiones correspondientes a las ecuaciones del tipo parabólica, exponencial, el modelo de Urbanik, de Cegarra Puente, ecuación Hiperbólica y Cegarra Puente y Valldeperas.
21. La ecuación que mejor se ajusta a las regresiones de los datos experimentales es la ecuación de Cegarra Puente y Valldeperas con un R^2 promedio de 99.9%, en los colorantes reactivos amarillo Synozol HF2GR, rojo Symazol HF6BN, negro Everzol GSP.
22. Con el modelo de Arrhenius se pudo calcular el valor pre-exponencial y la energía de activación de cada colorante en cada etapa del teñido, como

agotamiento o difusión pura, difusión del alcalígeno y la etapa de fijación, tanto en teñido con colorante puro como en tricomía.

23. Todas las curvas de Arrhenius presentan curvas cóncavas podemos indicar que el factor preponderante en este tipo de tinturas es el factor de adsorción frente al factor de reacción.
24. El término de la energía de activación (E_0) puede ser considerado como aquella forma de energía que es mínima necesaria para que participen en la interacción fibra – colorante y los valores están dentro del rango de la bibliografía, es decir para colorantes reactivos en algodón en agotamiento de 1 J/mol y en etapa de fijación del orden de 2 J/mol, para nuestro caso los valores experimentales en el agotamiento fueron aproximadamente los valores de E_0 tales como 0,3 J/mol como colorante puro y 2 J/mol de tricomía.

CONSTANTES DE REPARTO

25. Las constantes de reparto se calcularon en relación con las concentraciones de baño y las de la fibra, en equilibrio a una temperatura determinada, en este caso fueron desde 40°C hasta 80°C.
26. Las naturalezas de las curvas son en su totalidad lineales debido a que todos están regidos por la ley de Beer y Lambert, que relaciona el color en forma proporcional a la concentración del colorante en el baño de tintura. Este comportamiento se da en el amarillo Synozol HF2GR, rojo Symazol HF6BN, y negro Everzol GSP tanto en una tintura de colorante puro como en tricomía.
27. En las curvas de reparto o isothermas de adsorción se debe mencionar las siguientes características particulares:
 - Amarillo Synozol HF2GR: Para las curvas de reparto podemos observar que las mayores adsorciones de colorante en la fibra de algodón se dan a 60°C, tanto en agotamiento como en la fijación, en colorante puro como en tricomía.
 - De esto podemos confirmar que las tinturas textiles se deben realizar a 60°C para un óptimo agotamiento del colorante, así poder asegurar una buena igualación y repetitividad del color en planta.
 - Rojo Symazol HF6BN: Para este colorante podemos afirmar que su máxima eficiencia está a 60°C cuando esta puro y en tricomía es a 40°C,

en la etapa de fijación las curvas están muy próximas entre si, por el cual podemos decir que las variaciones son mínimas entre los 40°C y los 80°C.

- Negro Everzol GSP: este colorante tiene una mayor afinidad a la temperatura de 40°C, después a 60°C, y por último a 80°C tanto en el agotamiento como en la fijación. Si este colorante es usado en tricromía con el Amarillo Synozol HF2GR y el Rojo Synozol HF6BN es bastante probable que pueda ocurrir en este teñido problemas de igualación y tono del color.

CONSTANTES DE DIFUSION:

28. El modelo utilizado para el cálculo de las constantes de difusión fue la ecuación de Crank ya que se cumple a tinturas de tiempo corto en nuestro caso es de 130 minutos, además para su mejor estudio se han segmentado las curvas de agotamiento del colorante reactivo en curvas de agotamiento puro y curvas de agotamiento alcalígeno, y la curva de fijación se estudio en una sola etapa.
29. Para la obtención de las constantes de difusión se utilizaron los valores de las constantes cinéticas obtenidas de la ecuación de Cegarra Puente y Valldeperas, los agotamientos de las tinturas se obtuvieron de los curvas de agotamiento y fijación experimental, la curvas esperadas por este modelo se ajustan a los difusiones bibliográficas de estos colorantes reactivos.
30. Las curvas de constantes de difusión muestran un mayor desarrollo cuando están en tricromía que cuando están puros, tanto en variaciones de concentración de electrolito (50g/L a 150g/L) como para variaciones de temperatura (40°C a 80°C), con % variados dependiendo de cada proceso de tintura en particular.
31. Las variaciones de difusión entre las tinturas con colorantes reactivos puros respecto al uso en tricromías (rojo, amarillo y negro) muestran en la mayoría de los casos un paralelismo entre ellas con valores esperados de $D/r^2 = 0,03$ como un máximo valor, tanto con las variaciones de sal como de temperatura y $D/r^2 = 0,0005$ como un mínimo valor.

CAPÍTULO VIII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- 01.- KyLe Waro Jr. Chemistry and chemical Technology of cotton Interscience Publisher Inc. New York 1955. pag. 28, pag. 117-121.
- 02.- J Gordon Cook, Handbook of Textiles Fibres. Natural Fibres Herrow Technical Library pag. 41-48, pag. 54-67, pag. 75-77.
- 03.- Paul V. Seydel / James Hunt, Encolado de Urdimbre Textil, pag. 19-31.
- 04.- K. Venkataraman, The Chemistry of Synthetic Dyes, Vol II, Academic Press Inc. New York, pag. 1256-1263.
- 05.- A.J. Hall, The Standard Handbook of Textiles, 8Th Edition New Ness – Butterworths. Pag. 5-8.
- 06.- Mirko Raimondo Costa, Las Fibras Textiles y su Tintura. Lima 1990 Concytec, Vol II, pag. 43-63, pag. 197-219.
- 07.- Unico, User's Manual Spectrophotometer 2100 Series, United Products & Instruments Inc. Dayton NJ 088810, pag. 3-8.
- 08.- Maria de Perinat, Tecnologia de la confeccion textile, EDYM España 2007.
- 09.- Anon. Chemical Fibers International. 45(1), 1995, pag. 27-30
- 10.- Cegarra, J.-Puente, P. Considerations on the Kinetics of the Dyeing Process of Polyester Fibers with Dispersed Dyes. Textile Research Journal. 37. (1967), pag. 343-350
- 11.- Urbanik, A. A Generalized Form of the Cegarra-Puente Equation-Relationships of Empirical Dyeing Rate Equations to Diffusion Parameters. Textilveredlung. 13 (1978), Nr 7 pag. 278-279

- 12.- Cegarra-Puente-Valdeperas. Fundamentos científicos y aplicados de la tintura de las materias textiles. Cátedra de Tintorería. UPB. España 1981. pag. 3, pag. 110-111, pag. 128-129 Fig XII-14-b pag. 296.
- 13.- Chrastil. J. Enzymic product formation curves with the normal or diffusion limited reaction mechanism and in the presence of substrate receptors. Int. J. Biochem. Vol. 20, N° 7, 1988, pag. 685
- 14.- Chrastil. j. Determination of the first order consecutive reaction rate constants from final product. Comput. Chem. Vol 12 .nº 4, 1988, pag. 289
- 15.- Chrastil. J. Adsorption of direct Dyes on Cotton: Kinetics of Dyeing from finite baths. Textile Research Journal. July 1990, pag. 413-416
- 16.- Crank. Mathematics of diffusion. Oxford University Press. London 1957. pag. 71
- 17.- Ethers, J.N.-Urbanik, A. Textile Chemist and Colourist , Vol 7, N°9 September 1975, pag. 44
- 18.- Vickerstaff, T. The Physical Chemistry of Dyeing. ICI-Oliver & Boyd. London. (2nd ed.), 1954, Capítulo V. pag. 73, pag. 123, Tabla 24, pag. 205, pag. 211.
- 19.-Ethers, N. Flow rate, Affinity and Levelness in Exhaust Dyeing: An analysis based on Systems Kinetics. Textile Chemist and Colourist, January 1994/vol. 26, N° 1, pág. 13
- 20.- Cegarra, J. Fundamentos de la maquinaria de Tintorería. UPC. 1987. Capítulo IV, pág. 40-63
- 21.- Ribé, J. Determinación del coeficiente de difusión de colorantes directos y sus relación con la concentración de los electrolitos. Tesis Doctoral. 1966. Tabla I, pág. 13, pág. 68-69
- 22.- Ethers, J.N. –Urbanik, A. An automated Computation of Diffusion Equation Solutions. Textile Research Journal. October 1983. pág. 599. Tabla IV pág. 600. Tabla IV
- 23.- Urbanik, A. Equation for Diffusion-controlled Dyeing from a Finite Bath simplified rate of dyeing. JSDC. December 1974. pag . 444
- 24.- Killby, Relation of Apparent Diffusion Coefficient to the time of half-dyeing. JSDC, 76. Aug. 1960, pag. 480
- 25.- Rais-Militky. The approximate solution for Diffusion –controlled Dyeing from a finite bath. JSDC. October 1975. pág. 344

- 26.- Shibusawa, T. Aproximations describing the rate of diffusion of dye into an infinite cylinder and a plane sheet from a constant surface concentration. JSDC, May 1979, pág. 175
- 27.- Barrent, N.A. –Cook, C.C. The calculation of Diffusion Parameters for Diffusion-controlled Dyeing from a Finite Bath. JSDC. September 1977, pág. 355
- 28.- Bairathi, A. Dyeing Sorption Isotherms of Three Direct Dyes and their mixtures on purified cotton. Textile Chemist and Colorist. December 1993.
- 29.- Rattee, I.D. –Breuer, M.M. The Physical-Chemistry of Dye Adsorption. Academic Press. London 1974, pág. 79
- 30.- Etters, J. N. Urbanik, A Science, Art the Modern Dyer. Text. Chem, Color. 7 (1975) pag. 157-162
- 31.- Urbanik, A. Further equations for Approximating the rate of Dyeing Curve in Diffusion-controlled Processes. JSDC 92 (1976), pag. 344-345
- 32.- Smith J.K , Chemical Engineering Kinetics,. Third Edition Mc Graw-Hill Book Company, 1981
- 33.- Aspland J.R. , Reactive Dyes and Their Application, American Association of Textile Chemist & colorist, Vol 24, N° 5, May 1992.
- 34.- Madan G.L. Shrivastava S.K., Physical Chemistry of Dyeing of Cellulosic Fibres with reactive Dyes. Part I: The role of electrolytes in the sorption of hidrolized reactive dyes, Textile Research Journal 1979
- 35.- Mc Gregor R. and Peteus R.H, The Effect of rate of flow on rate Dyeing. The diffusional boundary layer in Dyeing, Journal of The Society of Dyers and colourists. Vol 81, N° 9, September 1965
- 36.- Popesa C , The Kinetics of Dyeing: a non-Isothermal Approach, Journal of The Society of Dyers and colourists Vol 114, November 1998.
- 37.- M. Espiniza - Jimenez, A. Ontiveros – Ortega y R. Padilla – Weigand , Analisis electrocinético y termodinámico del procesos de adsorción de azul acido 45 sobre tejido de poliamida , paginas 37 al 41,Boletin interxter (U.P.C) 2001 N° 120.
- 38.- Everlight Chemical Industrial Corporation, General dyeing methods of Everzol and Synozol dyes, 2005.