

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



“APLICACIÓN DEL ALCOHOL GRASO ETOXILADO COMO ACELERADOR DE
TINTURA PARA OPTIMIZAR LA CURVA DE TEÑIDO DE LA FIBRA DE ALPACA
(VICUGNA PACOS) USANDO COLORANTES COMPLEJO METÁLICO.”

Tesis presentada por las bachilleres:

CALSIN GUILLEN ROCIO IVETH

CHAVEZ GARATE ANYA CHRIS

Para optar el título profesional de **INGENIERAS QUÍMICAS**

AREQUIPA-PERÚ

Junio del 2021

DEDICATORIA

A Dios por hacernos instrumentos de vida.

*A mi Madre Nora y mi hermano Walter por la confianza diaria,
el amor inquebrantable y apoyar mis sueños constantemente.*

Anyá Chávez G.

DEDICATORIA

*A Dios mi padre celestial y forjador de mi camino
a mis padres Adolfo y Lucila por haberme brindado amor,
dedicación y ser los principales promotores de mis sueños
a mis hermanos y seres que amo por siempre haber confiado y creído en mí.*

Rocio Calsín G.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
CAPITULO I.....	3
Aspectos Generales	3
1.1) Definición del problema	3
1.) Objetivos:	3
1.2.1) Objetivo general.....	3
1.2.2) Objetivo específico	3
1.3) Hipótesis.....	4
1.4) Justificación.....	4
1.4.1) Justificación ambiental.....	4
1.4.2) Justificación tecnológica	4
1.4.3) Justificación económica	5
1.5) Alcances	5
1.6) Antecedentes	5
CAPITULO II	7
Marco Teórico	7
2.1) Fibra de alpaca.....	7

2.1.1) Descripción de la alpaca.....	7
2.1.2) Características de la fibra	8
2.2) Colorantes textiles	13
2.2.1) Colorantes ácidos.....	14
2.3) Tintura de fibras proteicas (alpaca)	17
2.3.1) Mecanismo de tintura.....	17
2.3.2) Fisicoquímica del teñido	19
2.4) Cinética de tintura.....	21
2.4.1) Isotermas de adsorción:.....	21
2.4.2 Velocidad de tintura	24
2.4.3) Velocidad de transporte de colorante.....	27
2.4.4) Cuantificación del proceso de tintura	28
2.5) Proceso y curva de tintura con colorantes ácidos en la alpaca en la industria.	29
2.5.1) Proceso	29
2.5.2) Curva de teñido.....	31
2.6) Surfactantes	31
2.6.1) Clasificación de tensoactivos	32
2.6.2) Aplicación de surfactantes en la industria textil	34
2.6.3) Ventajas e inconvenientes	39
CAPITULO III	39

Materiales Y Métodos.....	39
3.1) Descripción de materiales	39
3.1.1) Sustrato textil.....	40
3.1.2) Insumos químicos	40
3.1.3) Colorantes.....	40
3.1.4) Agua de uso textil	41
3.1.5) Instrumentos de laboratorio	41
3.1.6) Equipos.....	41
3.2) Metodología experimental.....	49
3.2.1) Variables en estudio	49
<i>Valores Máximos y Mínimos de Tiempo de Fijación</i>	50
3.3) Diseño estadístico de la experimentación	52
3.3.1) Diseño factorial 2k con replica en el punto central del diseño.	52
3.4) Metodología experimental	54
3.4.1) Preparación del baño de tinte	54
3.4.2) Métodos para las variables dependientes:	59
3.5) Algoritmo de experimentación	66
CAPÍTULO IV	67
Análisis De Resultados	67
4.1) RESULTADOS	67

4.1.1) Resultados del espectrofotómetro:.....	67
4.1.2) Determinación de concentración de colorante en muestras de baños residuales ...	77
4.1.3) Porcentajes de agotamiento	83
4.1.4) Lecturas de solidez al frote.....	87
4.2) Estadística de los resultados.....	87
4.2.1) Modelo predictivo para % de agotamiento en colorante Rojo Lanaset 2B	87
4.2.2) Modelo predictivo del % de Agotamiento en colorante Amarillo Lanaset 2R	88
4.2.3) Modelo predictivo del % de Agotamiento en colorante Azul Lanaset 2R.....	89
4.3) Análisis e interpretación de resultados	90
4.3.1) Análisis de curvas cinética de absorción.....	90
4.4) Modelamiento de curva de teñido	102
CONCLUSIONES.....	105
RECOMENDACIONES.....	106
BIBLIOGRAFIA	107
ANEXOS	111
ANEXO 1. Solideces al frote seco y húmedo	111
ANEXO 2. MODELO PREDICTIVO PARA PORCENTAJES DE AGOTAMIENTO...	119
1) Cálculos para Colorante Rojo Lanaset 2B	119
2) Cálculos para Colorante Amarillo Lanaset 2R	127
3) Cálculos para Colorante Azul Lanaset 2R.....	131

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 La Alpaca	7
Figura 2 Corte esquemático de la fibra de Alpaca	8
Figura 3 Cutícula de la fibra de alpaca observada a través de un SEM	9
Figura 4 Médula de la fibra de Alpaca	10
Figura 5 El córtex de la fibra	11
Figura 6 Cadena proteica	12
Figura 7 Mecanismo de tintura con colorantes ácidos	18
Figura 8 Concentración de los distintos iones en un baño de tintura de lana en función de tiempo	19
Figura 9 Isoterma de adsorción según la ecuación de Langmuir	23
Figura 10 Ecuación parabólica $C_t = k\sqrt{t}$	25
Figura 11 Parámetros del proceso de teñido	28
Figura 12 Diagrama del proceso de Tintura	30
Figura 13 Curva de teñido con colorantes Ácidos	31
Figura 14 Estructura de un surfactante o tensoactivo.....	32
Figura 15 Carácter Iónico de los surfactantes	33
Figura 16 Tensoactivos Igualantes	36
Figura 17 Sistema de Dispersión.....	37
Figura 18 Roll up.....	38
Figura 19 Máquina de tintura AHIBA.....	42

Figura 20	Maquina AHIBA	43
Figura 21	Tubos de teñir	44
Figura 22	Estufa de secado	44
Figura 23	pH-metro	45
Figura 24	Balanza digital	45
Figura 25	Frictómetro	46
Figura 26	Data Color	47
Figura 27	Cabina de Luz Spectralight	48
Figura 28	Espectrofotómetro	48
Figura 29	Equipo Electrónica Digital Textil.....	55
Figura 30	Auxiliares preparados	55
Figura 31	Agregado de auxiliares	57
Figura 32	Pesado de Colorantes	57
Figura 33	Medida del pH	58
Figura 34	Introducción de la fibra al tubo de teñido	58
Figura 35	Tubo de teñido.....	58
Figura 36	Disoluciones de Rojo Lanaset 2B.....	60
Figura 37	Preparación de Disoluciones de Azul Lanaset 2R.....	61
Figura 38	Lecturas de Blanco y baño residual.....	62
Figura 39	Baños residuales de teñido	63
Figura 40	Frictómetro con muestra	64
Figura 41	Lectura de la solidez con la escala.....	65
Figura 42	Algoritmo de experimentación	66

INDICE DE GRAFICAS

Grafica 1 Máxima Absorbancia Rojo Lanaset 2B	68
Grafica 2 Máxima Absorbancia Amarillo Lanaset 2R	70
Grafica 3 Máxima Absorbancia Azul Lanaset 2R.....	71
Grafica 4 Curva de Calibración Rojo Lanaset 2B.....	72
Grafica 5 Curva de Calibración Amarillo Lanaset 2R	74
Grafica 6 Curva de Calibración Azul Lanaset 2R.....	75
Grafica 7 Cinética de Absorción Rojo Lanaset 2B	92
Grafica 8 Cinética de Absorción Amarillo Lanaset 2R.....	93
Grafica 9 Cinética de Absorción Azul Lanaset 2R	94
Grafica 10 Representación Gráfica de Ecuación Puente Cegarra Modificada Rojo Lanaset 2B.....	96
Grafica 11 Representación Gráfica de Ecuación Puente Cegarra Modificada Amarillo Lanaset 2R.....	97
Grafica 12 Representación Gráfica de Ecuación Puente Cegarra Modificada Azul Lanaset 2R.....	99
Grafica 13 % de agotamiento vs concentración AEO para el Rojo Lanaset 2B.....	100
Grafica 14 % de agotamiento vs concentración AEO para el Amarillo Lanaset 2B	101
Grafica 15 % de agotamiento vs concentración AEO para el Azul Lanaset 2R.....	101
Grafica 16 Diseño de curva de teñido con Alcohol graso Etoxilado	103

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Cadena Polipeptídica.....	11
--	----

Ecuación 2: Cadena Polipeptídica Simplificada	11
Ecuación 3: Cadena Proteica hidratada	12
Ecuación 4: Cadena proteica en medio ácido	13
Ecuación 5: Cadena proteica en medio básico	13
Ecuación 6:	23
Ecuación 7	25
Ecuación 8	26
Ecuación 9:	26
Ecuación 10: Velocidad de Flujo	27
Ecuación 11: Velocidad de Difusión	27
Ecuación 12: Velocidad de adsorción	27
Ecuación 13:	28
Ecuación 14: Número de vueltas.....	54
Ecuación 15: % de agotamiento	62
Ecuación 16: Ley de Lambert- Beer.....	77
Ecuación 17: Modelo codificado.....	88
Ecuación 18: Modelo decodificado para el Rojo Lanaset 2R.....	88
Ecuación 19: Modelo codificado del Amarillo Lanaset 2R.....	89
Ecuación 20: Modelo decodificado del Amarillo Lanaset 2R	89
Ecuación 21: Modelo codificado del Azul Lanaset 2R	90
Ecuación 22: Modelo decodificado del Azul Lanaset 2R	90
Ecuación 23: Ecuaciones decodificadas	90
Ecuación 24:	95

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Aplicación de tensoactivos según su HBL	34
Tabla 2	Variables Independientes Generales	49
Tabla 3	Valores máximos y mínimos de variables independientes.....	50
Tabla 4	Variables dependientes Generales	51
Tabla 5	Parámetros generales.....	51
Tabla 6	Diseño factorial para el Rojo Lanaset 2R.....	52
Tabla 7	Diseño factorial para el Azul Lanaset 2R.....	53
Tabla 8	Diseño factorial para el Amarillo Lanaset 2R	53
Tabla 9	Disoluciones de Rojo Lanaset 2R.....	59
Tabla 10	Disoluciones de Amarillo Lanaset 2R.....	60
Tabla 11	Disoluciones de Azul Lanaset 2R	60
Tabla 12	Intervalo de longitud de onda para los colorantes	61
Tabla 13	Absorbancias cada 20 nm para Rojo Lanaset 2B	67
Tabla 14	Absorbancias cada 10 nm para Rojo Lanaset 2B.....	67
Tabla 15	Absorbancias cada 20 nm para Amarillo Lanaset 2R	68
Tabla 16	Absorbancias cada 10 nm para Amarillo Lanaset 2R	69
Tabla 17	Absorbancias cada 20 nm para Azul Lanaset 2R.....	70
Tabla 18	Absorbancias cada 10 nm para Azul Lanaset 2R.....	71
Tabla 19	Absorbancias disoluciones Rojo Lanaset 2B.....	72
Tabla 20	Absorbancias disoluciones Amarillo Lanaset 2R	73
Tabla 21	Absorbancias disoluciones Azul Lanaset 2R.....	74

Tabla 22 Absorbancias muestras baño residual Rojo Lanaset 2B.....	76
Tabla 23 Absorbancias muestras baño residual Amarillo Lanaset 2R	76
Tabla 24 Absorbancias muestras baño residual Azul Lanaset 2R.....	77
Tabla 25 Longitud y espesor de celda para Rojo Lanaset 2B	78
Tabla 26 Calculo de la Absortividad específica para Rojo Lanaset 2B.....	78
Tabla 27 Comparación de datos de Concentraciones de colorante residual para Rojo Lanaset 2B	79
Tabla 28 Longitud y espesor de celda para Amarillo Lanaset 2R.....	80
Tabla 29 Calculo de la Absortividad específica para Amarillo Lanaset 2R	80
Tabla 30 Comparación de datos de Concentraciones de colorante residual para Amarillo Lanaset 2R.....	80
Tabla 31 Longitud y espesor de celda para Azul Lanaset 2R	81
Tabla 32 Calculo de la Absortividad específica para Azul Lanaset 2R.....	81
Tabla 33 Comparación de datos de Concentraciones de colorante residual para Azul Lanaset 2R.....	82
Tabla 34 % Agotamiento de Rojo Lanaset 2R.....	83
Tabla 35 % Agotamiento del Amarillo Lanaset 2R	84
Tabla 36 % Agotamiento para el Azul Lanaset 2R	84
Tabla 37 Seguimiento de patrones.....	86
Tabla 38 Agotamiento a diferentes temperaturas según ecuaciones decodificadas	91
Tabla 39 Cálculos de Ecuación Puente Cegarra Modificada para Rojo Lanaset 2B.....	95
Tabla 40 Constante de velocidad para Rojo Lanaset 2B	96
Tabla 41 Cálculos de Ecuación Puente Cegarra Modificada para Amarillo Lanaset 2R	97

Tabla 42	Constante de velocidad para Amarillo Lanaset 2R.....	98
Tabla 43	Cálculos de Ecuación Puente Cegarra Modificada para Azul Lanaset 2R.....	98
Tabla 44	Constante de velocidad para Azul Lanaset 2R	99
Tabla 45	Solideces visuales Frote seco y húmedo, con 1% de Alcohol Etoxilado	103

RESUMEN

El presente trabajo de investigación **“Aplicación del Alcohol Graso Etoxilado como acelerador de tintura para optimizar la curva de teñido de la fibra de alpaca (*Vicugna Pacos*) usando Colorantes Complejo Metálico”** está orientado a la optimización de curvas de teñido de alpaca con colorantes ácidos, mediante el uso de alcohol graso etoxilado dentro del baño tintorero.

Dicho trabajo se realizó dentro de un laboratorio textil, en el cual se realizó el teñido de las muestras a diferentes valores de las variables dependientes (temperatura, tiempo y concentración de alcohol graso) para luego hallar con la ayuda de la espectrofotometría el porcentaje de agotamiento como principal variable respuesta. Respaldamos la investigación con la ayuda de un espectrofotómetro textil y su software para obtener también lecturas de la solidez al frote.

Al final de la investigación se determinó que los mejores valores para obtener un agotamiento óptimo son a 90 °C, con un tiempo de mantenimiento de 30 minutos y usando 1 % de alcohol graso etoxilado en el baño inicial de teñido, con lo cual pudimos elaborar una nueva curva de teñido.

ABSTRACT

The present work "Application of Fatty alcohol ethoxylate as a dye's accelerator to optimize the dyeing curve of alpaca fiber (Vicugna Pacos) using Metallic Complex Dyes" is aimed at optimizing alpaca dyeing curves with acid dyes, by adding Fatty alcohol ethoxylate in the dyeing bath.

This research work was carried out within a textile laboratory, in which the samples were dyed at different values of the dependent variables (temperature, time and concentration of fatty alcohol) later the research found, with the help of spectrophotometry, that the main dependent variable was the percentage depletion.. We supported the investigation with the help of a textile spectrophotometer and its software to also obtain rub fastness readings.

At the end of the investigation, it was determined that the best values to obtain optimal exhaustion are at 90 ° C, with a maintenance time of 30 minutes and using 1% of Fatty alcohol ethoxylate in the initial dyeing bath, with which we were able to elaborate a new dyeing curve.

CAPITULO I

Aspectos Generales

1.1) Definición del problema

En la industria textil alpaquera se desconoce el efecto de los Alcoholes Grasos Etoxilados y los parámetros como tiempo, temperatura y concentración al que deberían ser usados para acelerar el proceso de teñido y conseguir reducir la inversión y aumentar la productividad dado que el teñido es un proceso de gran importancia considerado crítico, porque se requiere altas temperaturas, es decir alto consumo de energía; así mismo demanda tiempos largos, considerando que cada color a desarrollar precisa de un proceso independiente.

Además la demanda del valor agregado en dicha industria va en aumento, surgiendo nuevas calidades y colores para diseñar artículos novedosos donde el diseño de color prima; necesitando de estos parámetros para mejorar dicho proceso.

1.) Objetivos:

1.2.1) Objetivo general

Aplicar el Alcohol Graso Etoxilado como acelerador de tintura para optimizar la curva de teñido de la fibra de alpaca (*Vicugna Pacos*) usando colorantes Complejo Metálico

1.2.2) Objetivo específico

- Determinar la concentración necesaria del acelerador de tintura (Alcohol Graso Etoxilado) en el baño de teñido.
- Determinar las condiciones favorables de tiempo y temperatura para lograr un agotamiento óptimo.
- Elaborar una nueva curva de teñido para incluir el acelerador de tintura en el teñido de alpaca.

- Analizar el porcentaje de agotamiento al final de la curva de teñido después de determinar la concentración de colorante en el baño residual por espectrofotometría.

1.3) Hipótesis

Dado que el Alcohol Graso Etoxilado es un tensoactivo no iónico con alto poder humectante, al añadirlo al baño de tintura se espera que actúe como acelerador de tintura al reducir el tiempo de disgregación, difusión y la absorción del colorante hacia la fibra, de esta manera se espera también disminuir la temperatura de agotamiento obteniendo resultados en el color y solidez igual o mejor que en las curvas establecidas por la industria tintorera.

1.4) Justificación

1.4.1) Justificación ambiental

La cantidad de energía que usa diariamente la industria textil es exorbitante, sin mencionar las cantidades de agua que son desechadas con restos de colorantes que necesitan grandes cantidades de floculantes para tratarlas, por ello al trabajar con curvas que requieran de menos tiempos y temperaturas en el proceso de teñido, la energía que se utilice será menor, y consiguiendo buenos agotamientos se desechará baños con bajas concentraciones de colorante residual que podrán ser removidos con menor cantidad de floculantes.

1.4.2) Justificación tecnológica

En el presente trabajo se desarrollará una nueva curva de teñido para la alpaca, de lo cual existe mucho desconocimiento pues son pocas las industrias textiles que trabajan con esta fibra, siendo innovador desarrollar curvas con tiempos y temperaturas reducidas, que podrán ser usadas en diferentes artículos incluso en aquellas que requieran más cuidados para no alterar las propiedades físicas de la fibra de alpaca.

1.4.3) Justificación económica

Considerando que el teñido es uno de los procesos más críticos de la industria textil; la optimización del proceso tintóreo se ve reflejado en el menor consumo de energía y en la reducción de tiempo que trae consigo el aumento de la producción, de esta manera aumentar los ingresos económicos de la empresa generando mayores utilidades para la misma.

1.5) Alcances

Las pruebas experimentales del presente trabajo de investigación se realizarán a nivel laboratorio.

1.6) Antecedentes

Ponce de León Cáceres, Valdivia Cárdenas (2014) “Optimización de los parámetros para la curva de teñido con colorantes ácidos, reactivos y complejo metálico en fibra de alpaca”.

En esta tesis de investigación se mencionó sobre el auge de exportación que tiene la industria alpaquera tanto de la materia prima como también de productos de valor agregado es por ello que se vio en la necesidad de optimizar los parámetros de la curva de teñido con sus respectivos colorantes reactivos, ácidos y de complejo metálico reduciendo así el tiempo de teñido sin que afecte la resistencia en la fibra a procesar. En esta investigación se utilizó como metodología la prueba cinética y con ella se logró obtener los parámetros óptimos de trabajo para la curva de teñido en Fibra de Alpaca Huacaya tanto para los Colorantes Ácidos, Reactivos y Complejos Metálico donde se determinó que la temperatura máxima de teñido para los Ácidos fue de 96°C por un tiempo de 60 minutos a un pH de 4.5, en el caso de Colorantes Reactivos la temperatura máxima de teñido fue de 96°C por un tiempo de 80 minutos y un pH de 3.5 y finalmente para Colorantes Complejo Metálico la temperatura máxima de teñido fue de 96°C por un tiempo de 40 minutos y un pH de 5.5, se concluyó que los resultados fueron aceptables y se encontraban dentro

de los estándares a nivel internacional para la Solidez al Frote y Solidez al Lavado el cual fue determinado usando un análisis de varianza.

Palomino. Zúñiga (2007) “Tintura de fibras de alpaca y su cinética con colorantes ácidos”.

En este primer trabajo de investigación el autor presenta un especial interés en la tintura de alpaca porque Perú representa el mayor productor de esta especie en el mundo, exponiendo en su trabajo la necesidad de conocer el procesamiento de esta fibra para su tintura. Se describió la estructura y propiedades químicas de la alpaca, los tratamientos previos, y por último el proceso de tintura que se aplicó en planta y los parámetros que tomo en cuenta para su control. En la parte experimental el autor utilizó el análisis espectrofotométrico para encontrar las diferencias cinéticas entre la tintura de alpaca Huacaya y lana peruana en una tintura a 98°C con una receta de color medio en la cual utilizo colorantes ácidos. Se encontró las curvas de agotamiento a partir de muestras de baño a diferentes tiempos y los puntos experimentales se ajustaron a los modelos sigmoidal y Cegarra Puente Valldeperas para encontrar las constantes cinéticas con las que se concluyó que la velocidad de adsorción de colorantes ácidos es menor en la alpaca que en la lana, en un promedio de 13%. Así mismo mediante el modelo de Crank indica que la velocidad de difusión del colorante en la alpaca es en promedio 49% menor que en la lana esto se debería principalmente a que la alpaca tiene una mayor proporción de puentes de cistina, por lo que presenta una mayor resistencia a la adsorción y difusión; siendo necesario más tiempo de tintura en la alpaca que en la lana. Finalmente, se evaluó las diferencias de color, y se encontró que la alpaca presenta un rendimiento tintóreo 27% menor que la lana, posiblemente por la presencia medular, la mayor cantidad de “kemps” y la forma de las escamas cuticulares.

CAPITULO II

Marco Teórico

2.1) Fibra de alpaca

2.1.1) Descripción de la alpaca

La alpaca (*Vicugna Pacos*) es un camélido sudamericano que a pesar de su parecido con especies de su misma familia como la llama y el guanaco, es diferenciado de los demás por ser más pequeña y de menor peso (entre 48 y 84 kg), (Baldeón C. & Orihuela A., 2017) además es la especie más numerosa en el Perú y mayor cotizada por su producción de fibra (FAO, 2005), con más del 80% de la población mundial, el Perú se convierte en el primer productor de alpaca en el mundo. La crianza se convierte en la principal actividad agropecuaria en zonas alto andinas ubicadas sobre los 4000 msnm. “Las principales regiones donde se cría alpacas y se aprovecha sosteniblemente su fibra y carne son Puno (39.6 %), Cusco (14. 8%), Arequipa (12.7 %), Huancavelica (8.3 %), Apurímac (5.9 %), Ayacucho (6.2 %), Pasco (3.9 %), Moquegua (3.51%), Junín (1,6%), Tacna (1,6%) y Lima (1.06 %)”. (MINAGRI, 2020)

Figura 1

La Alpaca



Fuente: Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)

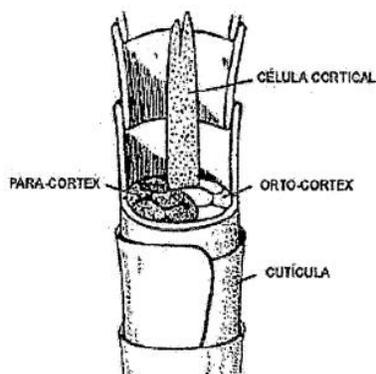
Existen dos razas de alpaca, las cuales son visiblemente diferenciables. La Huacaya representa el 85% de la población de alpacas en el Perú. Se caracteriza por tener un vellón compacto, esponjoso que le da una apariencia más voluminosa, sus fibras son finas suaves y onduladas (FAO, 2005) su fibra crece en forma perpendicular al cuerpo de la alpaca y sus mechas son más cortas y opacas en comparación con la Suri. (Baldeón C. & Orihuela A., 2017). En la raza Suri, las fibras son largas y bien ordenadas en forma de rulos colgantes, lo cual confiere a la especie una apariencia angulosa (Quispe, Rodríguez, Iñiguez, & Mueller, 2009); a diferencia de la Huacaya la fibra crece paralela al cuerpo de la alpaca, formando rulos independientes a través de todo el cuerpo a manera de flecos, posee un aspecto sedoso y brillante. (Baldeón C. & Orihuela A., 2017).

2.1.2) Características de la fibra

2.1.2.1) Características morfológicas. La fibra de lana es una secreción que se produce en la piel del animal a expensas de sus propias proteínas vivas. La fibra está formada de las siguientes partes: cutícula o corteza, médula, córtex.

Figura 2

Corte esquemático de la fibra de Alpaca



Nota: La figura muestra el corte esquemático de una fibra de alpaca. (Lewis & Rippan, 2013).Fuente:

(Alvarez, 1981)

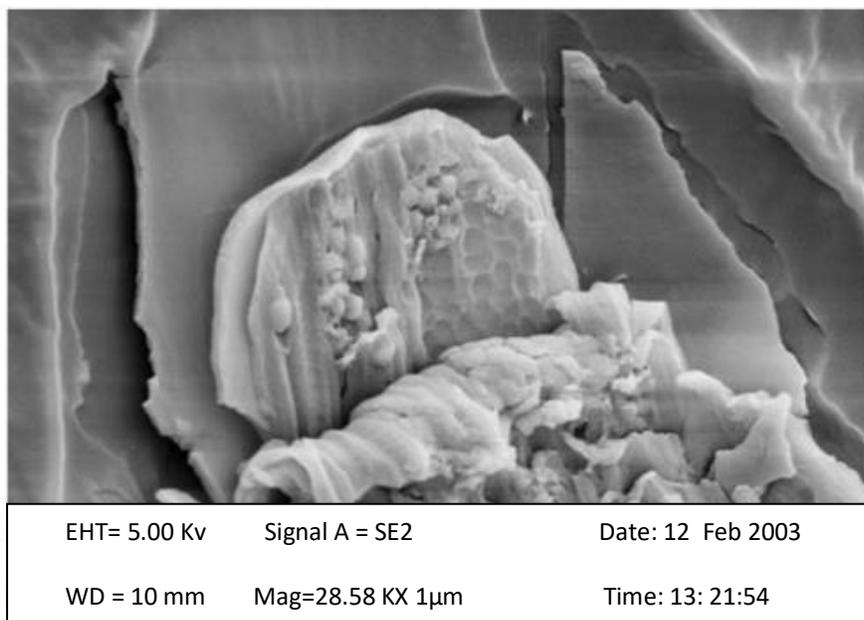
A) *La cutícula o corteza*

La cutícula viene a ser la capa externa de la fibra, comprende aproximadamente el 10% del total de la fibra y está compuesta de células chatas o planas de forma poligonal superpuestas unas a otras, a manera de escamas de un pescado, las cuales envuelven la fibra formando anillos tubulares salientes unidas muy fuertemente por una membrana finísima que le permite cumplir el papel de encerrar y proteger a las células de la capa cortical que constituye el cuerpo de la fibra y la medula (Filarowski, Andrew; , Society of dyers and colourist, 2013)

La cutícula es propia de toda fibra animal, y que no la poseen las fibras vegetales. La superposición unidireccional de las escamas apuntando siempre hacia arriba y su ordenamiento son las responsables del poder de afieltramiento que poseen todas las fibras animales y que consiste en que las fibras se traban unas con otras por intermedio del células cuticulares, formando de esta manera un hilo resistente y elástico (Filarowski, Andrew; , Society of dyers and colourist, 2013)

Figura 3

Cutícula de la fibra de alpaca observada a través de un SEM



Fuente: (Wang, Liu, & Wang, 2005)

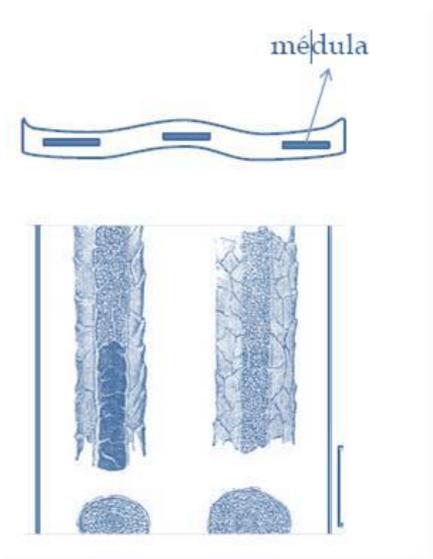
B) La médula

Es la capa más interna de la fibra; está compuesta de gran número de células cilíndricas que ocupan la parte central de la fibra; es un espacio longitudinal semi vacío de estructura imbrica aún no definida y considerada hueca por algunos autores, esta confiere a la fibra menor peso y un aislamiento térmico. (Fuertes, 2006)

“El diámetro de la fibra incrementa con la presencia de la médula”. (Guillen & Victor, 2020)

Figura 4

Médula de la fibra de Alpaca



Fuente: (Lewis & Rippan, 2013)

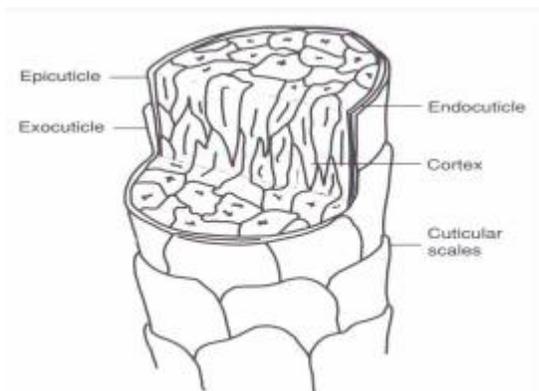
C) El córtex

Es la parte principal de la fibra de lana, ocupa el 90% del total de la misma y es el responsable de la mayoría de propiedades: resistencia, elasticidad, propiedades tintóreas. Está formado por células largas, finas y planas en forma de cigarrillos que tienen un núcleo cerca del centro que se

denominan células corticales, las mismas que a su vez están formadas por fibrillas más pequeñas.
(Cegarra, 2005)

Figura 5

El córtex de la fibra



Fuente: (Pesok, 2004)

2.1.2.2) Características químicas de la fibra. La fibra de Alpaca tiene como base de composición química la queratina, la cual es una proteína compuesta por 18 aminoácidos diferentes, estos aminoácidos están unidos entre si formando una cadena polipeptídica. (Cegarra, 2005) (Pesok, 2004)

Todos los aminoácidos contienen carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno, y algunos también contienen azufre. Los aminoácidos son ácidos carboxílicos (-COOH) que poseen un grupo amino (-NH₂) unido a la cadena carbonada. (Feliti, 2010)

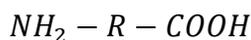
Esquemáticamente podemos representar su fórmula por:

Ecuación 1: *Cadena Polipeptídica*



O más simplemente por:

Ecuación 2: *Cadena Polipeptídica Simplificada*

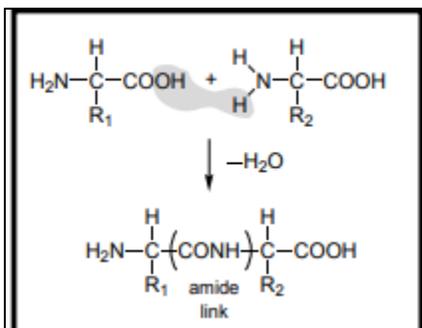


Donde R representa la cadena lateral de diferente tipo, algunas de estas cadenas laterales provienen del aminoácido cistina la cual puede formar puentes entre las cadenas polipeptídicas, lo que hace que la queratina pueda observarse como un polímero tridimensional. (Pesok, 2004)

El crecimiento de una cadena proteica requiere la formación de un enlace covalente conocido como enlace peptídico. Donde el grupo carboxilo del aminoácido al final de la creciente cadena polipeptídica reacciona con el grupo amino de un aminoácido entrante, liberando una molécula de agua se forma el enlace peptídico. Este proceso se repite en cada extremo de la nueva molécula y, por lo tanto, la molécula crece de manera constante. (OpenStax, 2015)

Figura 6

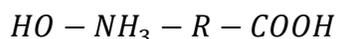
Cadena proteica



Fuente: (Wilfred, 1993)

Los grupos $-NH_2$ y $COOH$ son de naturaleza hidrofílica es decir tienen una gran afinidad por el agua, al estar en contacto se hidratan pasando a tener una estructura de la siguiente forma (Cegarra, 2005):

Ecuación 3: *Cadena Proteica hidratada*



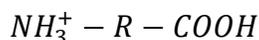
Ello juega un papel muy importante en el comportamiento de estas fibras durante la tintura.

Las fibras poseen naturaleza anfótera como consecuencia de los grupos amino y carboxilo, brindando a la fibra una gran reactividad hacia compuestos de naturaleza ácida o básica, por ende hacia los colorantes que posean una u otra constitución (Cegarra, 2005)

La fibra al obtener esta cualidad hace que se amplíe la gama de colorantes para el teñido. Así cuando se encuentran en medio ácido, el grupo carboxilo queda bloqueado y entonces son susceptibles de reaccionar con los ácidos, sucediendo lo contrario en presencia de un medio alcalino. (Cegarra, 2005)

Medio ácido: Los iones de hidrógeno reaccionan con los aniones carboxilato para formar grupos de ácido carboxílico, dejando los grupos de amonio cargados positivamente lo que permitirá atraer a los aniones de los colorantes, así como los aniones del ácido y de las sales auxiliares. (Lewis & Rippan, 2013) (Pesok, 2004)

Ecuación 4: *Cadena proteica en medio ácido*



Medio alcalino: Los iones hidrógeno se extraen de los grupos amino cargado positivamente. Los aniones carboxilo confieren una carga negativa al sustrato (Lewis & Rippan, 2013) (Pesok, 2004)

Ecuación 5: *Cadena proteica en medio básico*



2.2) Colorantes textiles

Se observa que la gama de colorantes para teñir la fibra es muy extensa siendo difícil crear un agrupamiento químico para estudiarlos, por ello los colorantes no serán clasificados por su estructura química si no por la facultad de teñirse en medio acuoso con pH más o menos elevado, lo que lo lleva a sub clasificarlos en colorantes ácidos o básicos. (Cegarra, 2005).

De esta clasificación solo es de importancia la primera pues los colorantes básicos son muy poco usados, además se debe mencionar que muchos colorantes ácidos tienen grupos sulfónicos en su molécula y la formación de enlaces iónicos entre estos grupos sulfónicos ácidos y los grupos amino básicos de la queratina es una de las causas por la que el colorante se fije en la fibra. (Pesok, 2004)

2.2.1) Colorantes ácidos

2.2.1.1) Constitución química y propiedades tintóreas. Los primeros tintes sintéticos para la lana fueron los Ácidos y reciben esta denominación debido a que tiñen la fibra proteica en una solución más o menos ácida, son suficientemente solubles para permitir la aplicación directa desde una solución acuosa.

Según el punto químico se podría denominar colorantes aniónicos ya que tienen el cromóforo asociado a grupos de esta característica. Según la constitución química de este cromóforo se puede clasificar en tres grupos: Azoico, Antraquinónicos y derivados del Trifenilmetano. (Cegarra, 2005)

Todas las moléculas de colorante ácido tienen ciertas características en común. Todos poseen al menos un grupo de átomos que imparte solubilidad en agua al gran componente coloreado de la molécula. Suele ser, aunque no siempre, la sal sódica de un grupo de ácido sulfónico, $-SO_3Na$ (Marcano, 2018)

Siendo las familias químicas que componen la gama de los colorantes ácidos muy variados, se ha efectuado una clasificación de los mismos atendiendo a la forma en que deben aplicarse para dar tinturas correctas:

Los colorantes del grupo I o “ácidos de buena igualación”, son de bajo peso molecular y se tiñen comúnmente con baños de 3-4% de ácido fórmico, agregándose de 5 a 10% de sulfato de sodio, de esta manera el pH de la solución llegara a 2.5 o 3. Estos colorantes tienen buena

solubilidad en agua (debido al grupo sulfónico que posee) pero baja afinidad por la fibra. (Pesok, 2004) (Lewis & Rippan, 2013)

Los colorantes de grupo II tienen una mayor afinidad por la fibra que el grupo I, se tiñen a pH 4,5 - 5,5 con ácido acético. Poseen buena migración y mediana igualación (Pesok, 2004)

Los colorantes del grupo III, o “batán”, son de mayor peso y tamaño molecular que los del grupo I, o “de buena igualación”. Tienen muy alta afinidad por la fibra y por tanto, dentro de ella, difunden o migran con dificultad, no es fácil usar mezclas o tricromías de ellos. Se pueden teñir a pH 6.0-8.5 con sales como el acetato de amonio ó el sulfato de amonio que en solución dan un pH ligeramente ácido, que va disminuyendo gradualmente al entrar el baño en ebullición por desprendimiento de NH₃. (Pesok, 2004)

Una vez conocida los tres tipos de colorantes ácidos, es necesario abocarnos a los del tipo II:

2.2.1.2) Colorantes pre- metalizados. Los colorantes pre-metalizados se encuentran desde el punto de vista tintóreo dentro de los colorantes ácidos, estos están constituidos por un átomo metálico al cual se unen una o varias moléculas de colorante. Los colorantes pre-metalizados reúnen las ventajas de los colorantes ácidos y de los complejos metálicos. (Cegarra, 2005)

Existen dos tipos de colorantes pre metalizados: los pre metalizados 1:1, que tienen una molécula de colorante por átomo de cromo y, los pre metalizados 1:2, que tienen dos moléculas de colorante por átomo de cromo, tiñen en baño neutro. (Pesok, 2004)

En esta tesis nos enfocaremos a los colorantes pre metalizados 1:2 debido a que los colorantes usados en la parte experimental pertenecen a esta familia.

2.2.1.2.1) Colorantes pre metalizados 1:2.

A) Composición:

Los pre-metalizados 1:2 pueden subdividirse, a su vez, en dos subgrupos:

1) Los colorantes pre metalizados 1: 2 simétricos, poseen dos moléculas de colorante los cuales son simétricos con respecto al átomo de cromo, conocidos como no sulfonados, estos tiñen la lana a pH neutro poseen buena igualación y por ende buena solidez. (Pesok, 2004)

2) Los colorantes pre metalizados 1:2 asimétricos, hechos con dos colorantes de distinto tipo por átomo de cromo, de los cuales solo uno tiene un grupo sulfónico. Estos colorantes mono sulfonados pueden teñirse en baño ligeramente ácido con la adición de agentes auxiliares, tienen buena solubilidad. (Pesok, 2004)

Se cree que estos colorantes tienen una buena solidez porque al ser de elevado peso molecular se crea enlaces de tipo secundario por fuerzas Van der Waals.

B) Tintura

Cuando las fibras se sumergen en el agua, desarrollan una carga negativa, dado que el signo de la fibra y del anión colorante es el mismo, la fibra repele al colorante dificultando o incluso impidiendo su acercamiento, es por esto que es necesario ajustar las condiciones del baño del tinte adicionando un electrolito, como la sal común, la cual mejora la atracción al enmascarar las cargas superficiales negativas de la fibra, y por ende aumenta la absorción del tinte.

Los factores que tienen una mayor influencia en la tintura de la lana con colorante pre metalizado son la temperatura, acidez del baño, productos auxiliares y las sales inorgánicas neutras. (Marcano, 2018)

Cuando el colorante se encuentra a bajas temperaturas el % de agotamiento del complejo es aparente, ya que se produce una rápida absorción del colorante por la fibra, sin embargo cuando se encuentra entre los 70° y 75°C la absorción se acelera por esto es aconsejable mantener la

temperatura constante durante un tiempo para que esto ayude a que el colorante se deposite uniformemente sobre la fibra. (Cegarra, 2005)

Los colorantes pre metalizados 1:2 son menos sensibles a la diferencia de carga que presenta la fibra debido a que las cargas eléctricas están deslocalizada y es repartida alrededor del átomo metálico siendo posible una hidratación, mientras que los colorantes no metalizados tienen la carga localizada en el grupo sulfónico y por ello son más sensibles a las atracción o repulsiones electrostáticas que se genere en la fibra

2.3) Tintura de fibras proteicas (alpaca)

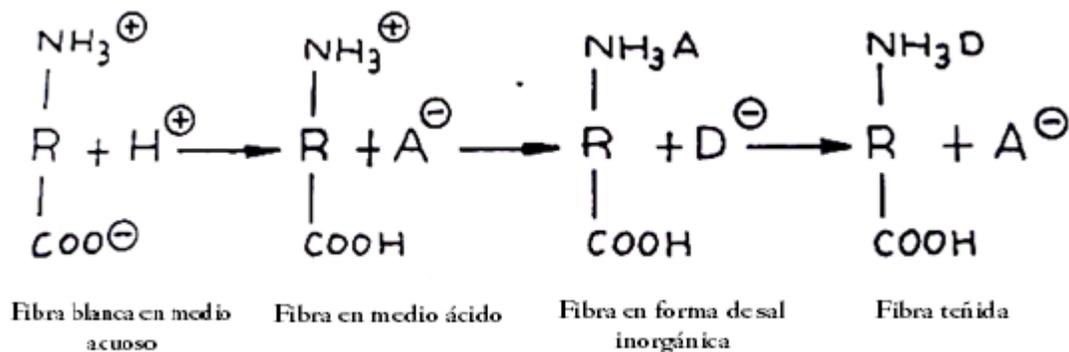
2.3.1) Mecanismo de tintura

Recordando el carácter anfótero de la fibra, el efecto del pH del medio y considerando los otros compuestos que se añaden al baño de teñido como los electrolitos neutros (sulfato de sodio, (Na_2SO_4)), los cuales actúan como agentes igualantes, por lo que se deduce que produce un desplazamiento del equilibrio del colorante de la fibra hacia la solución de tintura. (Cegarra, 2005). El agregado de sulfato de sodio genera una acción retardante e igualante extra, pues el anión SO_4^{2-} , relativamente pequeño, difunde y compite mejor con el anión colorante, mucho más grande, por los lugares de tintura en la fibra. (Pesok, 2004).

Entonces se propusieron teorías de teñido entre la fibra, ácido y colorantes, así mismo existe una reacción que se puede expresar de la siguiente forma:

Figura 7

Mecanismo de tintura con colorantes ácidos



Nota: H⁺ (protones del medio ácido), A⁻ (anión del electrolito neutro), D⁻ (anión del colorante). Fuente:

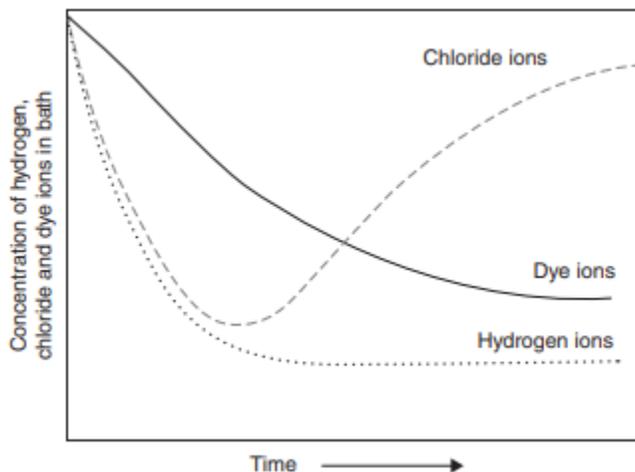
(Cegarra, 2005)

Dicha imagen explica que es lo que pasa cuando la fibra es sumergida al baño de tinte, el anión del electrolito se fija sobre la fibra antes que el del colorante debido a que tiene un peso molecular inferior y por ende una más rápida difusión, llegando rápidamente a alcanzar una absorción máxima, a partir de este momento el anión colorante desplaza de la fibra al anión inorgánico. (Cegarra, 2005) (Lewis & Rippan, 2013)

El siguiente diagrama muestra que inicialmente hubo una muy rápida adsorción de iones de hidrógeno y aniones de cloruro (provenientes de un electrolito neutro NaCl), mientras aumenta el tiempo la difusión de aniones de tinte desplaza progresivamente los iones cloruro de la lana debido al aumento de la concentración de iones cloruro en el baño. (Lewis & Rippan, 2013)

Figura 8

Concentración de los distintos iones en un baño de tinte de lana en función de tiempo



Fuente: (Lewis & Rippan, 2013)

La mayor afinidad de los grupos aniónicos del colorante con respecto del componente inorgánico no puede ser explicado solo por la afinidad iónica sino que debe poseer una mayor fuerza, la cual es explicada a través de interacción de dipolos, uniones hidrógeno y fuerzas de Van der Waals (entre la parte no polar o hidrófoba del anión colorante con la cadena hidrocarbonada, también no polar e hidrófoba, de la queratina), estas fuerzas aumentan con el peso molecular y decrecen con la solubilidad del colorante. (Cegarra, 2005)

2.3.2) Fisicoquímica del teñido

Los fenómenos tintoreros han sido motivo de arduas investigaciones y polémicas en referencia a como pueden ser consideradas si de carácter netamente física o química. Estas discusiones llevarían a concluir que la tinte de las fibras no es de naturaleza simple, si no que ambas índoles (físicas y químicas) interactúan entre sí. (Cegarra, 2005)

Así pues la tintura de fibras textiles puede ser considerado como un fenómeno de transferencia de masa en un sistema de dos fases: una fase sólida constituida por la fibra textil y una fase líquida constituida por una solución acuosa de uno o más colorantes hidrosolubles (más otras sustancias auxiliares, como pueden ser tensoactivos, electrolitos, etc.). (Pesok, 2004)

2.3.2.1) Etapas del proceso de teñido. Si analizamos un proceso tintorero podremos apreciar que pasa por las siguientes etapas o fases:

2.3.2.1.1) Difusión en fase líquida. En la primera parte del teñido, se agrega los auxiliares y el colorante, ambos se encuentran en medio acuoso en sus formas simples, micelares o formando agregados moleculares. Estos agregados se desplazan a través de la fase líquida a la fibra.

Existen diversos factores que condicionan la difusión del colorante, acelerando o retardándolo:

- El tamaño de los "poros" amorfos en la estructura cristalina molecular de la fibra. (Perinat, 2007)

El tamaño de estos poros en relación con el tamaño de las moléculas de colorantes, permitirá o no que el colorante pudiese penetrar en la fibra. (Cegarra, 2005). "Las zonas cristalinas tienen espesores del orden de 230 Å, y están separados por "poros" de diámetro 6 Å en seco o de hasta 41 Å en mojado, permitiendo esta última situación el paso del colorante al interior de la fibra" (Cegarra, 2005).

- El estado de agregación del colorante. Las moléculas del colorante que hay en una solución tintórea pueden agregarse formando macromoléculas, pero sólo en agregación monomolecular este colorante puede ser absorbido por la fibra a tintar. Cuanto más alto es el índice de agregación del colorante más bajo será el de la velocidad de difusión de ese colorante.

La velocidad de tintura está en relación con la velocidad de difusión del colorante. (Perinat, 2007)

2.3.2.1.2) Adsorción. Es el paso de las moléculas de colorante desde la fase líquida a la sólida. Luego que se produzca un gradiente de concentración de colorante en la difusión (desde una zona de turbulencia hacia la interface líquido/fibra) las partículas colorantes atraviesan las distintas capas de la fase líquida, llegan a la interface entre líquido y conjunto de moléculas poliméricas de la fibra y se comportan como tensoactivos reduciendo la tensión superficial del agua y acumulándose en esa interface. Se produce entonces allí un exceso de concentración. Es importante destacar que la tintura comienza en esta interface. (*Pesok, 2004*)

2.3.2.1.3) Difusión en fase sólida. Este es el movimiento que realiza el colorante desde la superficie de la fibra hacia su interior (*Cegarra, 2005*). Luego de este aumento de concentración en la interface, las partículas colorantes comienzan a difundir dentro de la fibra, hasta que, eventualmente se llega a una concentración de equilibrio. (*Pesok, 2004*)

2.3.2.1.4) Fijación. Por último cuando se establecen los enlaces entre fibra y colorante estaremos hablando de la fijación. (*Cegarra, 2005*). La fijación del colorante a la fibra dependerá potencialmente de la afinidad del colorante. Si fuera de baja afinidad, la difusión de las partículas de colorante dentro de la fibra se facilitará y se obtendrán tinturas igualadas. En cambio, en colorantes de alta afinidad, las primeras partículas que se fijen molestará la difusión del resto que viene detrás. Se obtendrán así tinturas desiguales. Por lo general en la tintura de alpaca y lana con colorantes ácidos el colorante se fija por enlaces de hidrógeno, enlaces electrovalentes y fuerzas de Van der Waals. (*Pesok, 2004*)

2.4) Cinética de tintura

2.4.1) Isotermas de adsorción:

Para estudiar un sistema estacionario o en equilibrio no se considera el tiempo, sin embargo, si un material textil es introducido a una solución con colorante hasta que no se alcance el equilibrio

en el teñido estaremos en presencia de un sistema transitorio es decir existirá una velocidad de tintura y por ende se debe considerar el tiempo (Cegarra, 2005).

La explicación teórica del equilibrio de tinturas es posible hacerla mediante el estudio termodinámico en atención a la mayor concisión y precisión de las formulas empleadas. Durante el desarrollo de dicho estudio termodinámico del equilibrio tintorero nos referimos al colorante distribuido entre las dos fases fibra y solución. En la nomenclatura que usaremos 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. (Cegarra, 2005)

Para determinar las concentraciones de los colorantes en la fibra y en la solución tendremos que estudiar las isothermas de adsorción, el objetivo de las isothermas es estudiar las variaciones de la concentración del colorante en la fibra, así como la relación con la concentración del colorante en la solución. (Pesok, 2004)

La mayoría de los isothermas de tintura y dependiendo del sistema colorante/fibra textil, las condiciones de equilibrio podrán ser representadas por tres tipos diferentes de isothermas de adsorción: (Cegarra, 2005), de las cuales solo analizaremos la de Lagmuir debido a que solo esta está enfocada en el estudio realizado.

A) Isotherma de Langmuir:

Esta isoterma fundamenta que el colorante es adsorbido por la fibra en lugares específicos, de tal modo que cuando las moléculas ocupan todos los lugares, la dejan saturada. (Cegarra, 2005)

Supongamos una fibra conteniendo $[C]_f$ moles de colorante por kg de fibra, en equilibrio con una solución tintorera 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 $[C]_{SAT}$. (Cegarra, 2005)

El colorante proveniente de la solución llega continuamente a la superficie de la fibra y es absorbido. La velocidad de adsorción referida al colorante en solución es igual a la referida al colorante en fibra, pero cambiando el signo. (Cegarra, 2005)

Ecuación 6:

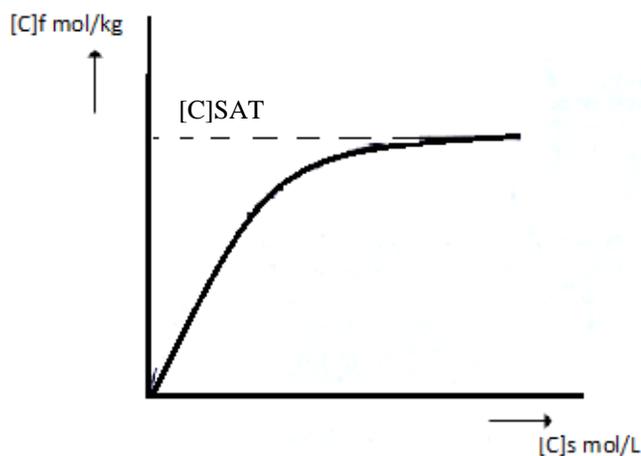
$$-\frac{d(C)_s}{dt} = \frac{d(C)_f}{dt}$$

Esta es proporcional a la concentración de colorante en la solución y también al número de lugares no ocupados: $[C]_{SAT} - [C]_f$, entonces: (Cegarra, 2005)

La representación gráfica de esta última ecuación es una curva donde $[C]_f$ tiende y casi alcanza el valor constante límite de saturación $[C]_{SAT}$ (Cegarra, 2005)

Figura 9

Isoterma de adsorción según la ecuación de Langmuir



Fuente: (Cegarra, 2005)

2.4.2 Velocidad de tintura

No todas las partículas de un sistema tintorero realizan una determinada transformación al mismo tiempo, los reactivos y los productos de reacción coexisten durante toda la transformación y es evidente que en cada instante una pequeña fracción de moléculas participa de la transformación en el baño de tintura o en el interior de la fibra. Entonces la extensión del fenómeno tiempo puede ser medida por la fracción transformada C_t expresada en gr/Kg o por **% de colorante absorbido**. Entonces la velocidad de tintura viene definida por el peso de colorante absorbido en unidad de tiempo, o en los “t” primeros minutos de tintura, expresándose por regla general el colorante absorbido por la fibra, en función de % de agotamiento del baño de tintura. (Cegarra, 2005)

2.4.2.1) Ecuaciones de cinética empírica de tintura. Una forma más completa de definir velocidad de tintura es a partir de expresiones cinéticas de tipo semi empírico, y a partir de la evolución de $\frac{C_t}{C_\infty}$ respecto al tiempo, pueden calcularse los valores de las constantes y parámetros cinéticos relacionados directamente con el proceso de tintura a unas condiciones de trabajo determinadas. Estos modelos permitirán modelizar la evolución del sistema a dichas condiciones. (Valdeperas, Carrillo, & Navarro J.A, 2006)

Algunas de las ecuaciones utilizadas son las siguientes:

A) Ecuación parabólica:

De las ecuaciones cinéticas de tintura que se conocen, la más sencilla y utilizada es la deducida de la ecuación reducida de la difusión la cual nos dice que la cantidad de colorante por unidad de peso de fibra absorbido en un tiempo “t” es directamente proporcional a la raíz cuadrada del tiempo. (Cegarra, 2005)

Ecuación 7

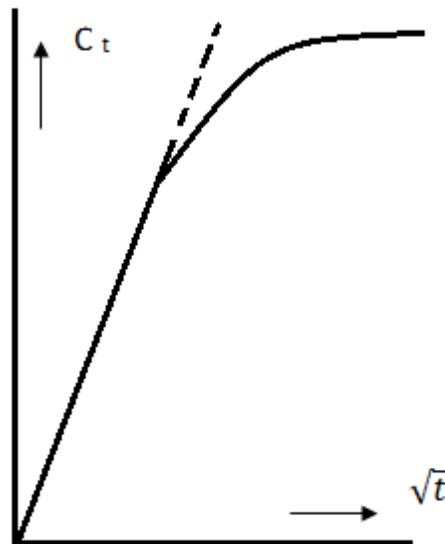
$$C_t = k\sqrt{t}$$

Donde:

- C_t = Concentración del colorante en la fibra para un tiempo t
- k = Constante de velocidad de tintura
- t = Tiempo de tintura

Figura 10

Ecuación parabólica $C_t = k\sqrt{t}$



Fuente: (Cegarra, 2005)

A) Ecuación de Cegarra Puente:

Esta ecuación está basada en una propiedad fundamental de los equilibrios tintoreros existe una velocidad directa de colorante del baño hacia la fibra y una velocidad inversa 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 . La velocidad directa será

directamente proporcional a la cantidad de colorante existente en la fibra (Cegarra, 2005) Entonces tendremos:

Ecuación 8

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

Donde:

- C_t = Concentración de colorante en fibra en tiempo t
- C_∞ = Concentración del colorante al equilibrio
- k= Constante de velocidad de tintura
- t= Tiempo de tintura

La ecuación Cegarra Puente fue deducida para baños de concentración constante, sin embargo puede resolverse para baño con agotamiento introduciendo en ella las modificaciones adecuadas debido precisamente al agotamiento del baño. (Cegarra, 2005)

Una de las modificaciones fue realizada en la Tesis Doctoral de J. Valleperas (1998), que consiste en suponer que la velocidad directa, con relación a la que tendrá en baño de concentración constante, disminuye con el transcurso del tiempo. Esta disminución se materializo 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 8 se transforma en: (Valleperas, Carrillo, & Navarro J.A, 2006)

Ecuación 9:

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

Donde:

- C_t = Concentración de colorante en fibra en tiempo t
- C_∞ = Concentración del colorante al equilibrio
- k = Constante de velocidad de tintura
- t = Tiempo de tintura
- a = Pendiente de la recta
- $a \ln K$ = Ordenada en el origen

2.4.3) *Velocidad de transporte de colorante*

Existe diferentes formas de expresar velocidad de transporte: Flujo, Velocidad de difusión y Velocidad de Absorción.

- a) Flujo:** igual a la cantidad de colorante “n” por unidad de área y por unidad de tiempo “t” que cruza una superficie (A).

Ecuación 10: *Velocidad de Flujo*

$$J = \frac{dn}{A dt}$$

- b) Velocidad de difusión:** velocidad con que el colorante se acumula en el interior de la fibra. Depende de la distancia y se expresa en términos de concentración local (g/l, Moles/l)

Ecuación 11: *Velocidad de Difusión*

$$\frac{d C}{d t}$$

- c) Velocidad de absorción:** coincide con la velocidad de tintura, es la velocidad con que el colorante desaparece del baño, o la aparición del colorante en la fibra.

Ecuación 12: *Velocidad de adsorción*

$$\frac{d M_t}{d t}$$

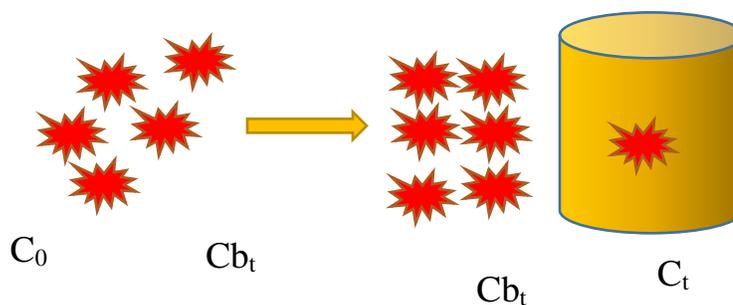
Durante un tiempo existe simultaneidad de las tres velocidades y debemos saber cuál es la más lenta pues esta determinara la velocidad de tintura. (Cegarra, 2005) La difusión es la etapa más lenta, desde el punto de vista cinético, por lo que será la que, en realidad, controlará o limitará todo el proceso. (Quisigüiña, 2014)

2.4.4) Cuantificación del proceso de tintura

Si el enfoque por mecanismos resulta adecuado, debería permitir una cierta cuantificación del proceso de tintura. Para ello el proceso debe estructurarse en una serie de parámetros que puedan determinarse experimentalmente.

Figura 11

Parámetros del proceso de teñido



Fuente: (Quisigüiña, 2014)

Ecuación 13:

$$C_0 = C_{b_t} + C_t$$

Donde:

C_0 = corresponde a la concentración inicial de colorante en el baño

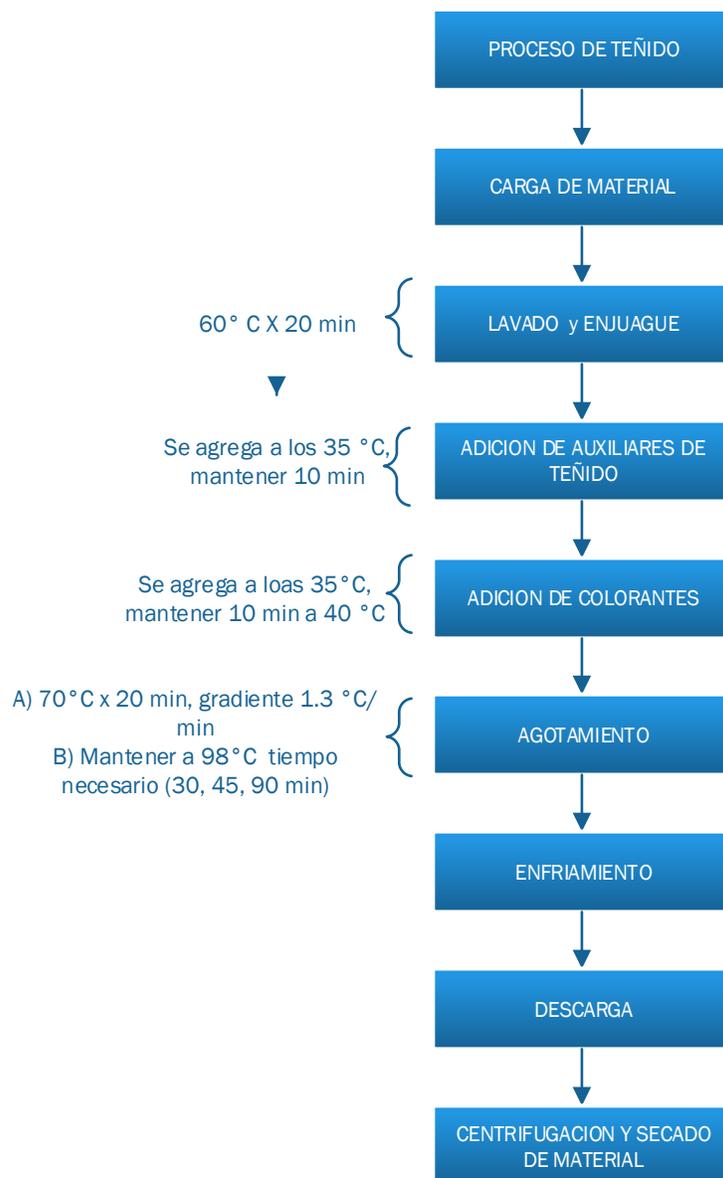
C_{b_t} = es la concentración de colorante que queda en el baño a un tiempo t

C_t = es la concentración de colorante en el interior de la fibra. (Quisigüiña, 2014)

2.5) Proceso y curva de tintura con colorantes ácidos en la alpaca en la industria.

2.5.1) Proceso

A continuación, tenemos el diagrama de proceso el cual se usa en la industria textil específicamente en el área de la tintorería, para máquinas de tipo armario y de brazos.

Figura 12*Diagrama del proceso de Tintura*

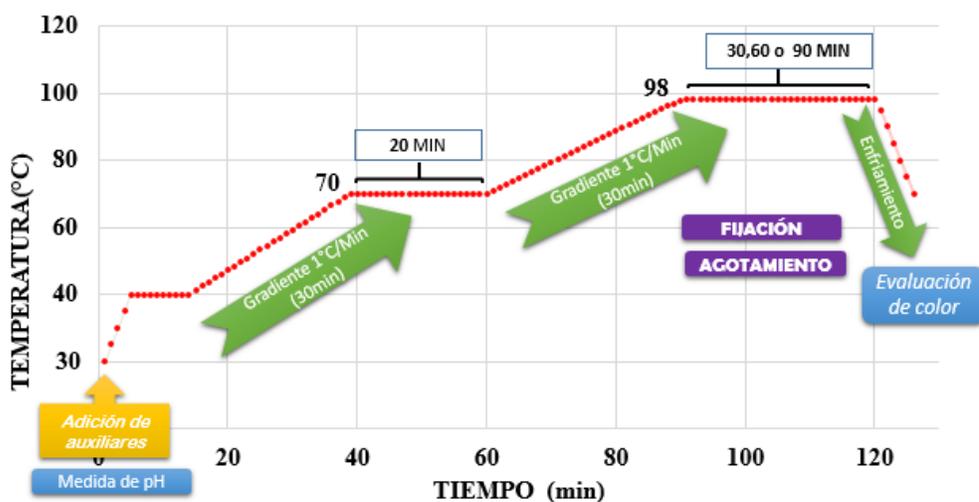
Fuente: Elaboración propia

2.5.2) Curva de teñido

En las diferentes empresas textiles de la ciudad se han establecido ciertos parámetros para el teñido de alpaca con colorantes ácidos, en la siguiente curva se detalla el proceso y los parámetros sugeridos.

Figura 13

Curva de teñido con colorantes Ácidos



Fuente: Elaboración propia

2.6) Surfactantes

Los surfactantes o tensoactivos, también conocidos como compuestos anfífilicos, son sustancias con una doble afinidad, la cual se define desde un punto de vista físico-químico como una doble característica a la vez polar y apolar. Se trata de una sustancia que contiene una molécula que se puede dividir en dos partes: por un lado una parte polar que contiene heteroátomos con grupos funcionales como alcohol, tiol, éter, éster, ácido, sulfato, sulfonato, fosfato, amina, amida, etc., y por otra parte un grupo apolar compuesto generalmente por un hidrocarburo. La parte polar presenta afinidad por los disolventes o moléculas polares (agua, molécula inorgánica, etc.) y la

parte apolar por los disolventes orgánicos (hidrocarburos, grasas). Debido a esta doble afinidad, este tipo de sustancias se ancla a un solvente polar a través de su grupo polar mientras que el grupo apolar se encuentra solvatado a un solvente orgánico. (Ballón, 2003)

Figura 14

Estructura de un surfactante o tensoactivo



Fuente: (Ballón, 2003)

Para que un tensoactivo sea considerado compuesto anfifílico es necesario que posea una longitud de cadena hidrófoba de al menos ocho átomos de carbono pudiendo ser hidrogenadas, linear o ramificada, conteniendo o no enlaces dobles, además deben presentar la posibilidad de formar micelas para ser considerados compuestos tensoactivos. (Cantero M., 2010) (Oliver Rodriguez, 2013)

2.6.1) Clasificación de tensoactivos

La clasificación más aceptada de la comunidad científica se basa en la naturaleza de su grupo hidrófilo (parte polar) o carácter iónico. (Molina, 2006) (Filipe, 2006)

El carácter iónico es la carga de la molécula de tensoactivo cuando se disocia en agua a pH neutro. La parte hidrofílica de la moléculas determina su carácter iónico. (Órgão Oficial Da Associação Brasileira de Químicos e Coloristas Têxteis, 2000)

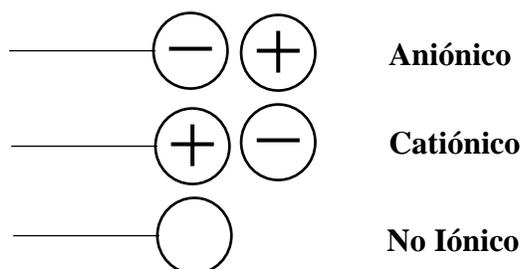
De este modo se habla de tensoactivos:

- Aniónico, cuando la carga de tensoactivo es negativa.

- Catiónico, cuando la carga de tensoactivo es positiva.
- No iónico, cuando el tensoactivo no tiene carga, porque no se disocia.
- Pseudocatiónico, cuando el tensoactivo puede presentar carga positiva en medio ácido.
- Anfótero, cuando el tensoactivo puede presentar tantas cargas iónicas.

Figura 15

Carácter Iónico de los surfactantes



Fuente: (Órgão Oficial Da Associação Brasileira de Químicos e Coloristas Têxteis, 2000)

2.6.1.1) Tensoactivos no iónicos. Son sustancias no ionizadas en disolución. La polaridad del átomo de oxígeno, le confiere a estos tensoactivos no iónicos su solubilidad en agua como resultado de la hidratación de estos grupos por moléculas de agua. El grado de hidratación decrece con el aumento de la temperatura, disminuyendo por tanto la solubilidad en agua. La parte lipofílica debe tener una longitud que este en consonancia con el número de grupos polares que posea el tensoactivo en cuestión, para evitar que aparezcan problemas de insolubilidad de la molécula. (Dominguez, 2009)

Los primeros tensoactivos no iónicos se obtuvieron en Alemania en 1930, por reacción de alcoholes grasos o alquilfenoles sustituidos con óxido de etileno en presencia de catalizadores básicos. (Semarnat, 2003).

Los tensoactivos no iónicos más ampliamente utilizados son los alcoholes etoxilados (AEO). En función del grado de etoxilación se obtienen productos con un balance hidrófilo-lipófilo distinto con múltiples aplicaciones. Los productos con menor peso molecular se encuentran en estado

líquido, a medida que se incrementan su peso molecular tienden a ser más pastosos hasta llegar a un estado sólido céreo. Forman micelas con mayor facilidad que los tensoactivos iónicos debido las menores repulsiones electrostáticas en la superficie. Este tipo de compuestos son menos sensibles a la dureza del agua que los tensoactivos aniónicos. También poseen menor poder espumante, por ello pueden ser utilizados como reguladores de esta característica. (Dominguez, 2009)

2.6.2) Aplicación de surfactantes en la industria textil

La industria textil utiliza una gran variedad de surfactantes, de un lado para mejorar el rendimiento de las diferentes operaciones y de otra parte para proporcionarle ciertas propiedades a los productos terminados de las reacciones de tintado lo que produce una coloración final más uniforme. (Salager, 2002)

Es posible identificar algunas aplicaciones en la industria textil de un surfactante a partir de su HLB, sabiendo que otros factores, como el carácter iónico, el pH de la solución; la temperatura, entre otros, también influye en la aplicación. El HBL (equilibrio hidrofílico / lipofílico) es la relación entre la parte hidrófila y la parte hidrófoba de la molécula de un tensoactivo. Cuanto mayor sea el HLB, mayor será la hidrofilia de la molécula del tensoactivo. Para cada aplicación hay una serie de HLB que se utiliza con más frecuencia. (Órgão Oficial Da Associação Brasileira de Químicos e Coloristas Têxteis, 2000)

Tabla 1

Aplicación de tensoactivos según su HBL

PUNTUACION DE HLB	APLICACIÓN
0-3	Antiespumante
4-6	Emulsiona agua en aceite
7-9	Humectante

8-15	Emulsiona aceite en agua
13-15	Detergente
15-18	Solubilizante

Nota: Fuente: (Órgão Oficial Da Associação Brasileira de Químicos e Coloristas Têxteis, 2000)

Según su uso de los tensoactivos en la industria textil se clasifican:

2.6.2.1) Portadores. Los portadores contienen tensoactivos en su formulación, sin embargo estos auxiliares tienen como base sustancias no tensoactivas y la sustancia tiene afinidad por la fibra, sin embargo no es soluble en agua por ende los tensoactivos presentes ayudarán a emulsionar el auxiliar en el agua.

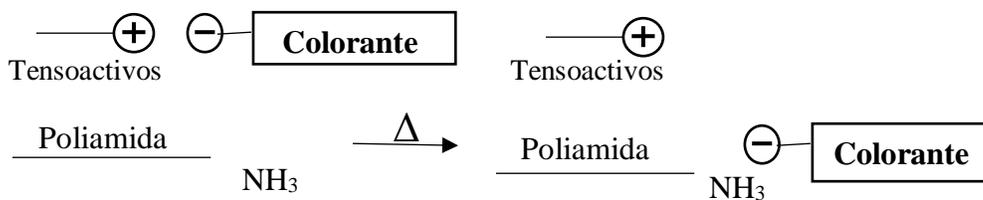
Existen portadores que también pueden ayudar con la igualación. (Órgão Oficial Da Associação Brasileira de Químicos e Coloristas Têxteis, 2000)

2.6.2.2) Igualantes. Los auxiliares igualantes son productos específicos para determinadas fibras y tintes. Al elegir el igualante a usar es importante determinar el tipo de fibra a teñir y el tipo de tinte elegido. (**Órgão Oficial Da Associação Brasileira de Químicos e Coloristas Têxteis, 2000**)

Existen tres tipos de igualadores:

- Afinidad por la fibra
- Afinidad por el tinte
- Sin afinidad a tintes o fibras, teniendo su acción exclusivamente en la alteración de la tensión superficial.

Si se tiñe con colorantes ácidos (aniónicos), se usa un igualante pseudoiónico pues este tendrá afinidad por el tinte, teniendo en cuenta que con el aumento de temperatura, este tensoactivo disminuirá su afinidad con el tinte y por ende el tinte podrá teñir la fibra. (Órgão Oficial Da Associação Brasileira de Químicos e Coloristas Têxteis, 2000) (Salager, 2002)

Figura 16*Tensoactivos Igualantes*

Fuente: (Órgão Oficial Da Associação Brasileira de Químicos e Coloristas Têxteis, 2000)

Cuando el igualante retiene el tinte en el baño, significa que el tensoactivo base no perdió la afinidad con el colorante o la fibra en el aumento de la temperatura, es decir no permite el teñido de la fibra. En el caso de igualación con tintes directos de fibras celulósicas, el igualante actúa únicamente para romper la tensión superficial, facilitando así el contacto del agua y la fibra, por tanto se facilitara la penetración del tinte en toda ella. En este caso el tensoactivo actúa como humectante. (Órgão Oficial Da Associação Brasileira de Químicos e Coloristas Têxteis, 2000)

2.6.2.3) Retardantes. Los retardantes son agentes niveladores compuestos por tensoactivos catiónicos, estos tienen el mismo mecanismo que los igualantes pseudocatiónicos descritos anteriormente, son usados en teñido de fibra acrílica. (Órgão Oficial Da Associação Brasileira de Químicos e Coloristas Têxteis, 2000)

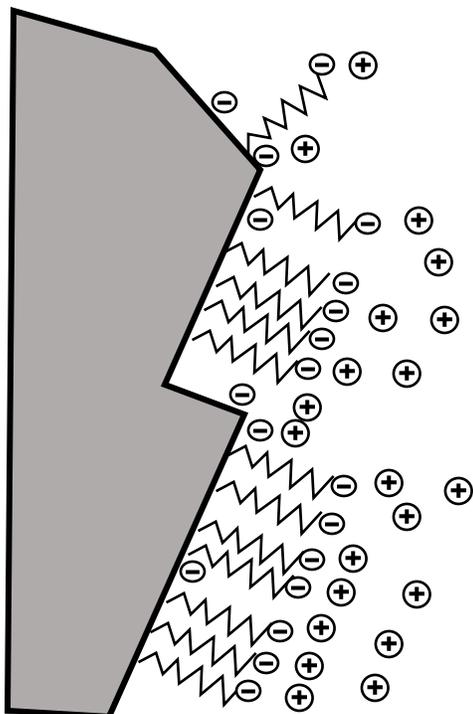
2.6.2.4) Dispersante. La característica principal de los dispersantes o coloides es proteger la dispersión, en el caso del teñido este tensoactivo es atraído y absorbido por las partículas del tinte a través de fuerzas intermoleculares, conforme el tensoactivo es absorbido por el tinte se va formando una capa protectora. En el caso de los dispersantes aniónicos esta capa tiene una carga negativa que evita que las partículas de tinte se aproximen, es decir se repelen. (Órgão Oficial Da Associação Brasileira de Químicos e Coloristas Têxteis, 2000)

En el caso de los tensoactivos no iónicos la protección se produce mediante el efecto esférico donde las propias moléculas de tensoactivo evitan la aglomeración de las partículas del colorante.

(Órgão Oficial Da Associação Brasileira de Químicos e Coloristas Têxteis, 2000)

Figura 17

Sistema de Dispersión



Fuente: (Órgão Oficial Da Associação Brasileira de Químicos e Coloristas Têxteis, 2000)

2.6.2.5) Hidratantes. Son formulaciones donde la función principal del tensoactivo es emulsionar el aire presente en el agua. Específicamente reemplaza las superficies de contacto aire/tela con una superficie de contacto agua/ tela. Para volver a humedecer se utiliza el mismo principio de humectación, sin embargo el tensoactivo debe permanecer en el material rehumedecido sin cambiar sus características (Reutlingen, 2002)

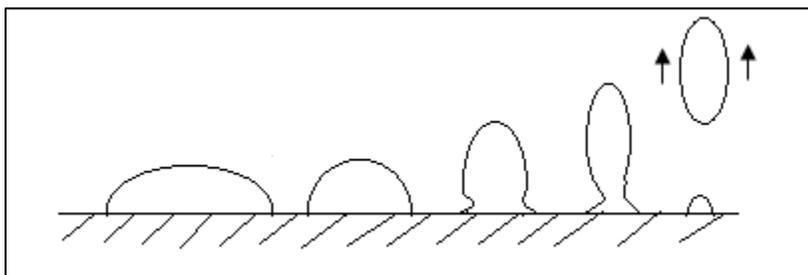
2.6.2.6) Detergentes. Son tensoactivos con un gran poder limpiador y/o emulsionantes. Los emulsionantes son necesarios para que la suciedad eliminada no pueda volver a adherirse a la fibra.

En algunos casos, se agregan solventes para obtener un mejor grado de limpieza. Los aceites se eliminan del tejido mediante el roll up, donde el tensoactivo empieza a envolver la suciedad perdiendo el área de contacto por lo que se desprende del material a limpiar. (Órgão Oficial Da Associação Brasileira de Químicos e Coloristas Têxteis, 2000) (Lange, 1994)

En el caso de partículas sólidas los tensoactivos favorecen la solubilización de las partículas, funcionando como dispersante.

Figura 18

Roll up



Fuente: (Lange, 1994)

2.6.2.7) Antiespumante. Los antiespumantes pueden basarse en los tensoactivos con bajo HLB o sustancias no solubles en agua. La espuma es una emulsión aire/agua, se mantiene estable debido a los tensoactivos utilizados como igualadores, dispersante entre otros. La sustancia antiespumante actúa sobre la estructura de la espuma provocando que pierda elasticidad, lo mismo ocurre con el aumento o disminución de la temperatura; la pérdida de la elasticidad es tan grande que la emulsión (aire en agua) se rompe. (Órgão Oficial Da Associação Brasileira de Químicos e Coloristas Têxteis, 2000)

2.6.2.8) Suavizantes. Los suavizantes pueden basarse en tensoactivos catiónicos, aniónicos y no iónicos, además de ciertos aceites naturales.

Los suavizantes aniónicos se utilizan poco debido a que presentan un poder suavizante menor que los de base no iónicos sin embargo las bases catiónicas tienen un poder suavizante mayor a las bases no iónicas. Cabe mencionar que la sensación de suavidad y volumen viene dado por la parte hidrófoba del suavizante, por esto la absorción de agua de los materiales textiles se ve afectado cuando se aplica un suavizante: (Órgão Oficial Da Associação Brasileira de Químicos e Coloristas Têxteis, 2000)

2.6.3) Ventajas e inconvenientes

Algunas ventajas que presentan los alcoholes etoxilados son:

- Variando el número de moles de unidades etoxiladas se consiguen propiedades muy diversas.
- Su comportamiento en agua es bueno, incluso en aguas duras
- Buena limpieza de fibras sintéticas
- Rápida biodegradación, pudiendo ser eliminados de las aguas mediante los procesos biológicos de tratamiento tradicionales, o por tratamientos avanzados como la ozonización o la adsorción en carbón activo
- Como inconveniente se puede decir que tienen una baja o moderada capacidad para la formación de espuma. (Fernandez, Louis, & Scorzza, 2004)

CAPITULO III

Materiales Y Métodos

3.1) Descripción de materiales

Los ensayos experimentales se llevarán a efecto en los laboratorios de una empresa textil y en el Laboratorio de análisis instrumental del departamento académico de Ingeniería Química.

3.1.1) Sustrato textil

Para el desarrollo experimental se utilizara material de alpaca FS o BL en hilado.

3.1.2) Insumos químicos

Se utilizaran los siguientes insumos:

3.1.2.1) Ácido acético. Usado para conseguir el medio ácido requerido para tintura con colorantes ácidos.

3.1.2.2.) Sulfato de sodio. El sulfato de sodio es la sal inorgánica escogido para la competencia de aniones y conseguir una correcta igualación.

3.1.2.3) AlbeGal Set (igualante). Es el igualante sugerido para nuestra tricromía de colorantes Lanaset.

3.1.2.4) Detergente textil. El detergente utilizado es el BOKOL FS, insumo de alto poder surfactante.

3.1.2.5) Alcohol Graso Etoxilado. La adsorción de surfactante (Alcohol Graso Etoxilado) reduce la velocidad de las reacciones de tintado lo que produce una coloración final más uniforme. De otro lado el surfactante dispersa las partículas de colorante, acelera la difusión del tinte, mejora el agotamiento del baño. Se usara un alcohol de la industria denominado PERLAVIN IMU.

3.1.3) Colorantes

Se usara la tricromía de los colorantes acido complejo metálico

Azul Lanaset 2R

Rojo Lanaset 2B

Amarillo Lanaset 2R

3.1.4) Agua de uso textil

Se obtendrá del suministro de agua de una industria textil, su principal característica es que es agua blanda.

3.1.5) Instrumentos de laboratorio

Los instrumentos a usar son los siguientes:

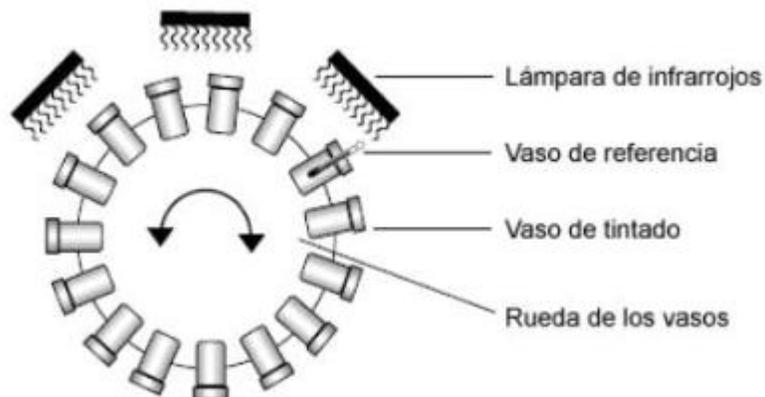
- Pipetas de 1 ml, 2 ml, 5ml, 10ml
- Matraz de 250 ml
- Vasos precipitado
- Vagueta
- Espátula

3.1.6) Equipos

3.1.6.1) Máquina de tintura AHIBA IR para laboratorio marca DataColor. Estas máquinas son usadas para teñir a escala laboratorio, cuenta con 15 tubos de teñido resistentes al cambio de presión y altas temperaturas. Diseñado con un tambor giratorio.

Las unidades emplean la última tecnología de calefacción mediante lámparas infrarrojas para un control preciso de la temperatura y la calefacción. Los parámetros programables se adaptan a muchos tipos de sustratos para los procedimientos de teñido y prueba. (Datacolor, 2020).

Principios de funcionamiento:

Figura 19*Máquina de tintura AHIBA*

Fuente: (Angie Echevarria Callupe, 2017)

Las tres lámparas de infrarrojos de alto rendimiento se utilizan para calentar los vasos. Se montan en la parte superior de la unidad. El calor se transfiere desde el vaso al baño de tinte.

El diseño de los vasos asegura que las temperaturas vaso a vaso sean uniformes.

Se utiliza un vaso de referencia montado con un sensor de temperatura para medir la temperatura del baño de tinte. La temperatura del momento se transmite al controlador a través de un conmutador giratorio.

Se utiliza un gran ventilador para introducir aire fresco en la cámara y refrigerar los vasos. El aire caliente es expulsado a través de un canal de extracción en la parte trasera de la unidad.

El ventilador tiene un ciclo de encendido y apagado, necesario para regular la temperatura.

Un múltiple sistema de seguridad monitorea la temperatura y protege al equipo y a las muestras de su recalentamiento. (Angie Echevarria Callupe, 2017)

Figura 20

Maquina AHIBA



3.1.6.2) Tubos para la Prueba de teñido. Son 15 tubos de acero inoxidable que se incorporan en un tambor en la máquina de teñido, resistentes a la presión y altas temperaturas requeridas para las pruebas de teñido.

Figura 21*Tubos de teñir*

3.1.6.3) Estufa de secado. Utilizada para secar las muestras después del teñido, llega a los 110°

Figura 22*Estufa de secado*

3.1.6.4) pH-metro. Equipo útil para toma de pH

Figura 23

pH-metro



3.1.6.5) Balanza digital. Equipo para preparar muestras con el peso adecuado.

Figura 24

Balanza digital



3.1.6.6) Crockmeter (Frictómetro). Equipo usado para el barrido de pruebas de solidez al frote húmedo y seco.

Figura 25

Frictómetro



3.1.6.7) Espectrofotómetro modelo DataColor Match Textile . Los espectrofotómetros de Data color sirven para especificar, formular y controlar el color crítico, con un procesador y software integrado y almacenamiento de datos, proporciona una plataforma para aumentar la eficiencia y la confianza en la medición del color. Así nos ayudara con las mediciones de L (intensidad), h (tonalidad), C (romaticidad) y DE en la experimentación. (Datacolor, 2020)

Figura 26*Data Color*

3.1.6.8) Cabina de Luz Spectralight. Para la evaluación visual del color de nuestras muestras, se necesita de la iluminación correcta pues esta es una de las influencias más críticas en la evaluación precisa del color. Su uso durante las diferentes etapas del desarrollo experimental permite que el color se evalúe con precisión bajo todas las condiciones de iluminación relevantes. La cabina consta de 7 fuentes de luz.

Estas fuentes de luz incluyen lámparas CIE de luz natural, lámparas fluorescentes de color blanco frío, lámparas incandescentes “A” y de 2300 K (luz del horizonte), lámparas UVA y otros dos tipos de lámparas fluorescentes (se puede elegir entre lámparas U30, U35, TL83 y TL84). (X-RITE, 2020)

Figura 27

Cabina de Luz Spectralight



3.1.6.9) Espectrofotómetro HACH DR 2800. Para la medición de la absorbancia del baño residual de los teñidos, y obtener su concentración residual. El espectrofotómetro DR 2800 es un espectrofotómetro del espectro visible, con un rango de longitud de onda de 340 a 900 nm, para análisis de laboratorio y de campo. Se suministra con un juego completo de programas de aplicación y un soporte en múltiples idiomas. El espectrofotómetro DR 2800 contiene los modos de aplicación siguientes: Programas almacenados (test preinstalados), Programas de códigos de barras, Programas del usuario, Programas favoritos, Modo Longitud de onda única, Modo Longitud de onda múltiple y Modo Lapso de tiempo. El espectrofotómetro DR 2800 suministra lecturas digitales en unidades directas de concentración, absorbancia o porcentaje de transmitancia. (HACH, 2005)

Figura 28

Espectrofotómetro



3.2) Metodología experimental

3.2.1) Variables en estudio

3.2.1.1) Variables Independientes. Mediante pruebas experimentales preliminares, revisión bibliográfica y datos recopilados se hizo la elección de las variables de mayor influencia en el proceso de teñido sobre la fibra de Alpaca. Y así mismo estas variables son las que depende la calidad del producto final.

Tabla 2

Variables Independientes Generales

Nombre de Variable	Símbolo	Unidad
Concentración Alcohol Graso Etoxilado	C _{IMU}	%
Tiempo de agotamiento	T	Minutos (min)

Temperatura de fijación T °C

Nota: Fuente Elaboración Propia

3.2.1.2) Determinación de los valores para las variables Independientes.

Valores Máximos y Mínimos de Temperatura de Fijación

Los valores mínimos y máximos son extraídos del catálogo de colorantes Lanaset, donde se recomienda temperaturas desde los 95 hasta 98 °C, considerando el porcentaje de colorante a usar, sin embargo en la presente investigación considerando las propiedades del alcohol graso etoxilado se espera que la temperatura sea menor por esto se considerará temperaturas de 80°C y 90°C

Valores Máximos y Mínimos de Tiempo de Fijación

Determinamos nuestros valores mínimos y máximos de tiempo de 15 y 30 minutos para colores de matices oscuros, tomando como referencia el catálogo Lanaset donde especifica tiempos de 30 y 40 minutos en matices claros y; 60 y 80 minutos para matices oscuros, se escoge estos valores debido a que el alcohol graso etoxilado presenta características que nos permiten reducir el tiempo de difusión, por lo tanto aumentar la velocidad de tintura.

Valores Máximos y Mínimos de Concentración de alcohol graso etoxilado

Para la determinación de mínimos y máximos del alcohol graso etoxilado se tomará en cuenta su hoja técnica y se evaluará las concentraciones de 0,5 y 1,0 %.

Tabla 3

Valores máximos y mínimos de variables independientes

Nombre de Variable	Valores mínimos	Valores máximos
Concentración Alcohol Graso Etoxilado	0.5%	1.0%

Tiempo de agotamiento	15 min	30 min
Temperatura de fijación	80°C	90°C

Nota: Fuente Elaboración Propia

3.2.1.2) Variables dependientes.

Tabla 4

Variables dependientes Generales

Nombre de Variable	Símbolo	Unidad
Porcentaje de Agotamiento	%AB	%

Nota: Fuente Elaboración Propia

3.2.1.3) Parámetros generales.

Tabla 5

Parámetros generales

Nombre de Variable	Símbolo	Valor
Ph	pH	4.5
Porcentaje de Sulfato de Sodio(*) (Retardante)	%Na ₂ SO ₄	10
Porcentaje de Albegal Set(*) (Igualante)	%Albegal –set	1
Porcentaje de Colorante	% C	1

Nota: Fuente: Elaboración Propia

3.3) Diseño estadístico de la experimentación

3.3.1) Diseño factorial 2k con replica en el punto central del diseño.

Cada grupo de matriz constara de 12 experimentos; 8 experimentos del diseño factorial 2^3 aplicado y 4 repeticiones en el punto central. Modelaremos la curva para una tricromía de colorantes ácidos, haciendo un total de 36 experimentos.

A) Rojo Lanaset 2R

Tabla 6

Diseño factorial para el Rojo Lanaset 2R

N° PRUEBAS	VARIABLES CODIFICADAS			VARIABLES NATURALES		
	X1	X2	X3	Z1 (T°)	Z2(t)	Z3(C)
1	-1	-1	-1	80	15	0.5
2	1	-1	-1	90	15	0.5
3	-1	1	-1	80	30	0.5
4	1	1	-1	90	30	0.5
5	-1	-1	1	80	15	1
6	1	-1	1	90	15	1
7	-1	1	1	80	30	1
8	1	1	1	90	30	1
9	0	0	0	85	23	0.75
10	0	0	0	85	23	0.75
11	0	0	0	85	23	0.75
12	0	0	0	85	23	0.75

Nota: Fuente Elaboración Propia

B) Azul Lanaset 2B

Tabla 7*Diseño factorial para el Azul Lanaset 2R*

N° PRUEBAS	VARIABLES CODIFICADAS			VARIABLES NATURALES		
	X1	X2	X3	Z1 (T°)	Z2(t)	Z3(C)
1	-1	-1	-1	80	15	0.5
2	1	-1	-1	90	15	0.5
3	-1	1	-1	80	30	0.5
4	1	1	-1	90	30	0.5
5	-1	-1	1	80	15	1
6	1	-1	1	90	15	1
7	-1	1	1	80	30	1
8	1	1	1	90	30	1
9	0	0	0	85	23	0.75
10	0	0	0	85	23	0.75
11	0	0	0	85	23	0.75
12	0	0	0	85	23	0.75

Nota: Fuente Elaboración Propia**C) Amarillo Lanaset 2R****Tabla 8***Diseño factorial para el Amarillo Lanaset 2R*

N° PRUEBAS	VARIABLES CODIFICADAS			VARIABLES NATURALES		
	X1	X2	X3	Z1(T°)	Z2(t)	Z3(C)
1	-1	-1	-1	80	15	0.5
2	1	-1	-1	90	15	0.5
3	-1	1	-1	80	30	0.5
4	1	1	-1	90	30	0.5
5	-1	-1	1	80	15	1
6	1	-1	1	90	15	1
7	-1	1	1	80	30	1
8	1	1	1	90	30	1
9	0	0	0	85	23	0.75
10	0	0	0	85	23	0.75
11	0	0	0	85	23	0.75

12	0	0	0	85	23	0.75
----	---	---	---	----	----	------

Nota: Fuente Elaboración Propia

3.4) Metodología experimental

3.4.1) Preparación del baño de tinte

Para obtener una tinte óptima regular e igualada, el proceso general es el siguiente:

3.4.1.1) Preparación de muestras. Se sacó muestras de 5 g de alpaca FS, para nuestra investigación se usó material de título 2/16, el número de vueltas se calcula con la siguiente fórmula:

Ecuación 14: *Número de vueltas*

$$N^{\circ} = \frac{1}{T} \times m$$

Donde:

N°= Numero de vueltas

T= Título

m = Masa

Antes de realizarse una tinte, el material a teñirse deberá limpiarse profundamente de cualquier impureza que pudiera contener, ya sea trazas de tierras, polvo aceites minerales y grasa, algún producto utilizado en un anterior proceso, etc. que pudieran interferir en el normal desarrollo de un proceso de teñido. (Costa, 2010)

Se utilizó para lavar las muestras:

0.5% detergente textil (BIOKOL FS)..... a 60°C por 20 minutos

Figura 29

Equipo Electrónica Digital Textil



3.4.1.2) Preparación de las disoluciones auxiliares. Para representar la relación de baño se usó una disolución de 1/10.

Para los auxiliares líquidos como en Albegal Set, Ácido acético, Perlavin IMU, se pipeteó 20 ml disolviéndolos en 180ml de agua potable.

Para los auxiliares sólidos como el Sulfato de Sodio, se pesó 10 g disueltos en 100 ml de agua.

Figura 30

Auxiliares preparados



3.4.1.3) Preparación de los baños y teñido de muestras. Se adecua el baño de teñido agregando los productos químicos para recrear el medio de teñido adecuado, los productos químicos que se agregan son los fijadores de pH (ácido acético), igualantes (Albegal set para caso de colorantes ácidos complejo metálico), retardante (sulfato de sodio) y alcohol graso etoxilado (PERLAVIN IMU).

En cada vaso se colocará según lo determinado:

2% de Ácido acético

1% de Albegal SET

10% de Sulfato de Sodio

X% Perlavin IMU

Los colorantes previamente pesados se añaden al baño y se agrega un poco de agua caliente para disolverlos y luego completar los 100 ml con agua fría.

La cantidad de colorante que se usara es: 1% Colorante en función a la masa (Rojo Lanaset 2B, Azul Lanaset 2R, Amarillo Lanaset 2R)

En el medio preparado en cada tubo se coloca las muestras con ayuda de los ganchos, aquí se controlará que el pH se encuentre en 4.5, caso contrario agregar 0.5 % de ácido acético.

Se cierra los vasos y dejamos humectar la fibra a una temperatura de 35 °C durante 10 minutos en la AHIBA.

Luego se empezará a subir la temperatura a 70 °C con una gradiente de 1,3 °C/min, y se mantendrá durante 20 minutos.

La curva continua con la misma gradiente subiendo hasta la temperatura deseada (80,85 o 90 °C) y manteniendo durante el tiempo de prueba (15,23 o 30 minutos)

Finalmente se enfría hasta los 70 °C, para poder descargar el material, descargar cada vaso, guardando los baños residuales.

Centrifugar las muestras y colocarlas en la estufa para su secado.

Figura 31

Agregado de auxiliares



Figura 32

Pesado de Colorantes



Figura 33

Medida del pH

**Figura 34**

Introducción de la fibra al tubo de teñido

**Figura 35**

Tubo de teñido



3.4.2) Métodos para las variables dependientes:

3.4.2.1) Método para la hallar el % de agotamiento. Para la ejecución de la parte experimental y para la determinación de la concentración final del colorante se seleccionó el método de espectrofotometría.

Este método es muy empleado en las investigaciones químicas de laboratorio ya que emplea un equipo que permite caracterizar las concentraciones desconocidas en el baño de tintura.

Las ventajas del método de espectrofotometría son las siguientes:

- Precisa en la lectura de datos de las muestras de laboratorio
- Versátil ya que se adapta con facilidad y rapidez
- Fácil de usar para el operador

Metodología: Evaluar con ayuda del espectrofotómetro las absorbancias.

Preparar diferentes diluciones de cada colorante, según la concentración de muestras.

Tabla 9

Disoluciones de Rojo Lanaset 2R

Disolución de Rojo Lanaset 2B	g/l
Disolución 1	0.03
Disolución 2	0.05
Disolución 3	0.06
Disolución 4	0.08
Disolución 5	0.1

Nota: Fuente Elaboración Propia

Figura 36*Disoluciones de Rojo Lanaset 2B***Tabla 10***Disoluciones de Amarillo Lanaset 2R*

Disolución de Amarillo Lanaset 2R	g/l
Disolución 1	0.03
Disolución 2	0.05
Disolución 3	0.06
Disolución 4	0.08
Disolución 5	0.1

Nota: Fuente Elaboración Propia**Tabla 11***Disoluciones de Azul Lanaset 2R*

Disolución de Azul Lanaset 2R	g/l
Disolución 1	0.01
Disolución 2	0.0125
Disolución 3	0.025
Disolución 4	0.05
Disolución 5	0.1

Nota: Fuente Elaboración Propia

Figura 37*Preparación de Disoluciones de Azul Lanaset 2R*

Después de medir el blanco (agua de uso textil), se colocó la cubeta con la disolución 5 (la más concentrada) y se midió la absorbancia en el intervalo de longitudes de onda fijado según bibliografía tomando valores cada 20 nm. Se repite la experiencia de manera más fina en la zona donde se observe una mayor absorbancia, esta vez tomando valores cada 10 nm.

Tabla 12*Intervalo de longitud de onda para los colorantes*

Colorante	Intervalo de Longitud de Onda
Rojo Lanaset 2R	450-570 nm
Amarillo Lanaset 2R	360-500 nm
Azul Lanaset 2R	470-650 nm

Nota: Fuente Elaboración Propia. Referencia (Marcelo Martinez, 2018)

Se repitió la medida, a la misma longitud de onda (máximo de absorción del colorante) para las disoluciones 4,3, 2, 1. Se anotó los valores de absorbancia frente a concentración para hacer recta de calibrado.

Se leyó las absorbancias de muestras de baño residual, para luego calcular su concentración con ayuda de la curva de calibración.

Figura 38

Lecturas de Blanco y baño residual



Luego teniendo las concentraciones iniciales (C_i) y finales (C_f), se calculó el % de agotamiento de los baños de teñido.

Calculo modelo del porcentaje de agotamiento del baño del colorante

Ecuación 15: % de agotamiento

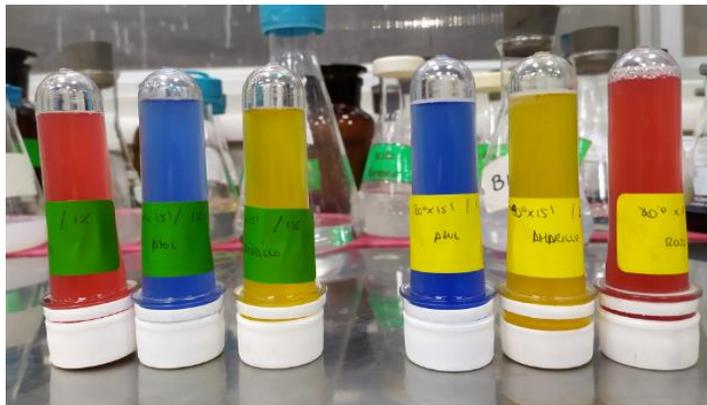
$$\%AB = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

Donde:

%AB= Porcentaje de agotamiento del baño [%]

C_i = Concentración inicial del baño, 1% = 0.5 g/l

C_f = Concentración final del baño, [g/l]

Figura 39*Baños residuales de teñido*

3.4.2.2) Método para medir la solidez del color al Frote: Seco y Húmedo . Método de prueba designado para determinar la cantidad de color transferida de la superficie de los materiales de textil teñidos a otras superficies o hacia un área adyacente del mismo tejido por frotación. Realizaremos esta prueba adicional para verificar si nuestra muestra cumple con los estándares de calidad.

Norma: *AATCC 8-2007 e ISO 105 x 12.*

Principio: Se realizan métodos de prueba que emplean cuadros de tela blanca (testigos estandarizados) en seco y húmedo. Una pieza teñida se somete a prueba frotándola con la tela de prueba blanqueada bajo condiciones controladas. Para la solidez al frote húmedo es con un pickup de 65%+/- . El color transferido a la tela blanca de prueba es evaluada mediante una comparación con la Escala de Grises para Manchado o Escala de Grises de Transferencia de Color para asignarle el grado alcanzado. El Puntaje va de 0-5. Siendo 5 la mejor puntuación.

Metodología:

Colocar la muestra textil teñida en la base del frictómetro, dejándola estirada sobre la tela de esmeril con el lado largo en el sentido de la frotación.

Colocar un porta muestras sobre la muestra, como un medio adicional para evitar el desplazamiento de la muestra.

Utilizar la rosca metálica espiral especial para mantener en su lugar el testigo cuadrado de prueba.

Bajar el dedo cubierto con el testigo sobre la muestra. Con el brazo colocado en el extremo frontal, hacer girar la manivela 10 vueltas completas a la velocidad de una vuelta por segundo para deslizar el dedo cubierto por el testigo (tela blanca) hacia adelante. Utilizar la pesa estándar de 9N.

Retirar el testigo cuadrado de tela blanca de prueba y valorar el frote con la escala de grises.

Para la solidez al frote húmedo, humedecer la tela testigo blanca a un 65% de su peso, Y proceder de la misma manera

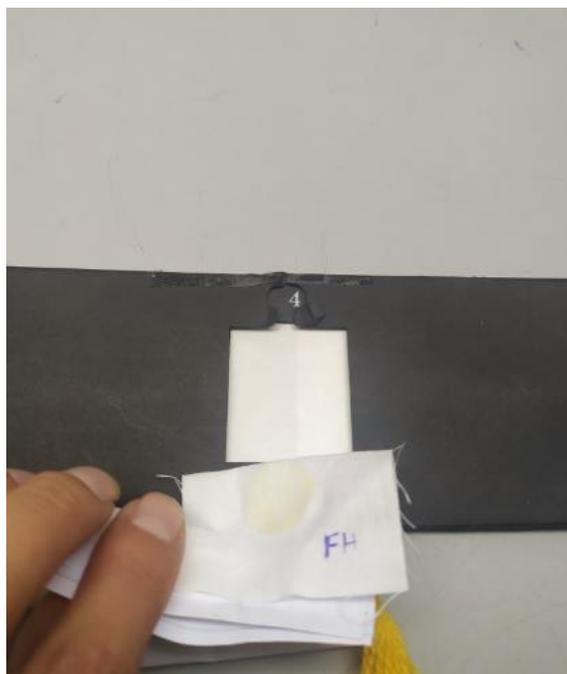
Figura 40

Fricómetro con muestra



Figura 41

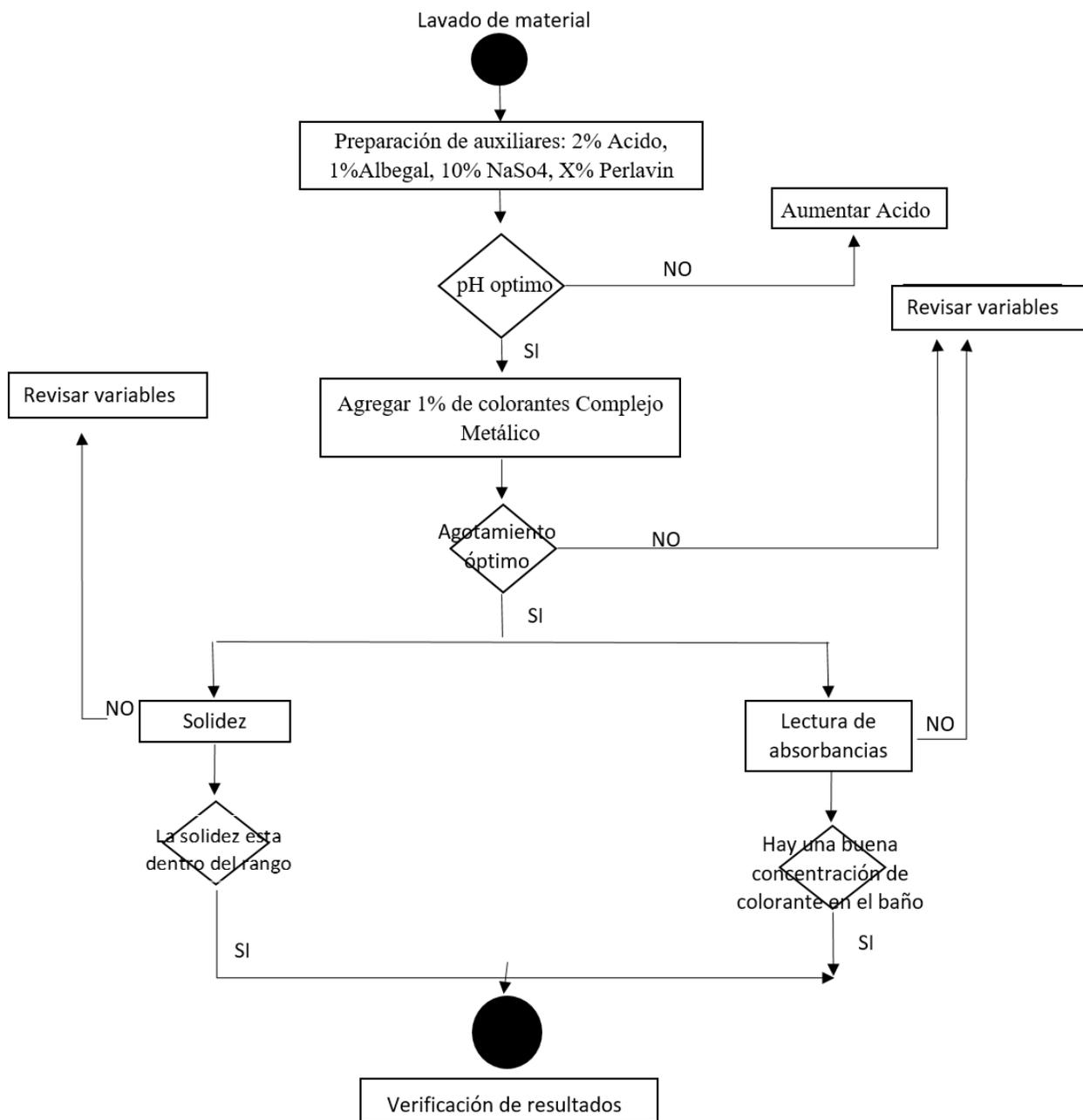
Lectura de la solidez con la escala



3.5) Algoritmo de experimentación

Figura 42

Algoritmo de experimentación



Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO IV

Análisis De Resultados

En este capítulo se exponen y analizan los datos obtenidos en la ejecución de la experiencia de diseño factorial 2^K con 4 réplicas en el punto central, considerando las variables independientes: Concentración del Alcohol Graso Etoxilado, temperatura de fijación y tiempo de fijación.

4.1) RESULTADOS:

4.1.1) Resultados del espectrofotómetro:

4.1.1.1) Lecturas tomadas por el espectrofotómetro HACH DR 2800 para los espectros de absorción.

4.1.1.1.1) Lecturas para el espectro de absorción Rojo Lanaset 2B

Tabla 13

Absorbancias cada 20 nm para Rojo Lanaset 2B

ROJO LANASET 2B	
LONGITUD DE ONDA	ABSORBANCIA
450	1.286
470	1.747
490	2.184
510	2.356
530	2.130
550	1.628
570	0.796

Nota: Fuente: Elaboración Propia

Tabla 14

Absorbancias cada 10 nm para Rojo Lanaset 2B

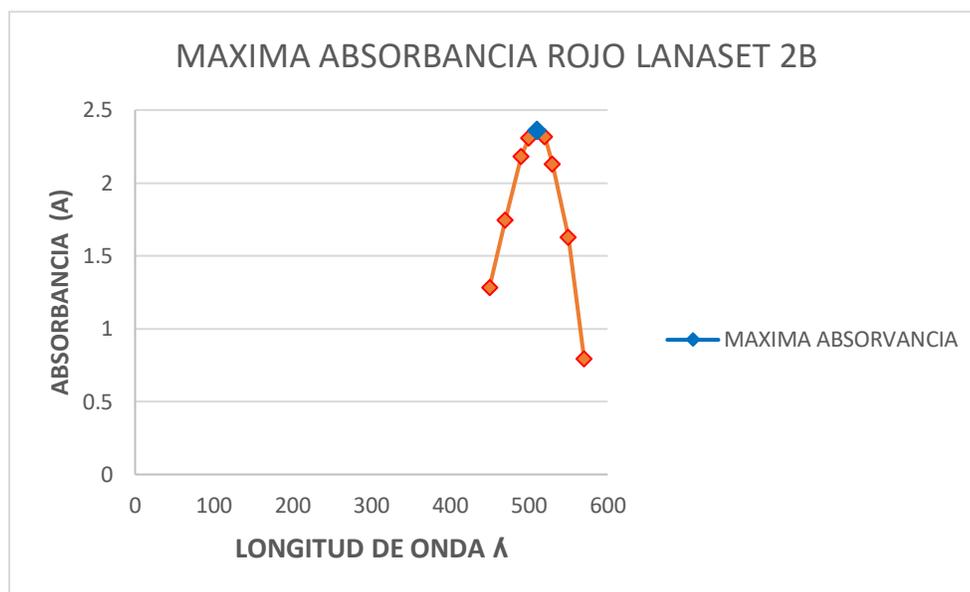
LONGITUD DE ONDA	ABSORBANCIA
-----------------------------	--------------------

490	2.184
500	2.309
510	2.362
520	2.317
530	2.13

Nota: Fuente Elaboración Propia

Grafica 1

Máxima Absorbancia Rojo Lanaset 2B



Fuente: Elaboración Propia

Tomado como referencia el rango de longitudes de onda para color rojo según bibliografía, entre 450 y 570 nm, podemos observar que las máximas absorbancias empiezan en 490 nm, alcanzando el pico máximo en **510 nm**, siendo por lo tanto la longitud de onda para el colorante Rojo Lanaset 2B

4.1.1.1.2) Lecturas para el espectro de absorción Amarillo Lanaset 2R

Tabla 15

Absorbancias cada 20 nm para Amarillo Lanaset 2R

AMARILLO LANASET 2R

LONGITUD DE ONDA	ABSORBANCIA
360	1.031
380	1.311
400	1.813
420	2.161
440	2.361
460	1.995
480	1.214
500	0.598

Nota: Fuente Elaboración Propia

Tabla 16

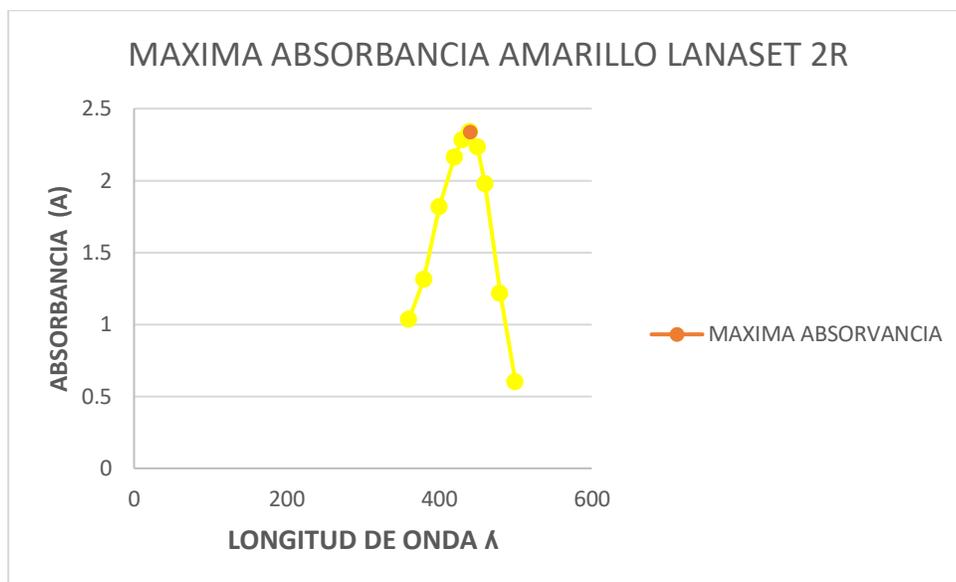
Absorbancias cada 10 nm para Amarillo Lanaset 2R

LONGITUD DE ONDA	ABSORBANCIA
420	2.161
430	2.281
440	2.335
450	2.231
460	1.975

Fuente: Elaboración Propia

Grafica 2

Máxima Absorbancia Amarillo Lanaset 2R



Fuente: Elaboración Propia

Luego de realizar las lecturas de las absorbancias, seleccionamos el rango de 420 a 460 nm, donde se presentan las más altas absorbancias, luego de tomar lecturas cada 10 nm, el punto máximo al que corresponde la longitud de onda para el Amarillo Lanaset 2R es **440 nm**.

4.1.1.1.3) Lecturas para el espectro de absorción Azul Lanaset 2R

Tabla 17

Absorbancias cada 20 nm para Azul Lanaset 2R

AZUL LANASET 2R	
LONGITUD DE ONDA	ABSORBANCIA
470	0.171
490	0.324
510	0.563
530	0.954
550	1.397
570	1.873
590	2.363

Nota: Fuente Elaboración propia

Tabla 18

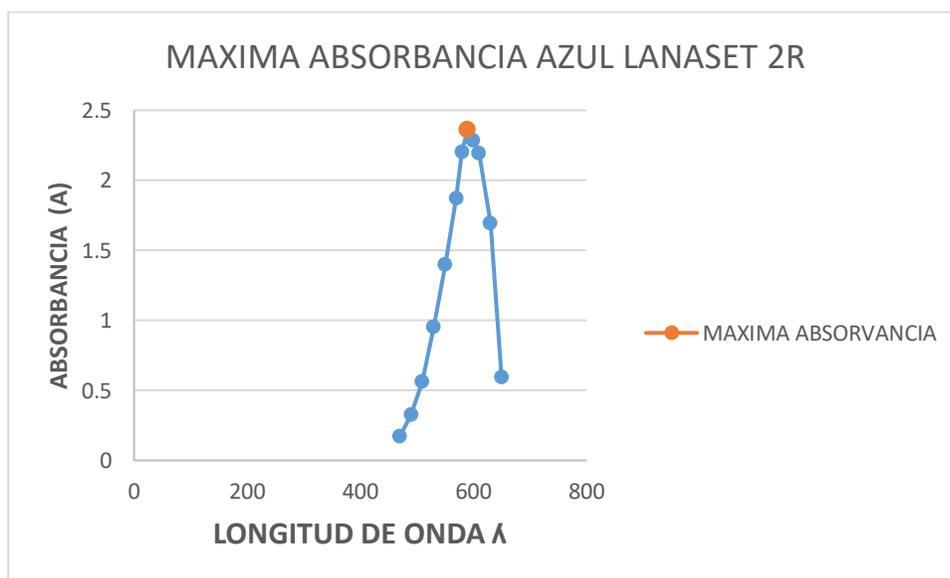
Absorbancias cada 10 nm para Azul Lanaset 2R

LONGITUD DE ONDA	ABSORBANCIA
570	1.876
580	2.203
590	2.359
600	2.286
610	2.194

Nota: Fuente Elaboración Propia

Grafica 3

Máxima Absorbancia Azul Lanaset 2R



Fuente: Elaboración Propia

Luego de las lecturas ajustadas de las absorbancias cada 20 nm y luego ajustando las lecturas cada 10 nm (570 a 610 nm) la máxima absorbancia observada para el Azul Lanaset 2R se consigue a **590 nm**, la cual será la longitud de onda para dicho colorante.

4.1.1.2) Lecturas tomadas por el espectrofotómetro HACH DR 2800 para las curvas de calibración.

4.1.1.2.1) Lecturas para la curva de calibración Rojo Lanaset 2B

Tabla 19

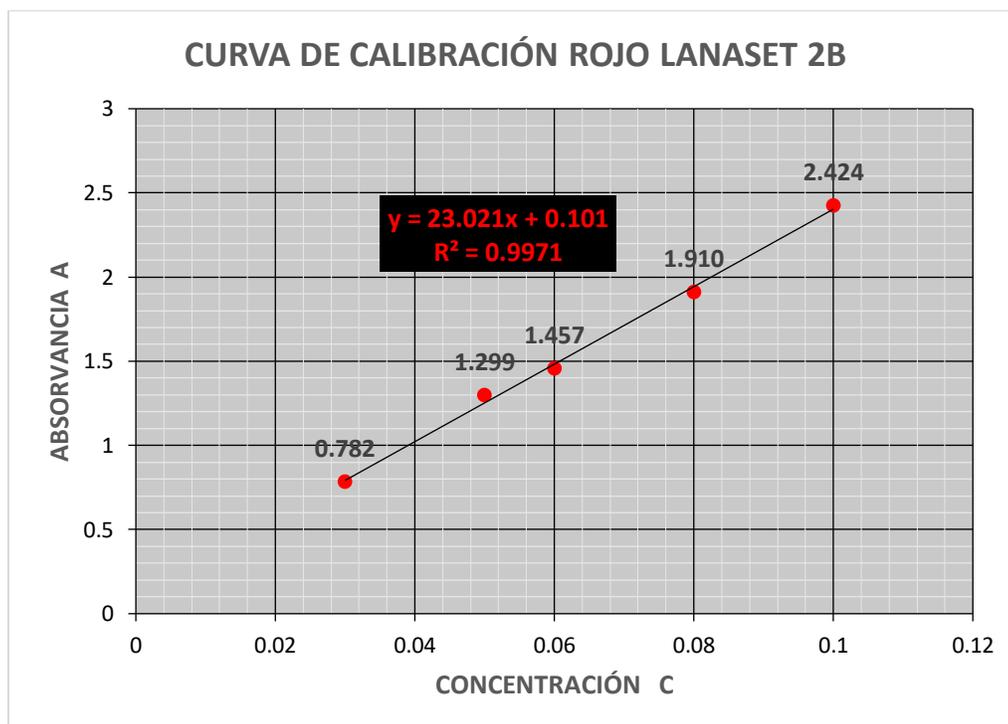
Absorbancias disoluciones Rojo Lanaset 2B

ROJO LANASET 2B	
CONCENTRACIÓN G/L	ABSORBANCIA
0.03	0.782
0.05	1.299
0.06	1.457
0.08	1.91
0.1	2.424

Nota: Fuente Elaboración Propia

Grafica 4

Curva de Calibración Rojo Lanaset 2B



Fuente: Elaboración Propia

Con las lecturas de las absorbancias de las disoluciones de concentración conocida se determina la curva de calibración de manera gráfica para el colorante Rojo Lanaset 2B, dicha curva posee una pendiente positiva de 23.021 e intercepto con el eje Y en 0.101.

4.1.1.2.2) Lecturas para la curva de calibración Amarillo Lanaset 2R

Tabla 20

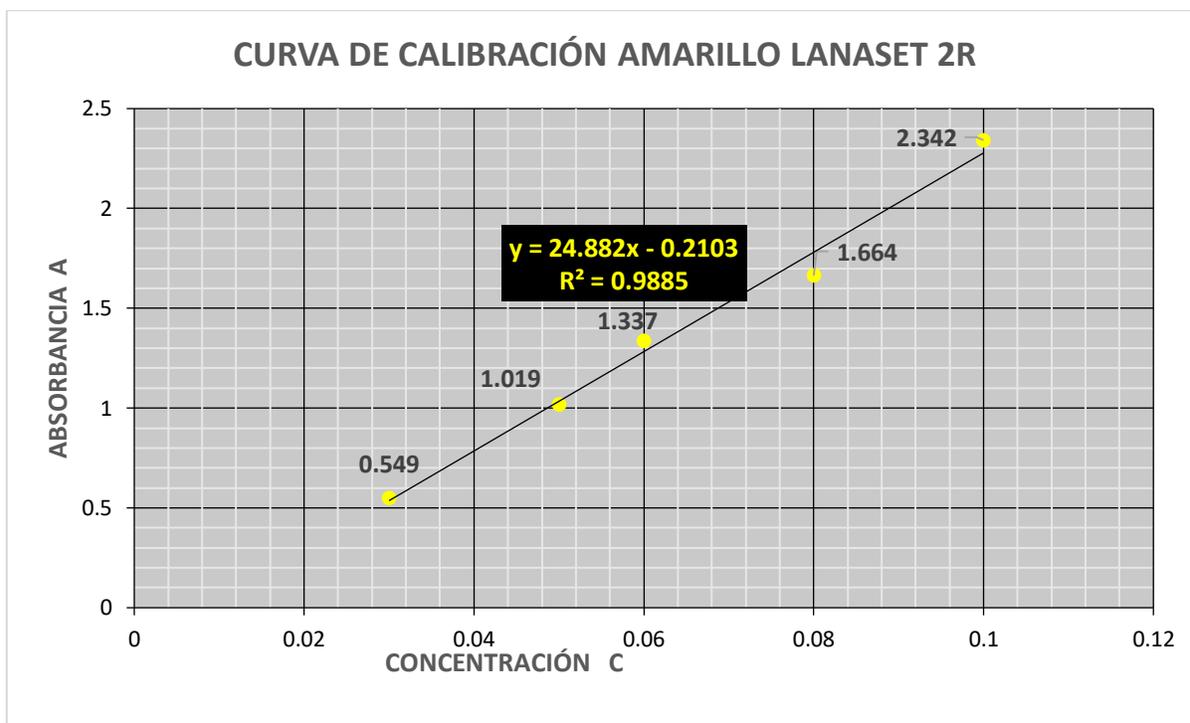
Absorbancias disoluciones Amarillo Lanaset 2R

AMARILLO LANASET 2R	
CONCENTRACIÓN	ABSORBANCIA
G/L	
0.03	0.549
0.05	1.019
0.06	1.337
0.08	1.664
0.1	2.342

Nota: Fuente Elaboración Propia

Grafica 5

Curva de Calibración Amarillo Lanaset 2R



Fuente: Elaboración Propia

Se determina la curva de calibración de manera gráfica para el colorante Amarillo Lanaset 2R, dicha cuenta con una pendiente positiva de 24.882 e intercepto con el eje Y en 0.2103.

4.1.1.2.3) Lecturas para la curva de calibración Azul Lanaset 2R

Tabla 21

Absorbancias disoluciones Azul Lanaset 2R

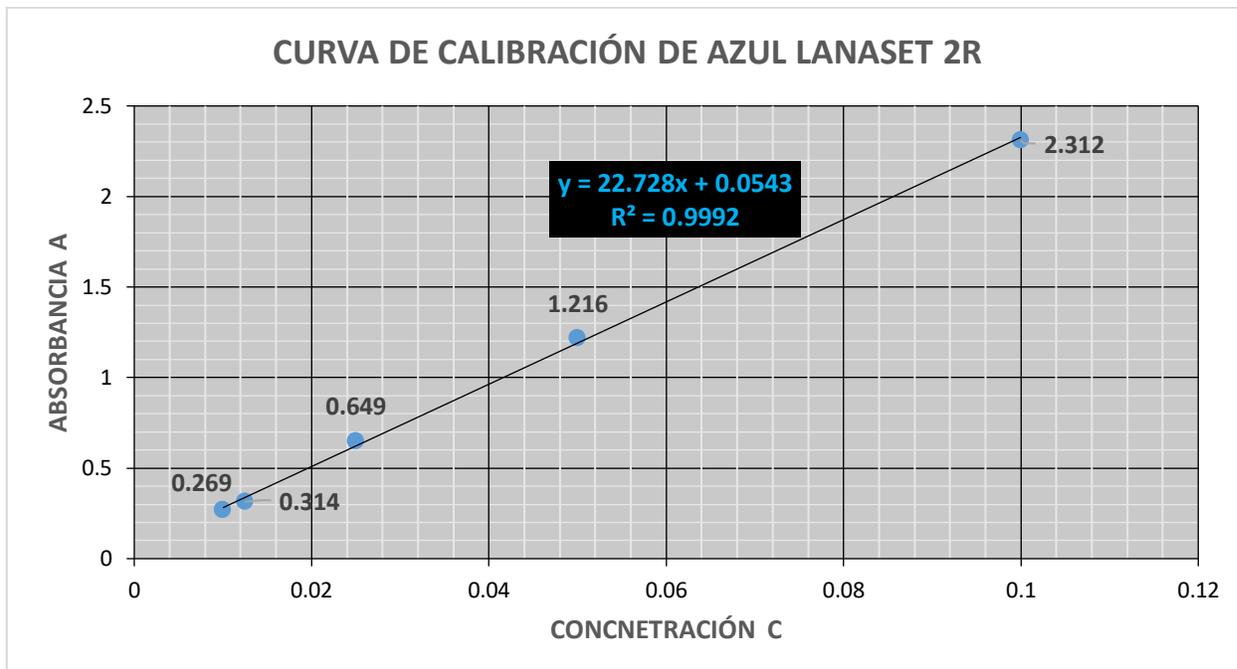
AZUL LANASET 2R	
CONCENTRACIÓN G/L	ABSORBANCIA
0.01	0.269
0.0125	0.314
0.025	0.649

0.05	1.216
0.1	2.312

Nota: Fuente Elaboración Propia

Grafica 6

Curva de Calibración Azul Lanaset 2R



Fuente: Elaboración Propia

Con las lecturas de las absorbancias de las disoluciones de concentración conocida se determina la curva de calibración de manera gráfica para el colorante Azul Lanaset 2R, dicha cuenta con una pendiente positiva de 232.728 e intercepto con el eje Y en 0.0543.

4.1.1.3) Lecturas tomadas por el espectrofotómetro HACH DR 2800 para las muestras de baño residual

4.1.1.3.1) Lecturas para las muestras de baño residual Rojo Lanaset 2B

Tabla 22

Absorbancias muestras baño residual Rojo Lanaset 2B

ROJO LANASET 2B	
Nº MUESTRA	ABSORBANCIA
M1	2.678
M2	2.840
M3	2.355
M4	1.606
M5	2.783
M6	1.938
M7	2.727
M8	1.577
M9	2.066
M10	2.074
M11	2.087
M12	2.475

Nota: Fuente Elaboración Propia

4.1.1.3.2) Lecturas para las muestras de baño residual Amarillo Lanaset 2R

Tabla 23

Absorbancias muestras baño residual Amarillo Lanaset 2R

AMARILLO LANASET 2R	
Nº MUESTRA	ABSORBANCIA
M1	2.009
M2	1.450
M3	1.744
M4	1.474
M5	1.854
M6	1.578
M7	1.445
M8	1.255
M9	1.434

M10	1.626
M11	1.623
M12	1.739

Nota: Fuente Elaboración Propia

4.1.1.3.3) Lecturas para la muestras de baño residual Azul Lanaset 2R

Tabla 24

Absorbancias muestras baño residual Azul Lanaset 2R

AZUL LANASET 2R	
N° MUESTRA	ABSORBANCIA
M1	1.144
M2	0.513
M3	0.773
M4	0.549
M5	1.928
M6	0.689
M7	0.812
M8	0.332
M9	1.176
M10	0.923
M11	0.703
M12	0.753

Nota: Fuente Elaboración Propia

4.1.2) Determinación de concentración de colorante en muestras de baños residuales

Para el cálculo de la concentración hicimos uso de la ecuación de la curva de calibración aplicando la interpolación de datos. Así mismo se obtiene calculando la absortividad específica (ϵ) y usando la ecuación de Lambert-Beer

Ecuación 16: *Ley de Lambert- Beer*

$$A = c \cdot \epsilon \cdot l$$

Donde

A= Absorbancia a una longitud de onda específica λ

c= Concentración del compuesto

ϵ = Absortividad o coeficiente de extinción a esa λ específica

l = Es el paso óptico o el espesor de la muestra, en nuestro caso el espesor de la celda es 2.54 cm.

4.1.2.1) Determinación de concentraciones para baños residual en colorante Rojo Lanaset 2B.

A) Determinación de absortividad específica para Rojo Lanaset 2B

Tabla 25

Longitud y espesor de celda para Rojo Lanaset 2B

ROJO LANASET 2B		
B	2.54	cm
LONGITUD DE ONDA	510	

Nota: Fuente Elaboración Propia

Tabla 26

Calculo de la Absortividad específica para Rojo Lanaset 2B

CONCENTRACIÓN G/L	ABSORBANCIA	$\epsilon = \frac{A}{b \cdot c} \frac{L}{cm^{-1} g^{-1}}$
0.03	0.782	10.262
0.05	1.299	10.228
0.06	1.457	9.560
0.08	1.910	9.400
0.1	2.424	9.543
	ξ(prom)	9.799

Nota: Fuente Elaboración Propia

B) Concentraciones de baños residuales de colorante Rojo Lanaset 2B obtenidos con el espectrofotómetro HACH DR 2800, calculados mediante la ley de Lambert- Beer y calculados con la curva de calibración.

Para hallar la concentración recopilamos y comparamos datos obtenidos con ayuda del espectrofotómetro HACH DR 2800, los calculados con la ecuación de Lambert Beer y con la ayuda de la curva de calibración, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 27

Comparación de datos de Concentraciones de colorante residual para Rojo Lanaset 2B

ROJO LANASET 2B				
N°	ABSORBANCIA	CONCENTRACIÓN G/L Equipo	Y1	
			CONCENTRACIÓN G/L Lamber-Beer	CONCENTRACIÓN G/L Interpolación
M1	2.678	0.112	0.108	0.112
M2	2.840	0.119	0.114	0.119
M3	2.355	0.098	0.095	0.098
M4	1.606	0.065	0.065	0.065
M5	2.783	0.116	0.112	0.117
M6	1.938	0.080	0.078	0.080
M7	2.727	0.114	0.110	0.114
M8	1.577	0.064	0.063	0.064
M9	2.066	0.085	0.083	0.085
M10	2.074	0.086	0.083	0.086
M11	2.087	0.086	0.084	0.086
M12	2.475	0.103	0.099	0.103

Nota: Fuente Elaboración Propia

4.1.2.2) Determinación de concentraciones para baños residual en colorante Amarillo

Lanaset 2R.

A) Determinación de absortividad específica para Amarillo Lanaset 2B.

Tabla 28*Longitud y espesor de celda para Amarillo Lanaset 2R*

AMARILLO LANASET 2R		
B	2.54	Cm
LONGITUD DE ONDA	440	

Nota: Fuente Elaboración Propia

Tabla 29*Calculo de la Absortividad específica para Amarillo Lanaset 2R*

CONCENTRACIÓN G/L	ABSORBANCIA	$\varepsilon = \frac{A}{b \cdot c} \frac{L}{cm^{-1}g^{-1}}$
0.03	0.549	7.205
0.05	1.019	8.024
0.06	1.337	8.773
0.08	1.664	8.189
0.1	2.342	9.220
	ξ(prom)	8.282

Nota: Fuente Elaboración Propia

B) Concentraciones de baños residuales de colorante Amarillo Lanaset 2R obtenidos con el espectrofotómetro HACH DR 2800, calculados mediante la ley de Lambert- Beer y calculados con la curva de calibración.

Tabla 30*Comparación de datos de Concentraciones de colorante residual para Amarillo Lanaset**2R*

AMARILLO LANASET 2R
Y1

°N	ABSORBANCIA	CONCENTRACION G/L Equipo	CONCENTRACIÓN G/L Lambert-Beer	CONCENTRACION G/L Interpolación
M1	2.009	0.089	0.095	0.089
M2	1.450	0.067	0.069	0.067
M3	1.744	0.078	0.083	0.079
M4	1.474	0.068	0.070	0.068
M5	1.854	0.083	0.088	0.083
M6	1.578	0.072	0.075	0.072
M7	1.445	0.066	0.069	0.067
M8	1.255	0.059	0.060	0.059
M9	1.434	0.066	0.068	0.066
M10	1.626	0.074	0.077	0.074
M11	1.623	0.074	0.077	0.074
M12	1.739	0.077	0.083	0.078

Nota: Fuente Elaboración Propia

4.1.2.3) Determinación de concentraciones para baños residual en colorante Azul

Lanaset 2R.

A) Determinación de absortividad específica para Azul Lanaset 2B

Tabla 31

Longitud y espesor de celda para Azul Lanaset 2R

AZUL LANASET 2R		
B	2.54	cm
LONGITUD DE ONDA	590	

Nota: Fuente Elaboración Propia

Tabla 32

Calculo de la Absortividad específica para Azul Lanaset 2R

CONCENTRACIÓN G/L	ABSORBANCIA	$\varepsilon = \frac{A}{b \cdot c} \frac{L}{\text{cm}^{-1} \text{g}^{-1}}$
0.01	0.269	10.591
0.0125	0.314	9.890

0.025	0.649	10.220
0.05	1.216	9.575
0.1	2.312	9.102
	ξ(prom)	9.876

Nota: Fuente Elaboración Propia

B) Concentraciones de baños residuales de colorante Azul Lanaset 2R obtenidos con el espectrofotómetro HACH DR 2800, calculados mediante la ley de Lambert-Beer y calculados con la curva de calibración.

Tabla 33

Comparación de datos de Concentraciones de colorante residual para Azul Lanaset 2R

AZUL LANASET 2R				
N°	ABSORBANCIA	CONCENTRACIÓN G/L Equipo	Y1	
			CONCENTRACIÓN G/L Lambert Beer	CONCENTRACIÓN G/L Interpolación
M1	1.144	0.05	0.046	0.048
M2	0.513	0.02	0.021	0.020
M3	0.773	0.03	0.031	0.032
M4	0.549	0.03	0.022	0.022
M5	1.928	0.08	0.077	0.082
M6	0.689	0.02	0.028	0.028
M7	0.812	0.03	0.032	0.033
M8	0.332	0.01	0.013	0.012
M9	1.176	0.05	0.047	0.049
M10	0.923	0.04	0.037	0.038
M11	0.703	0.03	0.028	0.029
M12	0.753	0.03	0.030	0.031

Nota: Fuente Elaboración Propia

En las Tablas N° 26, 29,32 se determina la absorptividad efectiva para cada colorante mediante la ecuación de Lambert-Beer, donde con los datos de la longitud de la celda del espectrofotómetro, las absorbancias y concentraciones conocidas se logra despejar de la ecuación la ξ y luego calcular

la ξ (**prom**). Resultando 9.799, 8.282 y 9.876 para el Rojo, Azul, Amarillo Lanaset respectivamente.

Este dato nos permitirá calcular las concentraciones desconocidas de nuestras muestras problema, aplicando también la ecuación de Lamber-Beer; dichas concentraciones se pueden verificar mediante las curvas de calibración (ver Graficas N° 4, 5 y 6) así mismo con las lecturas del mismo equipo. Estos resultados se plasman en las Tablas N° 27, 30,33.

4.1.3) Porcentajes de agotamiento

4.1.3.1) Porcentaje de agotamiento para Rojo Lanaset 2B

Tabla 34

% Agotamiento de Rojo Lanaset 2R

N° MUESTRA	Ci (g/l)	Cf(g/l)	%AB
M1	0.5	0.108	78.48
M2	0.5	0.114	77.18
M3	0.5	0.095	81.08
M4	0.5	0.065	87.09
M5	0.5	0.112	77.64
M6	0.5	0.078	84.43
M7	0.5	0.110	78.09
M8	0.5	0.063	87.33
M9	0.5	0.083	83.40
M10	0.5	0.083	83.33
M11	0.5	0.084	83.23
M12	0.5	0.099	80.11

Nota Fuente Elaboración Propia

4.1.3.2) Porcentaje de agotamiento para Amarillo Lanaset 2R

Tabla 35

% Agotamiento del Amarillo Lanaset 2R

N° MUESTRA	Ci (g/l)	Cf(g/l)	%AB
M1	0.5	0.095	80.90
M2	0.5	0.069	86.22
M3	0.5	0.083	83.42
M4	0.5	0.070	85.99
M5	0.5	0.088	82.37
M6	0.5	0.075	85.00
M7	0.5	0.069	86.26
M8	0.5	0.060	88.07
M9	0.5	0.068	86.37
M10	0.5	0.077	84.54
M11	0.5	0.077	84.57
M12	0.5	0.083	83.47

Nota: Fuente Elaboración Propia

4.1.3.3) Porcentaje de agotamiento para Azul Lanaset 2R

Tabla 36

% Agotamiento para el Azul Lanaset 2R

N° MUESTRA	Ci (g/l)	Cf(g/l)	%AB
M1	0.5	0.046	90.88
M2	0.5	0.020	95.91
M3	0.5	0.031	93.84
M4	0.5	0.022	95.62
M5	0.5	0.077	84.63
M6	0.5	0.027	94.51
M7	0.5	0.032	93.53
M8	0.5	0.013	97.35
M9	0.5	0.047	90.62
M10	0.5	0.037	92.64
M11	0.5	0.028	94.39
M12	0.5	0.030	94.00

Nota: Fuente Elaboración Propia

En las Tablas N° 34, 35 Y 36 se muestran los resultados después de hallar la concentración final residual del baño de tintura, expresado en % de agotamiento para el Rojo, Amarillo y Azul Lanaset respectivamente, como se puede apreciar en los resultados el máximo agotamiento se presenta en la M8 donde la concentración de Alcohol Graso Etoxilado es de 1% y la temperatura de 90 °C. Se deduce que la difusión en fase solida es más rápida pues según la cuantificación del proceso de tintura (ver Ecuación 11) la concentración del colorante en el interior de la fibra es mayor; esto se ve reflejado en la intensidad percibida en la cabina Espectroligth.

El colorante con mejor agotamiento es el Azul Lanaset 2R, el cual llega hasta un % de 97.35; un agotamiento muy óptimo considerando la cantidad de colorante inicial. Mientras que los colorantes Amarillo Lanaset 2R presenta un agotamiento máximo de 88.07 el cual es óptimo; en el caso del Rojo Lanaset 2B, este presenta agotamientos por debajo del 80% sin embargo el aumento de la concentración de Alcohol graso etoxilado y temperatura ayuda considerablemente al rendimiento, logrando agotamientos de hasta 87.33%.

Por otro lado las muestras M3,M4,M7 y M8 resaltan de las demás muestras por su notable rendimiento deducimos así que el tiempo es una variable de gran importancia, siendo necesario que el tiempo mínimo de mantenimiento sea de 30 minutos para conseguir una buena fijación del colorante a la fibra.

4.1.3.4) Porcentaje de agotamiento para Patrones a diferentes tiempos.

Tabla 37

Seguimiento de patrones

Colorante	Absorbancia	Tiempo(min)	Ci (g/l)	Cf(g/l)	%AB
Rojo Lanaset 2B	2.079	15	0.5	0.086	82.82
	1.744	30	0.5	0.071	85.73
	1.689	60	0.5	0.057	88.64
Amarillo Lanaset 2R	1.825	15	0.5	0.082	83.64
	1.560	30	0.5	0.071	85.77
	1.427	60	0.5	0.061	87.9
Azul Lanaset 2R	0.823	15	0.5	0.034	93.24
	0.662	30	0.5	0.027	94.65
	0.472	60	0.5	0.020	96.06

Nota: Fuente Elaboración Propia

En la tabla N°37 se presentan los datos obtenidos de la tintura de muestras de alpaca de los patrones; siendo considerado un patrón aquel teñido en condiciones normales estándar dentro de la industria textil, (98 °C, 60 min) con la misma cantidad de colorante (1%), y excluyendo el uso del alcohol graso etoxilado.

Se calculó el % de agotamiento con la misma metodología aplicada a nuestras muestras experimentales, los cuales nos ayuda a comparar la evolución de la cinética y la potencial optimización del proceso habitual. De los % de agotamiento de los patrones se puede concluir que con dichas condiciones se obtiene un agotamiento óptimo, sin embargo el rendimiento tintorero a medida que pasa el tiempo sube lentamente; mostrando para el Azul Lanaset 2R, un aumento de tan solo 2.82 luego de 45 minutos de mantenimiento, para el caso del Amarillo Lanaset 2R de 2.13 luego de 30 minutos y en el Rojo Lanaset 2B 2.91 luego de 30 minutos, deducimos así que bajo estas condiciones la cinética de estos colorantes sobre la fibra de alpaca no resulta óptima en relación a los agotamientos alcanzados.

4.1.4) Lecturas de solidez al frote

Se mostrarán los resultados de solidez al frote seco y húmedo obtenido de las lecturas con el **Data Color Match Textile** y la escala de grises según el diseño experimental. Estos resultados verificamos la calidad de las muestras según la norma ATTCC. **Ver Anexo 1**

4.2) Estadística de los resultados

Buscamos representar de manera lógica y cuantitativa las interacciones de las variables en estudio, de tal manera predecir adecuadamente todos los puntos del diseño. El modelo es factorial lineal puesto que nuestro diseño factorial es 2^3 con replica en el punto central el cual asume una relación lineal entre variables y respuestas. Los cálculos estadísticos de los modelos predictivos se encuentran en el **Anexo 2**.

4.2.1) Modelo predictivo para % de agotamiento en colorante Rojo Lanaset 2B

Análisis de efectos:

Los valores numéricos obtenidos del cálculo de efectos (Anexo 2) nos ayudan a comprobar cómo varía la respuesta al cambiar una variable desde su nivel inferior hasta el nivel superior; por tanto se puede deducir lo siguiente:

Si se aumenta la temperatura de 80 °C a 90 °C, se logra aumentar el % de agotamiento en 5.185 veces

Así también si se aumenta el tiempo de 15 a 30 minutos, se logra aumentar el % de agotamiento en 3.965 veces.

Igualmente si se aumenta la concentración del alcohol graso etoxilado de 0.5 a 1%, se logra aumentar el % de agotamiento en 0.915 veces.

Se nota una dependencia entre las variables de temperatura y concentración.

El signo negativo de los efectos de interacción entre tiempo y la concentración indica que estas variables no dependen entre sí.

Después del cálculo de los efectos y el análisis de varianza para evaluar la significancia de las variables se obtiene el modelo codificado.

Ecuación 17: *Modelo codificado*

$$\widehat{Y}_1 = 81.4150 + 2.593X_1 + 1.983X_2$$

A partir del modelo codificado se obtiene los coeficientes del modelo decodificado:

$$a_0 = 31.395$$

$$a_1 = 0.519$$

$$a_2 = 0.264$$

Por lo que el modelo decodificado es:

Ecuación 18: *Modelo decodificado para el Rojo Lanaset 2R*

$$Y_1 = 31.395 + 0.519Z_1 + 0.264Z_2$$

4.2.2) Modelo predictivo del % de Agotamiento en colorante Amarillo Lanaset 2R

Análisis de efectos:

Si se aumenta la temperatura de 80 °C a 90 °C, se logra aumentar el % de agotamiento en 3.078 veces.

Así también si se aumenta el tiempo de 15 a 30 minutos, se logra aumentar el % de agotamiento en 2.312 veces.

Igualmente si se aumenta la concentración del alcohol graso etoxilado de 0.5 a 1%, se logra aumentar el % de agotamiento en 1.2955 veces.

Se nota una dependencia entre las variables de tiempo y concentración.

El signo negativo de los efectos de interacción entre la temperatura y el tiempo indica que estas variables no dependen entre sí.

Después del cálculo de los efectos y el análisis de varianza para evaluar la significancia de las variables se obtiene el modelo codificado.

Ecuación 19: *Modelo codificado del Amarillo Lanaset 2R*

$$\widehat{Y}_1 = 84.7778 + 1.539X_1 + 1.156X_2$$

A partir del modelo codificado se obtiene los coeficientes del modelo decodificado:

$$a_0 = 55.147$$

$$a_1 = 0.308$$

$$a_2 = 0.154$$

Por lo que el modelo decodificado es:

Ecuación 20: *Modelo decodificado del Amarillo Lanaset 2R*

$$Y_1 = 55.147 + 0.308Z_1 + 0.154Z_2$$

4.2.3) *Modelo predictivo del % de Agotamiento en colorante Azul Lanaset 2R*

Análisis de efectos:

Si se aumenta la temperatura de 80 °C a 90 °C, se logra aumentar el % de agotamiento en 5.1275 veces

Así también si se aumenta el tiempo de 15 a 30 minutos, se logra aumentar el % de agotamiento en 3.6025 veces.

De manera contraria si se aumenta la concentración del alcohol graso etoxilado de 0.5 a 1%, se logra disminuir el % de agotamiento en 1.5575 veces.

Se nota una dependencia entre las variables de tiempo y concentración.

El signo negativo de los efectos de interacción entre la temperatura y tiempo indica que estas variables no dependen entre sí.

Después del cálculo de los efectos y el análisis de varianza para evaluar la significancia de las variables se obtiene el modelo codificado.

Ecuación 21: *Modelo codificado del Azul Lanaset 2R*

$$\widehat{Y}_1 = 93.2838 + 2.564X_1 + 1.801X_2$$

A partir del modelo codificado se obtiene los coeficientes del modelo decodificado:

$$a_0 = 44.296$$

$$a_1 = 0.513$$

$$a_2 = 0.240$$

Por lo que el modelo decodificado es:

Ecuación 22: *Modelo decodificado del Azul Lanaset 2R*

$$Y_1 = 44.296 + 0.513Z_1 + 0.240Z_2$$

4.3) Análisis e interpretación de resultados

4.3.1) Análisis de curvas cinética de absorción

A partir de los modelos matemáticos obtenidos en análisis estadístico

Ecuación 23: *Ecuaciones decodificadas*

$$Y_1 = 31.395 + 0.519T^\circ + 0.264t$$

$$Y_1 = 55.147 + 0.308T^\circ + 0.154t$$

$$Y_1 = 44.296 + 0.513T^\circ + 0.240t$$

Reemplazamos la temperatura y tiempo en las diferentes ecuaciones y predecimos los diferentes agotamientos a diferentes temperaturas las cuales son presentadas en la siguiente tabla:

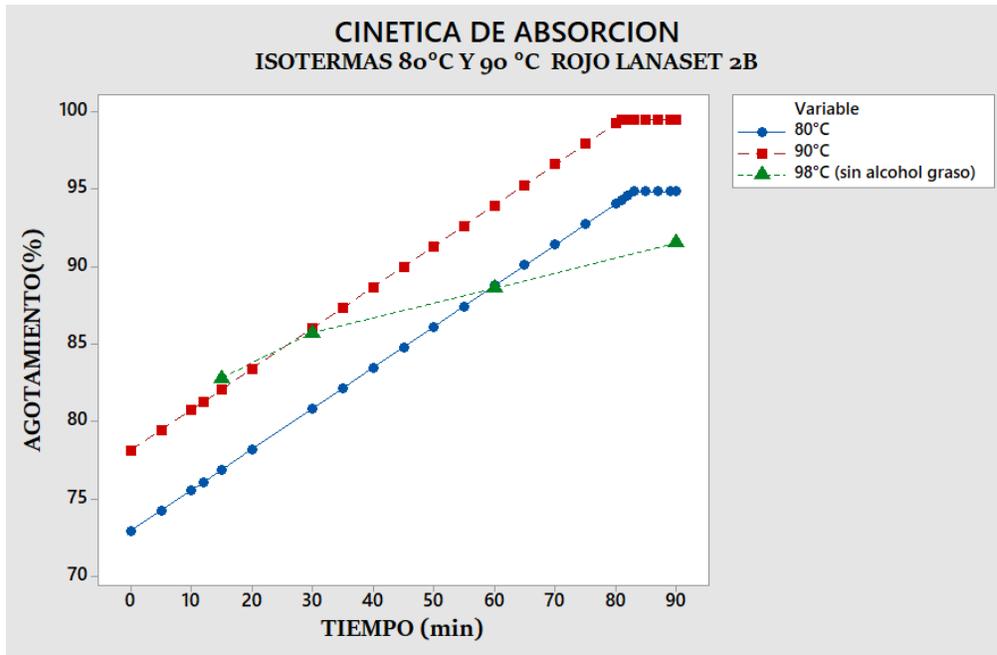
Tabla 38

Agotamiento a diferentes temperaturas según ecuaciones decodificadas

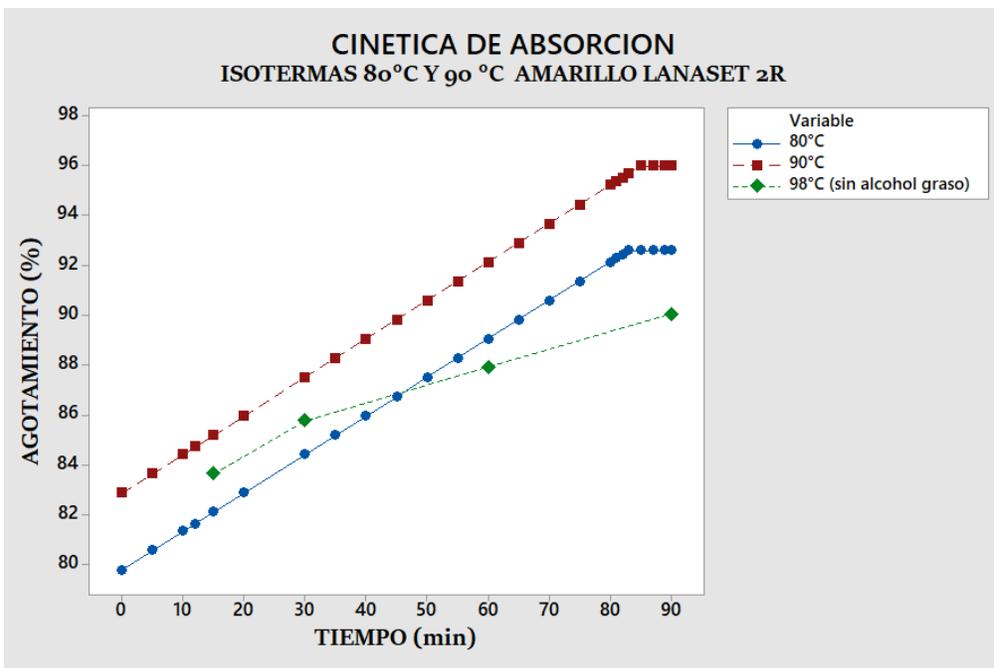
TIEMPO	%AGOTAMIENTO ROJO		%AGOTAMIENTO AMARILLO		%AGOTAMIENTO AZUL	
	80	90	80	90	80	90
0	72.915	78.1050	79.787	82.867	85.336	90.466
5	74.235	79.4250	80.557	83.637	86.536	91.666
10	75.555	80.7450	81.327	84.407	87.736	92.866
12	76.083	81.2730	81.635	84.715	88.216	93.346
15	76.875	82.0650	82.097	85.177	88.936	94.066
20	78.195	83.3850	82.867	85.947	90.136	95.266
30	80.835	86.0250	84.407	87.487	92.536	97.666
35	82.155	87.3450	85.177	88.257	93.736	98.866
40	83.475	88.6650	85.947	89.027	94.936	98.867
45	84.795	89.9850	86.717	89.797	96.136	98.868
50	86.115	91.3050	87.487	90.567	97.336	98.869
55	87.435	92.6250	88.257	91.337	98.536	98.870
60	88.755	93.9450	89.027	92.107	98.536	98.871
65	90.075	95.2650	89.797	92.877	98.536	98.872
70	91.395	96.5850	90.567	93.647	98.536	98.873
75	92.715	97.9050	91.337	94.417	98.536	98.874
80	94.035	99.2250	92.107	95.187	98.536	98.875
81	94.299	99.4890	92.261	95.341	98.536	98.876
82	94.563	99.4891	92.415	95.495	98.536	98.877
83	94.827	99.4892	92.569	95.649	98.536	98.878
85	94.830	99.4893	92.570	95.957	98.536	98.878
87	94.831	99.4894	92.571	95.958	98.536	98.878
89	94.831	99.4895	92.572	95.958	98.536	98.878
90	94.831	99.4896	92.573	95.958	98.536	98.878

Nota: Fuente: Elaboración Propia

A partir de estos datos generamos curvas de cinética de absorción para los diferentes colorantes:

Grafica 7*Cinética de Absorción Rojo Lanaset 2B*

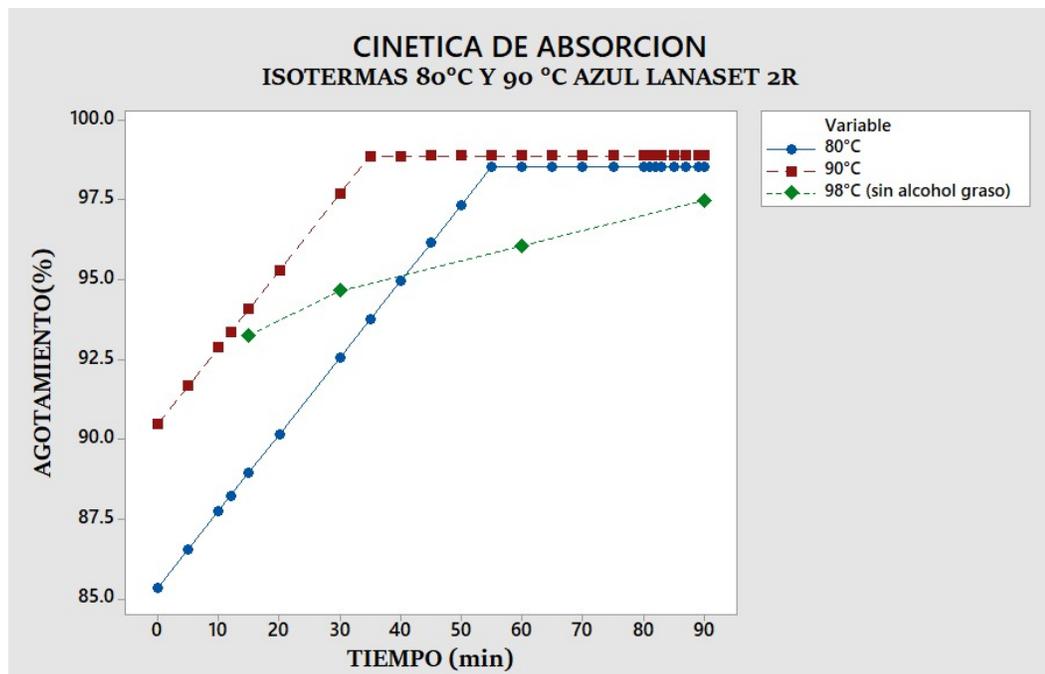
Fuente: Elaboración Propia

Grafica 8*Cinética de Absorción Amarillo Lanaset 2R*

Fuente: Elaboración Propia

Grafica 9

Cinética de Absorción Azul Lanaset 2R



Fuente: Elaboración Propia

A partir de los modelos decodificados en nuestro análisis estadístico se representan las gráficas 7,8 y 9 las cuales exponen las cinéticas de absorción en proceso isoterma a 80 y 90 °C, las que son comparadas con la cinética de los patrones obtenidos con los datos de la tabla 38, estos resultados nos muestran que los isotermas de 90°C son de mejor agotamiento, de forma global podemos decir que el aumento de la absorción mejora cuando las temperaturas son mayores. La diferencia de agotamiento del colorante en los primeros 30 minutos es de orden similar al que se produce al teñir la alpaca a 98°C; esto se debe a que los auxiliares del baño han logrado humectar la fibra por completo y conseguir un medio más estable para difusión de colorantes; en el caso de la isoterma de 80°C los 30-40 primeros minutos la absorción es la más lenta, sin embargo posee mayores agotamientos finales que la isoterma a 98°C.

4.3.2) Cálculo de constante k de velocidad mediante ecuaciones empíricas de cinética

Para el cálculo de la constante K (constante de velocidad) usaremos la ecuación de Puente Cegarra modificada (2006) pues es la que más se ajusta a nuestra experiencia.

A partir de nuestros datos experimentales obtenidos hallamos la concentración en la fibra:

Ecuación 24:

$$C_{SOLUCION} - C_{BAÑO} = C_{FIBRA}$$

Y consideramos la concentración en el equilibrio C_{∞} la concentración de saturación obtenida mediante los modelos matemáticos, así de la ecuación 23. Calcularemos X e Y para que gráficamente hallaremos la pendiente (a) y el intercepto (a lnK).

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

$$Y = mX + b$$

Así tenemos las siguientes tablas resumen de los datos obtenidos y a continuación las gráficas para cada colorante:

Tabla 39

Cálculos de Ecuación Puente Cegarra Modificada para Rojo Lanaset 2B

C ae	N° MUESTRA	T°	T	Ci (g/l)	Cf(g/l)	cfibra	x	y
0.5	M1	80	15	0.5	0.108	0.392	6.8024	0.1441
	M2	90	15	0.5	0.114	0.386	6.8024	-0.0825
	M3	80	30	0.5	0.095	0.405	7.4955	0.2724
	M4	90	30	0.5	0.065	0.435	7.4955	0.3743
1	M5	80	15	0.5	0.112	0.388	6.8024	0.1040
	M6	90	15	0.5	0.078	0.422	6.8024	0.2417
	M7	80	30	0.5	0.110	0.390	7.4955	0.1253
	M8	90	30	0.5	0.063	0.437	7.4955	0.3864

Nota: Fuente: Elaboración Propia

Grafica 10

Representación Gráfica de Ecuación Puente Cegarra Modificada Rojo Lanaset 2B

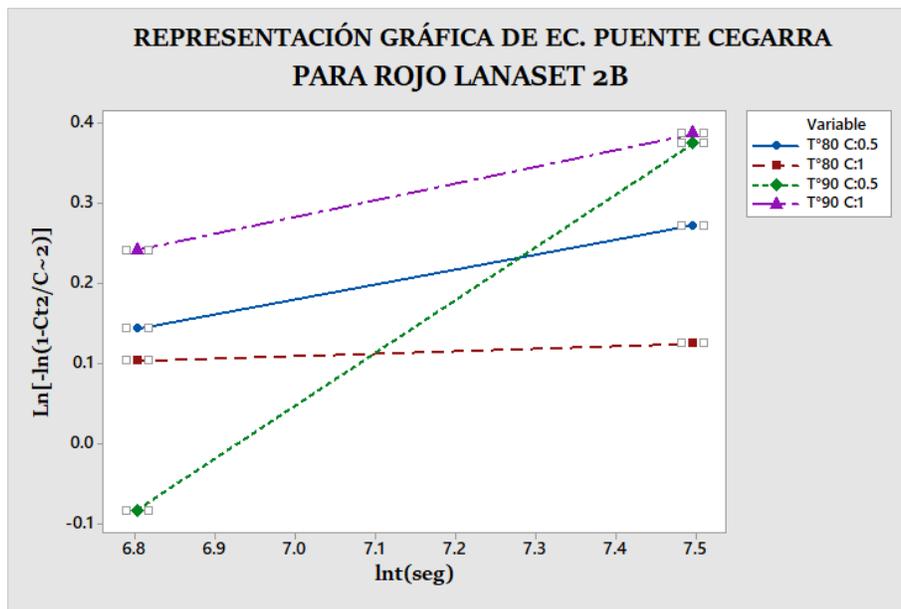


Tabla 40

Constante de velocidad para Rojo Lanaset 2B

C	T	b=alnK	m=a	K
0.5	80	-1.1144	0.1850	0.0024
1	80	-0.1053	0.0308	0.0328
0.5	90	-4.5659	0.6591	0.0010
1	90	-1.1784	0.2088	0.0035

Nota Fuente Elaboración Propia

Tabla 41

Cálculos de Ecuación Puente Cegarra Modificada para Amarillo Lanaset 2R

Cae	°N MUESTRA	T°	t	Ci (g/l)	Cf(g/l)	Cfibra	x	y
0.5	M1	80	15	0.5	0.095	0.405	6.8024	0.3667
	M2	90	15	0.5	0.069	0.431	6.8024	0.4985
	M3	80	30	0.5	0.083	0.417	7.4955	0.5138
	M4	90	30	0.5	0.070	0.430	7.4955	0.4851
1	M5	80	15	0.5	0.088	0.412	6.8024	0.4507
	M6	90	15	0.5	0.075	0.425	6.8024	0.4287
	M7	80	30	0.5	0.069	0.431	7.4955	0.7069
	M8	90	30	0.5	0.060	0.440	7.4955	0.6137

Nota: Fuente: Elaboración Propia

Grafica 11

Representación Gráfica de Ecuación Puente Cegarra Modificada Amarillo Lanaset 2R

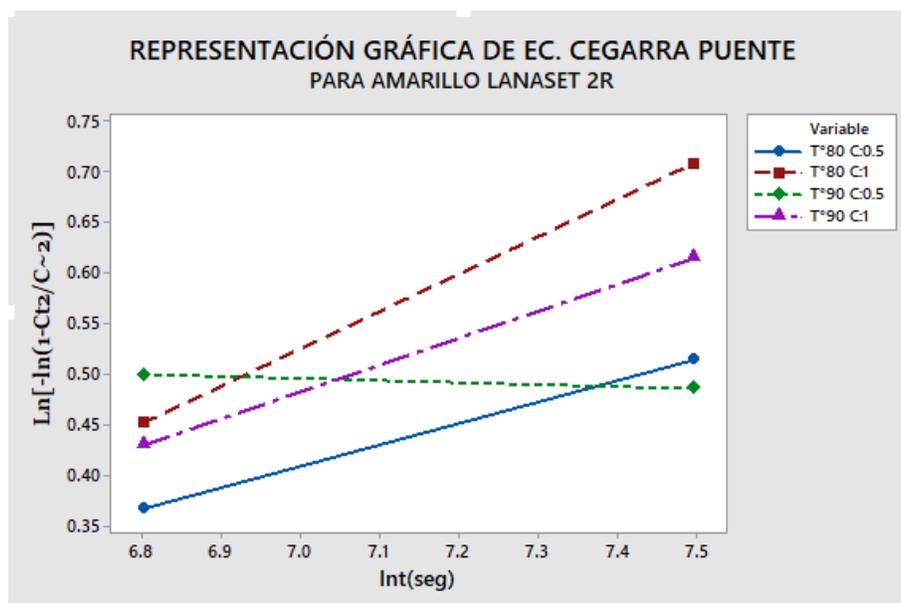


Tabla 42*Constante de velocidad para Amarillo Lanaset 2R*

C	T	b=alnK	m=a	K
0.5	80	-1.0777	0.2123	0.0062
1	80	-2.0633	0.3696	0.0038
0.5	90	0.6299	-0.0193	6.696E-15
1	90	-1.3864	0.2668	0.0055

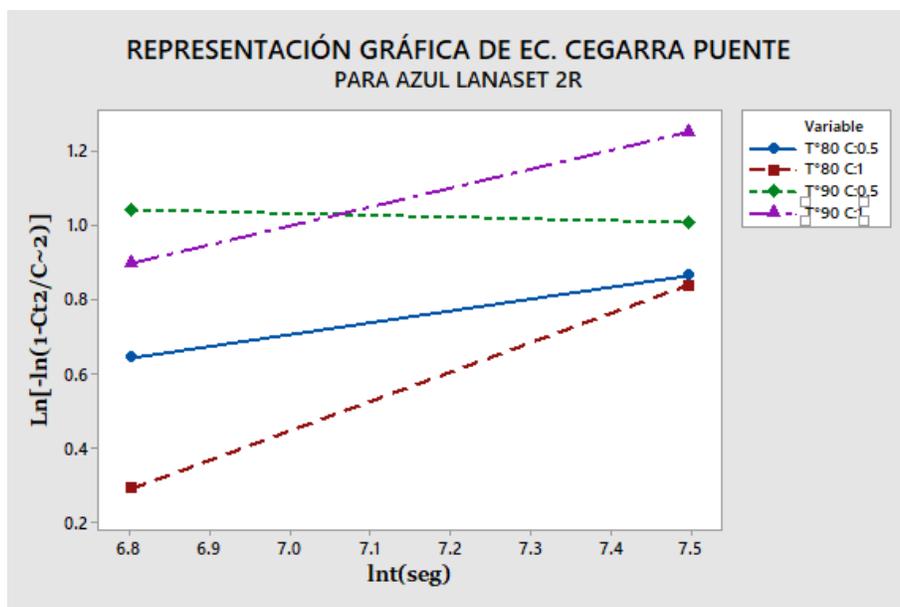
Nota: Fuente: Elaboración Propia**Tabla 43***Cálculos de Ecuación Puente Cegarra Modificada para Azul Lanaset 2R*

	N° MUESTRA	temp	tiempo	Ci (g/l)	Cf(g/l)	C fibra	x	y
0.5	M1	80	15	0.5	0.046	0.454	6.8024	0.6425
	M2	90	15	0.5	0.020	0.480	6.8024	1.0404
	M3	80	30	0.5	0.031	0.469	7.4955	0.8646
	M4	90	30	0.5	0.022	0.478	7.4955	1.0077
1	M5	80	15	0.5	0.077	0.423	6.8024	0.2912
	M6	90	15	0.5	0.027	0.473	6.8024	0.8960
	M7	80	30	0.5	0.032	0.468	7.4955	0.8379
	M8	90	30	0.5	0.013	0.487	7.4955	1.2503

Fuente: Elaboración Propia

Grafica 12

Representación Gráfica de Ecuación Puente Cegarra Modificada Azul Lanaset 2R



Fuente: Elaboración propia

Tabla 44

Constante de velocidad para Azul Lanaset 2R

C	T	b=alnK	m=a	K
0.5	80	-1.5368	0.3204	0.0083
1	80	-5.0746	0.7888	0.0016
0.5	90	1.3618	-0.0472	2.950E-13
1	90	-2.5819	0.5113	0.0064

Nota: Fuente Elaboración Propia

Los valores de las constantes de velocidad que se muestran en las tablas 40,42 y 44 indican que a la menor temperatura (80°C), la absorción de colorante sucede de forma más rápida, este efecto es más notorio para el colorante Rojo, donde la constante alcanza una diferencia notable cuando se usa 1% de alcohol graso, la segunda velocidad más rápida es específicamente a 90 °C con 1 %

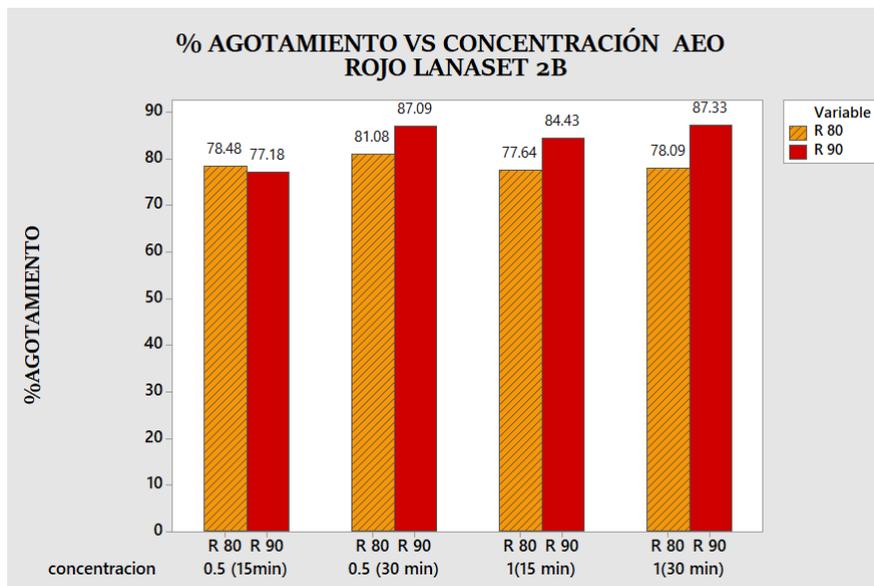
de Alcohol graso, siendo más estable para la tricromía. Estos valores son lógicos si los relacionamos con nuestras gráficas de isotermas donde se observa mejores agotamientos a causa de una C mejor humectación y apertura de poros que el AEO confiere a la fibra, esto ayuda a la difusión y finalmente a la fijación del colorante.

El aumento de la constante de velocidad hará posible la reducción de tiempo de teñido sin que se vea afectada la calidad de fijación, de esta manera comprobamos que la presencia del AEO en la solución de teñido es de acción catalizadora.

4.3.3) Porcentajes de Alcohol Graso vs Agotamiento

Grafica 13

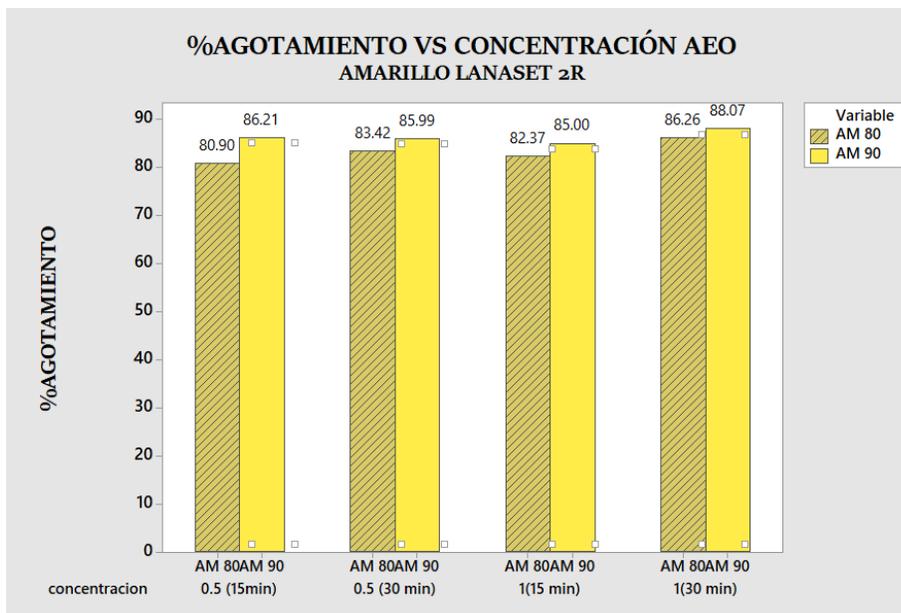
% de agotamiento vs concentración AEO para el Rojo Lanaset 2B



Fuente: Elaboración propia

Grafica 14

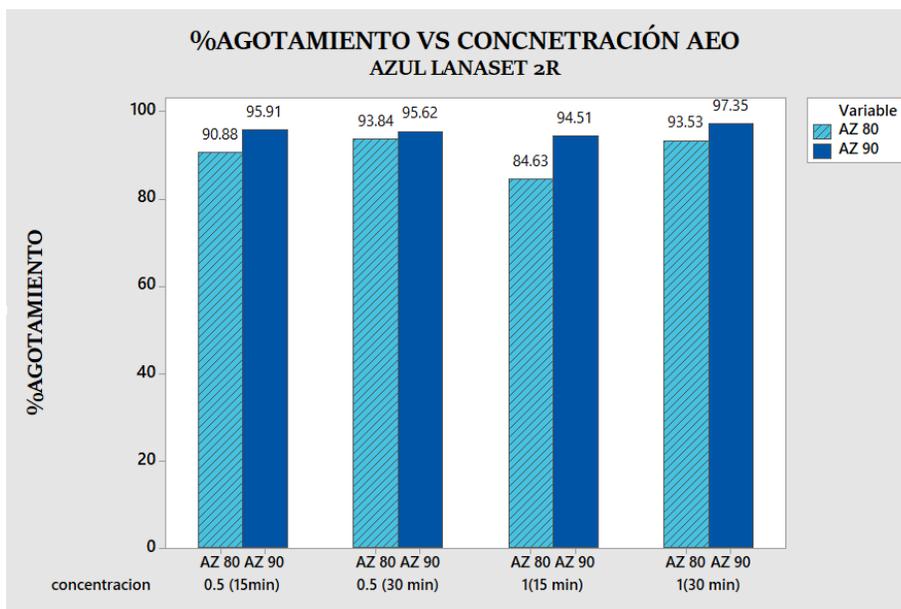
% de agotamiento vs concentración AEO para el Amarillo Lanaset 2B



Fuente: Elaboración propia

Grafica 15

% de agotamiento vs concentración AEO para el Azul Lanaset 2R



Fuente: Elaboración propia

ANALISIS:

Las gráficas 13.14 y 15 son necesarias para poder evidenciar el efecto de la concentración de alcohol graso etoxilado sobre el agotamiento, ya que mediante el modelo codificado no es posible predecirlo. De dichas gráficas se puede interpretar que su presencia produce mejoras en el agotamiento del colorante y favorece a la cinética.

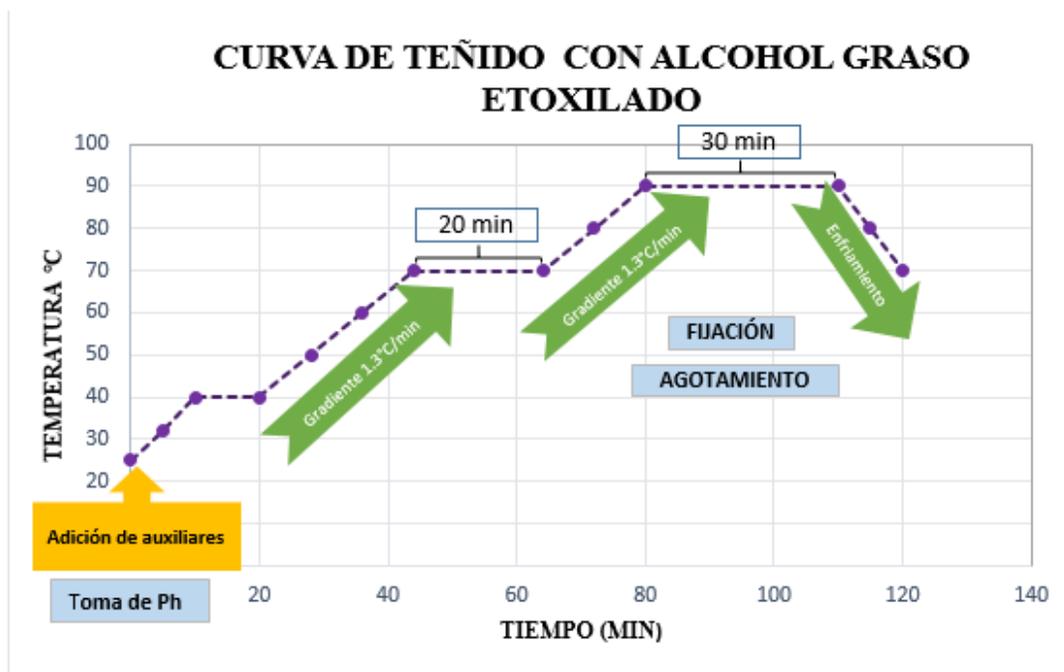
La concentración de AEO y la fijación del colorante a la fibra presentan una relación directamente proporcional, este actúa sobre la primera etapa de la cinética (difusión en fase líquida) abriendo los poros de la fibra y facilitando la entrada del colorante hacia ella para la posterior difusión en la fase sólida y estableciendo mayores puntos de uniones químicas (Fijación).

4.4) Modelamiento de curva de teñido

Del análisis de las gráficas y tablas anteriores se selecciona como las mejores condiciones de teñido: 90°C, 30 minutos de mantenimiento y 1% de concentración de AEO para esquematizar la curva de teñido para colorantes ácido complejo metálico (Rojo Lanaset 2B, Amarillo Lanaset 2R y Azul Lanaset 2R) la cual se presenta en la gráfica 16.

Grafica 16

Diseño de curva de teñido con Alcohol graso Etoxilado



Fuente: Elaboración propia

Para verificar que la condición seleccionada cumple con los estándares de control de calidad se anexa la Solidez al Frote, para la M8 que es la que cumple estas condiciones sus valores de solidez al frote son:

Tabla 45

Solideces visuales Frote seco y húmedo, con 1% de Alcohol Etoxilado

COLOR	TEMPERATURA	TIEMPO	CUANTIFICACION DATA COLOR	
			FROTE SECO	FROTE HUMEDO
ROJO	90	30	4-5	2-3
AMARILLO	90	30	4-5	3-4

AZUL	90	30	4-5	3-4
------	----	----	-----	-----

Nota: Fuente Elaboración Propia

Así corroboramos que uno de los estándares de calidad más evaluados se cumple, por lo tanto le genera mayor valor agregado y es válida la nueva curva diseñada para procesos de teñido

CONCLUSIONES

1. De la experiencia determinamos que el 1 % de concentración de AEO es la concentración óptima para alcanzar mejores resultados tanto para la cinética y paralelamente mejores absorciones pues a esta concentración las condiciones fisicoquímicas favorecen la difusión del colorante a la fibra.
2. Los resultados de nuestro modelo nos permiten establecer que el incremento de temperatura es la variable de mayor influencia en el proceso para todos los colorantes, de este modo seleccionamos como mejor valor de temperatura 90°C, a dicha temperatura se evidencia que las concentraciones finales de los baños de tintura son menores lo que significa mayor colorante adherido a la fibra, es decir se logra alcanzar excelentes agotamientos que son similares o mayores que los resultados obtenidos en las curvas habituales de teñido.
3. Es posible disminuir el tiempo de teñido de un proceso habitual, pues las constantes de velocidad calculadas a partir de las ecuaciones empíricas nos muestran una mejora en la cinética siempre que se añada en el baño de teñido al AEO. A un tiempo de 15 minutos no es factible alcanzar una fijación óptima que permita tener buenas solideces, pues aun quedará colorante en la superficie de la fibra que no termine de fijar, por eso es adecuado usar tiempos de mínimo 30 minutos para obtener productos de calidad.
4. Después de analizar los resultados seleccionamos los valores de nuestras variables de estudio que permiten optimizar la habitual curva de teñido, siendo estos valores 90 °C, 30 minutos, 1% de AEO, con dichos valores establecemos una nueva curva la cual no afecta no afectan el matiz, ni la cantidad de colorante transferido de la superficie de sustratos textiles a otras

superficies, los valores del frote seco y húmedo se encuentran dentro del rango aceptable por la ATTC y consideradas buenas solideces.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el desarrollo de otros estudios donde se utilice en un mismo baño la tricromía (combinación de tres colorantes en la formulación para obtener un tono específico), puesto que este estudio se analizó los colorantes por separado.

2. Dado que el estudio fue realizado en muestras pequeñas de 5 g se recomienda hacer un proyecto de escalamiento y realizar ensayos dentro de una planta textil en máquinas tintoreras de 1Kg, para luego ensayar en máquinas de mayor capacidad, dado que dichas máquinas se trabaja con diferentes flujos y los resultados pueden variar.

3. A pesar que la solidez al frote se encuentra dentro de los parámetros se recomienda mejorarla con un tratado posterior para conseguir una mejor calidad de producto final y mayor valor agregado; así como también se recomienda hacer pruebas de solidez al lavado y evaluar si sería necesario mejorarla con un tratado.

4. Se recomienda hacer un estudio con ayuda del SEM para medir el diámetro de los poros de la estructura de la fibra de alpaca antes, durante y después de teñidos con y sin AEO y comparar en estas fases el crecimiento de dichos poros.

BIBLIOGRAFIA

- Alvarez, D. J. (1981). Dimensiones físicas de la fibra de alpaca en la CAP. Huacho. Tesis de Medico Veterinario FMVZ . Puno, Unta, Perú.
- Angie Echevarria Callupe, L. F. (2017). Desing and Implementation of a Pilot Plant for the Dyeing of Textile Avios .
- Baldeón C. , J., & Orihuela A., B. (2017). *Evaluación de la sustitución parcial de carne de alpaca (Vicugna pacos) en la elaboración de*. Universidad de Nacional del Centro del Perú Facultad de Ciencias Aplicadas, Tarma - Perú.: Tesis para optar el título de Ingeniero Agroindustrial.
- Ballón, R. M. (2003). Ingeniería del Conocimiento y Vigilancia Tecnologica Aplicada a la Investigación en el campo de los Tensoactivos. Granada, España: Universidad de Granada.
- Cantero M., A. S. (2010). *Determinación de Tensoactivos Aniónicos en Matrices Ambientales*. Granada: Universidad de Granada.
- Cegarra, J. (2005). *Fundamentos Científicos y Aplicados de la tintura de materias textiles*. Barcelona.
- Costa, M. R. (2010). *Las fibras textiles y su tintura Vol. II*. CONCYTEC.
- Datacolor. (2020). *Datacolor* . Retrieved from <https://www.datacolor.com/business-solutions/product-overview/datacolor-ahiba/>
- Dominguez, J. (2009). *Tensioactivos y Detergencia*. Madrid - España: Dossat S.A.

- FAO. (2005). Situación actual de los camélidos sudamericanos en Perú. *Proyecto de Cooperación Técnica en apoyo a la crianza y aprovechamiento de los Camélidos Sudamericanos en la Región Andina TCP/RLA/2914* .
- Feliti, S. A. (2010). *Química Orgánica para estudiantes de Ciencias de la Vida*. Rosario: UNR EDITORA.
- Fernandez, A., Louis, J., & Scorzza, C. (2004). *Surfactantes*. Merida- Venezuela: Ministerio de Ciencia y Tecnología PPGEA-FONACIT.
- Filarowski, Andrew; , Society of dyers and colourist. (2013). *The Coloration of Wool and others Keratin Fibres*. United Kingdom.
- Filipe, E. (2006). Quando as moléculas se auto-organizam: Miscelas e outras estruturas supramoleculares. In E. Filipe, *Coloquio/Ciencias N°18* (pp. 25-38). Brasil: Fundacao Calouste Gulbenkain.
- Fuertes, A. (2006). *Apuntes de ciencias de las Fibras*. Lima- Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Guillen, A. L., & Victor, L. (2020). Variación en el diámetro de fibra por efecto de la medulación en vellones finos de alpacas Huacaya de tres grupos etarios. *Rev. investig. vet. Perú - Scielo Perú*, vol.31 no.4.
- HACH, C. (2005). MANUAL DEL USUARIO DR 2800.
- Lange, K. (1994). *Detergents and cleaners: Applications Surfactant Science*.
- Lewis, D. M., & Rippan, J. (2013). *The coloration of Wool and other Keratin fibres*. Australia: Andrew Filarowsky.
- Marcano, D. (2018). *Introducción a la química de los colorantes*. Caracas, Venezuela: Colección Divulgación Científica y Tecnológica. Academia de Ciencias Físicas.

- Marcelo Martinez, A. O. (2018). Validación de un método para el análisis de color real en Agua. *Revista de la Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia*, 143-155.
- MINAGRI. (2020, AGOSTO 01). *PLATAFORMA DIGITAL UNICA DEL ESTADO PERUANO*. Retrieved from <https://www.gob.pe/institucion/minagri/noticias/285670-dia-nacional-de-la-alpaca-peru-primer-productor-de-alpaca-en-el-mundo>
- Molina, L. (2006). *Influencia del cotraión en las propiedades biologicas de tensoactivos aniónicos derivados de la N-dioctanoil lisina: citotoxicidad y ecotoxicidad in vitro*. Tesis Doctoral. Barcelona: Universidad de Barcelona .
- Oliver Rodriguez, B. (2013). *Comportamiento Ambiental de contaminantes quimicos. Metodologia analitica y estudios de modelización*. Granada.
- OpenStax. (2015). *Biology*. Cnx Biology.
- Órgão Oficial Da Associação Brasileira de Quimicos e Coloristas Têxteis. (2000). Auxiliares Têxteis do ponto de vista dos tensoativos. *Quimica Textil*, 76-80.
- Órgão Oficial Da Associação Brasileira de Quimicos e Coloristas Têxteis. (2000). Auxiliares Têxteis do ponto de vista dos tensoativos. *Quimica Textil*, 76-80.
- Perinat, M. d. (2007). *TECNOLOGIA DE LA CONFECCION TEXTIL*. España: EDYM.
- Pesok, J. C. (2004). *INTRODUCCION A LA TECNOLOGIA TEXTIL*. Montevideo.
- Quisigüiña, P. S. (2014). *REUTILIZACIÓN DE BAÑOS DE TINTURA DE FIBRA DE POLIAMIDA CON COLORANTES ÁCIDOS EN LA INDUSTRIA TEXTIL*. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR: TESIS DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA QUÍMICA.
- Quispe, E., Rodríguez, T., Iñiguez, L., & Mueller, J. (2009). Producción de fibra de alpaca, llama, vicuña y guanaco en Sudamérica. *Animal Genetic Resources Information*.

- Reutlingen. (2002). Material do curso de graduacao Engenharia Quimica Textil (Dipl. Ing).
- Salager, J. L. (2002). El mundo de los Surfactantes. In *Cuaderno FIRPS 311-A* (pp. 5-6). Merida Venezuela: Universidad de los Andes.
- Semarnat*. (2003). Retrieved from Semarnat:
https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/lectures/SEMARNAT/SEMARNAT-E-Clasificacion_de_Tensoactivos.pdf
- Valdeperas, M. J., Carrillo, F., & Navarro J.A. (2006). Cinetica de la tintura de Tencel con colorantes directos. *BOLETIN INTEXTER UPC*, 54.
- Villarroel, J. (1991). *Avances y perspectivas del conocimiento de los camelidos Sudamericanos*. Santiago- Chile: Oficina Regional de la FAO para America Latina y el Caribe.
- Wang, H., Liu, X., & Wang, X. (2005). Internal Structure and Pigment Granules in Colored Alpaca Fibers. *School of Engineering and Technology, Deakin University, Australia*.
- Wilfred, I. (1993). *Colour for textiles*. UK: Dyers' Company Publications Trust.
- X-RITE. (2020). *Productos para medición y gestión del color*. Retrieved from <https://www.xrite.com/es/products>

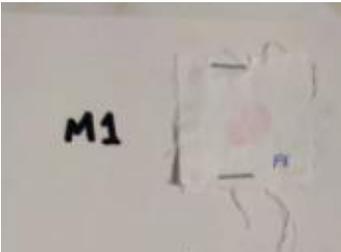
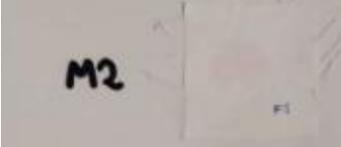
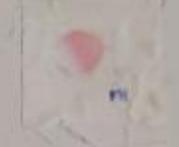
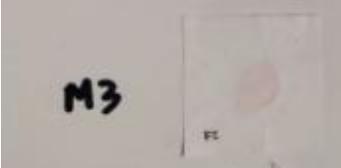
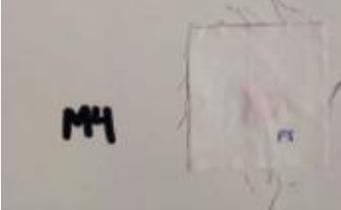
ANEXOS

ANEXO 1. Solideces al frote seco y húmedo

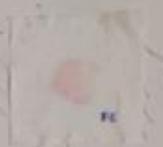
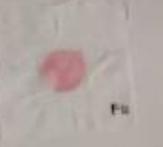
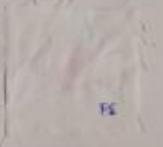
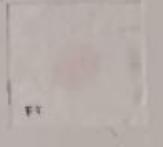
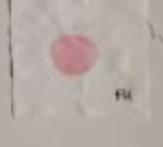
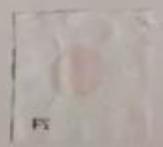
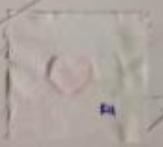
Tabla A1:

Resultados de solidez al frote seco y húmedo para Rojo Lanaset 2B

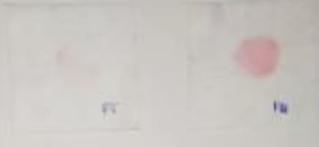
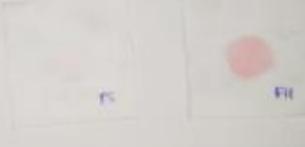
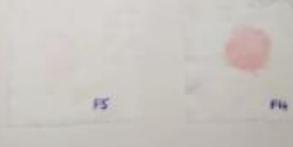
ROJO LANASET 2B

Nº PRUEBA	Puntuación Frote Seco	Puntuación Frote Húmedo	Frote Seco	Frote Húmedo
1	4-5	2-3		
2	4-5	2-3		
3	4-5	2-3		
4	4-5	2-3		

ROJO LANASET 2B

N° PRUEBA	Puntuación Frote Seco	Puntuación Frote Húmedo	Frote Seco	Frote Húmedo
5	4-5	2-3		
6	4-5	2-3		
7	4-5	2-3		
8	4-5	2-3		

ROJO LANASET 2B

N° PRUEBA	Puntuación Frote Seco	Puntuación Frote Húmedo	Frote Seco	Frote Húmedo
9	4-5	2-3	M9	
10	4-5	2-3	M10	
11	4-5	2-3	M11	
12	4	2-3	M12	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla A2:

Resultados de solidez al frote seco y húmedo para Amarillo Lanaset 2R

AMARILLO LANASET 2R

N° PRUEBA	Puntuación Frote Seco	Puntuación Frote Húmedo	Frote Seco	Frote Húmedo
-----------	-----------------------	-------------------------	------------	--------------

1	4	2-3	
2	4-5	3	
3	4-5	3	
4	5	3	

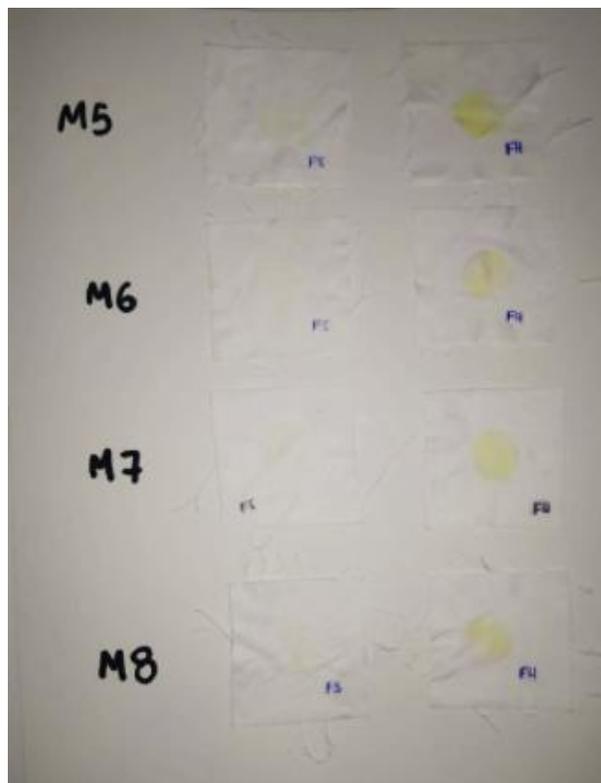
AMARILLO LANASET 2R

N° PRUEBA	Puntuación Frote Seco	Puntuación Frote Húmedo	Frote Seco	Frote Húmedo
5	4-5	4-5		
6	4-5	3-4		
7	4-5	3-4		

8

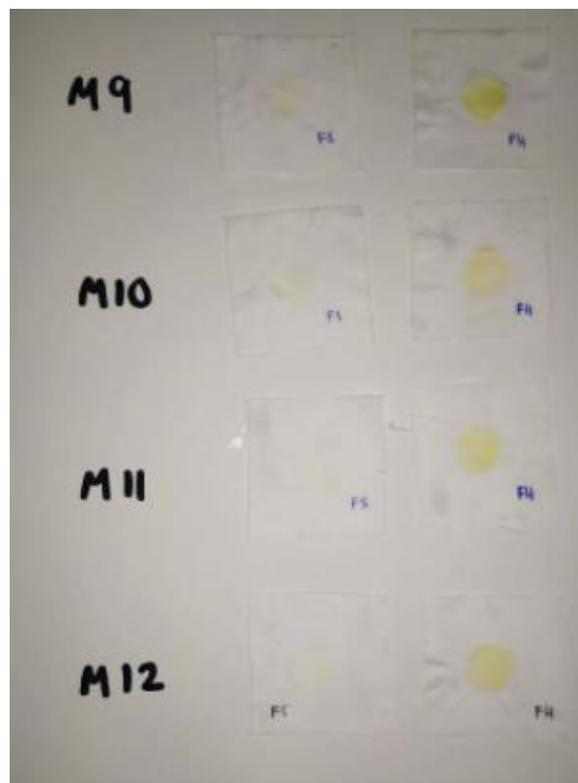
4-5

3-4

**AMARILLO LANASET 2R**

N° PRUEBA	Puntuación Frote Seco	Puntuación Frote Húmedo	Frote Seco	Frote Húmedo
--------------	--------------------------	-------------------------------	------------	--------------

9	4-5	2-3
10	4-5	3
11	4-5	4
12	4-5	3



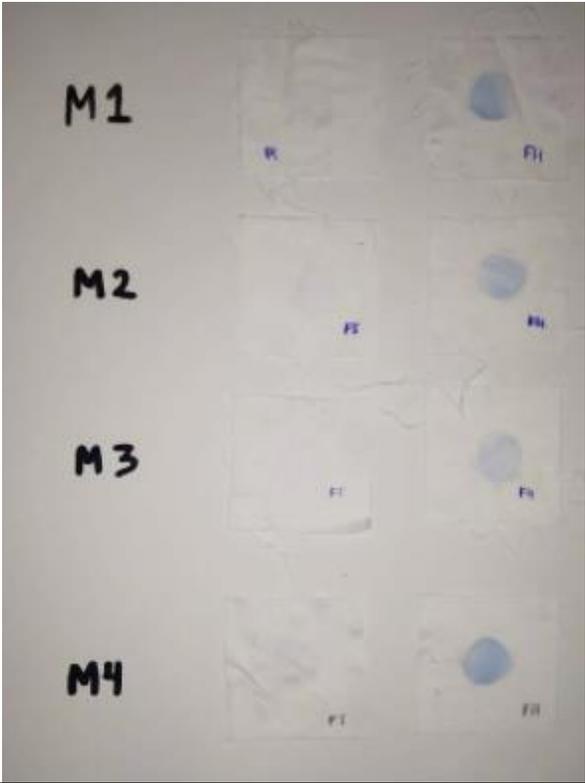
Fuente: Elaboración Propia

Tabla: A3:

Resultados de solidez al frote seco y húmedo para Azul Lanaset 2R

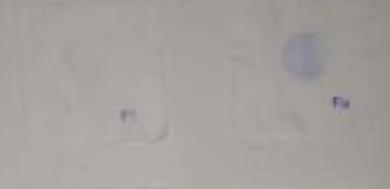
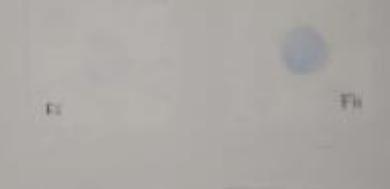
AZUL LANASET 2R

Nº PRUEBA	Puntuación Frote Seco	Puntuación Frote Húmedo	Frote Seco	Frote Húmedo
1	4-5	3		

2	4-5	3	
3	4-5	3-4	
4	4-5	3	

AZUL LANASET 2R

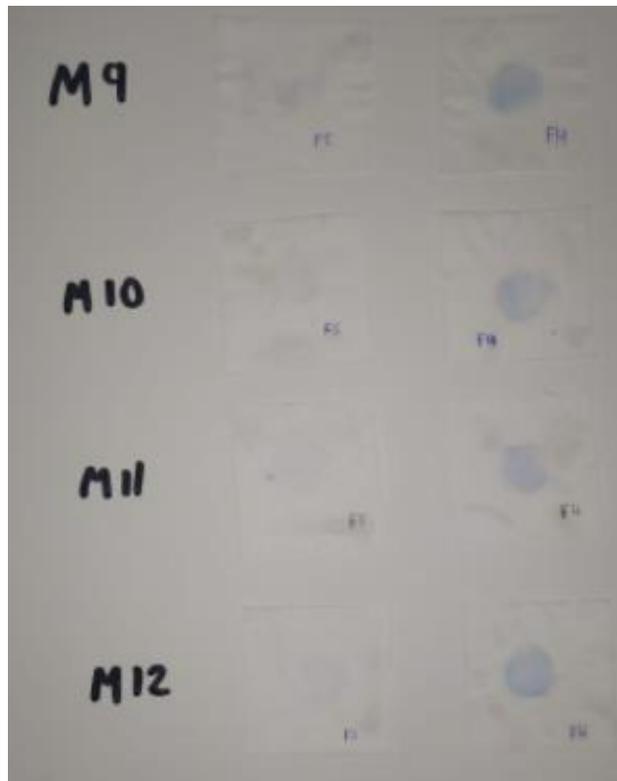
N° PRUEBA	Puntuación Frote Seco	Puntuación Frote Húmedo	Frote Seco	Frote Húmedo
-----------	-----------------------	-------------------------	------------	--------------

5	4-5	3	M5	
6	4-5	3	M6	
7	4-5	3-4	M7	
8	4-5	3-4	M8	

AZUL LANASET 2R

Nº PRUEBA	Puntuación Frote Seco	Puntuación Frote Húmedo	Frote Seco	Frote Húmedo
-----------	-----------------------	-------------------------	------------	--------------

9	4-5	3
10	4-5	3
11	4-5	3
12	4-5	3-4



ANEXO 2. MODELO PREDICTIVO PARA PORCENTAJES DE AGOTAMIENTO

1) Cálculos para Colorante Rojo Lanaset 2B

Tabla A2.1

Matriz codificada del % de agotamiento para Rojo Lanaset 2B

N°	X1	X2	X3	X1X2	X1X3	X2X3	X1X2X3	Y1
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	78.48
2	1	-1	-1	-1	-1	1	1	77.18
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1	81.08
4	1	1	-1	1	-1	-1	-1	87.09
5	-1	-1	1	1	-1	-1	1	77.64
6	1	-1	1	-1	1	-1	-1	84.43
7	-1	1	1	-1	-1	1	-1	78.09
8	1	1	1	1	1	1	1	87.33
9	0	0	0					83.40
10	0	0	0					83.33
11	0	0	0					83.23

12	0	0	0	80.11
\bar{Y} Prom general (sin replicas)				81.415
Yo prom replicas				82.5175

Nota: Fuente Elaboración Propia

A) Cálculo del efecto:

Para la determinación de efecto se aplicará la siguiente formula:

Ecuación A2.1: *Cálculo del Efecto*

$$\sum x_l = \frac{[X T] * [Y]}{(N/2)R}$$

Donde:

[Y] = Matriz de la variable Y.

[XT] = Matriz transpuesta codificada.

N = Número de pruebas experimentales. = 8

r = Número de réplicas en el diseño. = 1

Nótese que los puntos replicados en el centro no son considerados en el promedio de Y por lo tanto tampoco en el cálculo de efectos, más bien serán utilizados para calcular la suma de cuadrados del error. Para aplicar la fórmula anterior debemos hallar la matriz transpuesta [XT] y multiplicar por [Y].

$$[XT] * [Y] = [XT] [Y]$$

Tabla A2.2

Efectos del % de agotamiento para Rojo Lanaset 2B

	X1	X2	X3	X1X2	X1X3	X2X3	X1X2X3
Efecto Δ	5.185	3.965	0.915	2.44	2.83	-2.29	-1.215

Nota: Fuente Elaboración Propia

B) Análisis de Varianza

Este análisis de la varianza se diferencia del efectuado cuando se ejecutan replicas en cada punto del diseño y nos ayudara a probar la significancia de los efectos. Implica el cálculo de:

Ecuación A2.2: *Suma total de cuadrados*

$$SS_{total} = SS_{efectos} + SS_{error} + SS_{curvatura}$$

Donde:

SS_{total} = Suma total de cuadrados.

$SS_{efectos}$ = Suma de cuadrados debido a los efectos.

Ecuación A2.3: *Suma de cuadrados de los efectos*

$$SS_{efectos} = \frac{(\sum_{i=1}^N X_{ij} Y_j)^2}{Nr}$$

Donde:

X_{ij} = valores de la matriz codificada

Y_j = valores respuesta

N = número de pruebas experimentales

r = numero de réplicas en el diseño

SS_{error} = Suma de cuadrados debido al error.

Ecuación A2.4: *Suma de cuadrados del error*

$$SS_{ERROR} = \sum_{i=1}^{n_0} (Y_i^0 - \bar{Y})^2$$

Donde:

Y_i^0 = Réplicas en el punto central.

\bar{Y} = Promedio de todas las réplicas.

$SS_{\text{curvatura}}$ = Suma de cuadrados debido al efecto de curvatura.

Ecuación A2.5: *Suma de cuadrados de la curvatura*

$$SS_{\text{CURVATURA}} = \frac{N * n_0 (\bar{Y} - \bar{Y}^0)^2}{N + n_0}$$

Donde:

\bar{Y} = Promedio de las pruebas experimentales.

\bar{Y}^0 = Promedio de todas las réplicas.

N = Número de pruebas experimentales.

n_0 = Número de réplicas en el punto central.

Entonces al aplicar las formulas tenemos

Tabla A2.3

Suma de cuadrados de Efectos, Error y Curvatura del % de agotamiento para Rojo

Lanaset 2B

FUENTE	SS
X1	53.76845
X2	31.44245
X3	1.67445
X1X2	11.90720
X1X3	16.01780
X2X3	10.48820
X1X2X3	2.95245
Curvatura	3.24135
Error	7.74268

Nota: Fuente Elaboración Propia

D) Cálculo de la Media de Cuadrados

Primero se determina los grados de libertad para los efectos y del error; para luego poder calcular la media de cuadrados para cada factor y el error.

Ecuación A2.6: Media de cuadrados

$$MS = \frac{SS}{GL}$$

Donde:

SSefectos = Suma de cuadrados de efectos o error

GLefectos = Grados de libertad de efectos o error

$$GL_{\text{error}} = (n_0 - 1) = (4 - 1) = 3$$

Para diseño factorial a dos niveles:

$$GL_{\text{efectos}} = 1$$

Tabla A2.4

Media de Cuadrados de Efectos y Error del % de agotamiento para Rojo Lanaset 2B

FUENTE	SS	g.l	MS
X1	53.76845	1	53.76845
X2	31.44245	1	31.44245
X3	1.67445	1	1.67445
X1X2	11.90720	1	11.90720
X1X3	16.01780	1	16.01780
X2X3	10.48820	1	10.48820
X1X2X3	2.95245	1	2.95245
Curvatura	3.24135	1	3.24135
Error	7.74268	3	2.58089
Total	139.23503	11	

Nota: Fuente Elaboración Propia

E) Cálculo de Fo

Ecuación A2.7: Cálculo de F

$$F_o = \frac{\text{MS efecto}}{\text{MS error}}$$

Donde:

MS efecto = Media de cuadrados de los efectos.

MS error = Media de cuadrados del error

Evaluando el estadístico F versus F_o se tiene:

$$F_{(\alpha, g_l T, g_l E)} = F_{(0.05, 1, 3)} = 10.13$$

Entonces una variable, una interacción o la curvatura son significativa si se cumplen la siguiente condición:

$$F_o > F_{(\alpha, g_l T, g_l E)}$$

Tabla A2.5

Análisis de la Varianza del % de agotamiento para Rojo Lanaset 2B

FUENTE	SS	g.l	MS	Fo	SIGNIFICANCIA
X1	53.76845	1	53.76845	20.83328	SI
X2	31.44245	1	31.44245	12.18279	SI
X3	1.67445	1	1.67445	0.64879	NO
X1X2	11.90720	1	11.90720	4.61360	NO
X1X3	16.01780	1	16.01780	6.20630	NO
X2X3	10.48820	1	10.48820	4.06379	NO
X1X2X3	2.95245	1	2.95245	1.14397	NO
Curvatura	3.24135	1	3.24135	1.25590	NO
Error	7.74268	3	2.58089		
Total	139.23503	11			

Nota: Fuente Elaboración Propia

F) Modelo Matemático

Entonces el modelo matemático queda definido

Tabla A2.6

Coefficientes para el modelo matemático del % de agotamiento para Rojo Lanaset 2B

Modelo Matemático y^{\wedge}	X1	X2	Termino inde.
coeficiente bn	2.593	1.983	81.4150

Nota: Fuente Elaboración Propia

G) Análisis de residuos

Este análisis nos ayudara a determinar la diferencia entre los valores estimados con el modelo y los valores observados o experimentales.

Tabla A2.7

Análisis de residuos del % de agotamiento para Rojo Lanaset 2B

N° PRUEBAS	X1	X2	Yr	y^{\wedge}	R =(Yr-Y $^{\wedge}$)
1	-1	-1	78.48	76.84	1.6400
2	1	-1	77.18	82.03	-4.8450
3	-1	1	81.08	80.81	0.2750
4	1	1	87.09	85.99	1.1000
5	-1	-1	77.64	76.84	0.8000
6	1	-1	84.43	82.03	2.4050
7	-1	1	78.09	80.81	-2.7150
8	1	1	87.33	85.99	1.3400

Nota: Fuente Elaboración Propia

Ahora hallamos la suma de cuadrados del residuo y F_0 , las formulas son:

Ecuación A2.8: *Suma de cuadrados del residuo*

$$SSM_R = \sum_{i=1}^{No} \frac{(Y_r - \hat{Y})}{N_r - I}$$

Ecuación A2.9: *Cálculo de F_0 del residuo*

$$F_0 = \frac{SSM_R}{MS_{ERROR}}$$

El modelo es adecuado si: $F_0 < F_{(\alpha, gl_T, gl_E)}$

$$F_{(0.05, 3, 3)} = 9.28$$

Tabla A2.8

SSMR y F_0 residuos del % de agotamiento para Rojo Lanaset 2B

	SSM_R	F_0	
Residuo	8.60802	3.33529	modelo adecuado

Nota: Fuente Elaboración Propia

H) Decodificación del Modelo a Escala Natural

Para ello se aplica las siguientes formulas:

Para el término independiente:

Ecuación A2.10: *Fórmula de decodificación para el término independiente*

$$\alpha_0 = b_0 - \sum_{j=1}^k b_j E_j + \sum_{i,j=1}^k b_{ij} E_{ij}$$

Para el término lineal:

Ecuación A2.11: *Fórmula de decodificación del término lineal*

$$\alpha_j Z_j = \frac{b_j}{\Delta Z_j} - \sum_{i,j=1}^{k=1} \frac{b_{ij}}{\Delta Z_j}$$

Para el término de interacción:

Ecuación A2.12: *Fórmula de decodificación del término de interacción*

$$a_{ij}Z_iZ_j = \frac{b_{ij}}{\Delta Z_i \Delta Z_j}$$

Relación E:

Ecuación A2.13: *Relación de E*

$$E = \frac{Z_j^0}{\Delta Z_j}$$

Donde:

Z_j^0 = Centro del diseño para la variable J, $(Z_{\max} + Z_{\min})/2$.

ΔZ_j = Radio del diseño para la variable J, $(Z_{\max} - Z_{\min})/2$.

Tabla A2.9

Resumen de decodificación del % de agotamiento para Rojo Lanaset 2B

	Z1	Z2	Z3
Nivel inferior (-)	80	15	0.5
Nivel superior(+)	90	30	1
Centro del diseño(Z^0)	85	22.5	0.75
Radio del diseño(ΔZ)	5	7.5	0.25
Relación E	17	3	3

Nota: Fuente Elaboración Propia

2) Cálculos para Colorante Amarillo Lanaset 2R

Tabla A2.10

Matriz codificada del % de agotamiento para Amarillo Lanaset 2R

N°	X1	X2	X3	X1X2	X1X3	X2X3	X1X2X3	Y1
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	80.90
2	1	-1	-1	-1	-1	1	1	86.22
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1	83.42
4	1	1	-1	1	-1	-1	-1	85.99
5	-1	-1	1	1	-1	-1	1	82.37

6	1	-1	1	-1	1	-1	-1	85.00	
7	-1	1	1	-1	-1	1	-1	86.26	
8	1	1	1	1	1	1	1	88.07	
9	0	0	0					86.37	
10	0	0	0					84.54	
11	0	0	0					84.57	
12	0	0	0					78.73	
\bar{Y} Prom general (sin replicas)								5	84.7777
Yo prom replicas									84.737

Nota: Fuente Elaboración Propia

Tabla A2.11

Efectos del % de agotamiento para Amarillo Lanaset 2R

	X1	X2	X3	X1X2	X1X3	X2X3	X1X2X3
Efecto Δ	3.078	2.312	1.2955	-0.8915	-0.863	1.167	0.4825

Nota: Fuente Elaboración Propia

Tabla A2.12

Suma de cuadrados de Efectos, Error y Curvatura del % de agotamiento para Amarillo Lanaset 2R

FUENTE	SS
X1	18.94817
X2	10.69069
X3	3.35664
X1X2	1.58954
X1X3	1.48954
X2X3	2.72378
X1X2X3	0.46561
Curvatura	0.00443
Error	4.32849

Nota: Fuente Elaboración Propia

Tabla A2.13*Media de Cuadrados de Efectos y Error del % de agotamiento para Amarillo Lanaset 2R*

FUENTE	SS	g.l	MS
X1	18.94817	1	18.94817
X2	10.69069	1	10.69069
X3	3.35664	1	3.35664
X1X2	1.58954	1	1.58954
X1X3	1.48954	1	1.48954
X2X3	2.72378	1	2.72378
X1X2X3	0.46561	1	0.46561
Curvatura	0.00443	1	0.00443
Error	4.32849	3	1.44283
Total	43.59689	11	

Nota: Fuente Elaboración PropiaCalculando el F_o y evaluando el estadístico F versus F_o se tiene:

$$F_{(\alpha, g_l T, g_l E)} = F_{(0.1, 1, 3)} = 5.538$$

$$F_o > F_{(\alpha, g_l T, g_l E)}$$

Tabla A2.14*Análisis de la Varianza del % de agotamiento para Amarillo Lanaset 2R*

FUENTE	SS	g.l	MS	Fo	SIGNIFICANCIA
X1	18.94817	1	18.94817	13.13263	SI
X2	10.69069	1	10.69069	7.40952	SI
X3	3.35664	1	3.35664	2.32643	NO
X1X2	1.58954	1	1.58954	1.10168	NO
X1X3	1.48954	1	1.48954	1.03237	NO
X2X3	2.72378	1	2.72378	1.88780	NO
X1X2X3	0.46561	1	0.46561	0.32271	NO
Curvatura	0.00443	1	0.00443	0.00307	NO
Error	4.32849	3	1.44283		
Total	43.59689	11			

Nota: Fuente Elaboración Propia

Tabla A2.15

Coefficientes del modelo matemático del % de agotamiento para Amarillo Lanaset 2R

Modelo Matemático y^{\wedge}	X1	X2	Termino inde.
coeficiente bn	1.539	1.156	84.7778

Nota: Fuente Elaboración Propia

Tabla A2.16

Análisis de residuos del % de agotamiento para Amarillo Lanaset 2R

N° PRUEBAS	X1	X2	Yr	y^{\wedge}	$R = (Yr - Y^{\wedge})$
1	-1	-1	80.90	82.08	-1.1827
2	1	-1	86.22	85.16	1.0543
3	-1	1	83.42	84.39	-0.9758
4	1	1	85.99	87.47	-1.4868
5	-1	-1	82.37	82.08	0.2913
6	1	-1	85.00	85.16	-0.1627
7	-1	1	86.26	84.39	1.8673
8	1	1	88.07	87.47	0.5952

Nota: Fuente Elaboración Propia

Ahora hallamos la suma de cuadrados del residuo y F_0 , el modelo es adecuado cumpliendo

$$F_0 < F_{(\alpha, gl_T, gl_E)}$$

$$F_{(0.1, 3, 3)} = 5.391$$

Tabla A2.17

SSMR y F_0 residuos del % de agotamiento para Amarillo Lanaset 2R

	SSM_R	F_0	
Residuo	1.92502	1.33420	modelo adecuado

Nota: Fuente Elaboración Propia

Tabla A2.18*Resumen de decodificación del % de agotamiento para Amarillo Lanaset 2R*

	Z1	Z2	Z3
Nivel inferior (-)	80	15	0.5
Nivel superior(+)	90	30	1
Centro del diseño(Z°)	85	22.5	0.75
Radio del diseño(ΔZ)	5	7.5	0.25
Relación E	17	3	3

Nota: Fuente Elaboración Propia**3) Cálculos para Colorante Azul Lanaset 2R****Tabla A2.19:***Matriz codificada del % de agotamiento para Azul Lanaset 2R*

N°	X1	X2	X3	X1X2	X1X3	X2X3	X1X2X3	Y1
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	90.88
2	1	-1	-1	-1	-1	1	1	95.91
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1	93.84
4	1	1	-1	1	-1	-1	-1	95.62
5	-1	-1	1	1	-1	-1	1	84.63
6	1	-1	1	-1	1	-1	-1	94.51
7	-1	1	1	-1	-1	1	-1	93.53
8	1	1	1	1	1	1	1	97.35
9	0	0	0					90.62
10	0	0	0					92.64
11	0	0	0					94.39
12	0	0	0					94.00
\bar{Y} Prom general (sin replicas)								93.28375
Yo prom replicas								92.9125

Nota: Fuente Elaboración Propia

Tabla A2.20*Efectos del % de agotamiento para Azul Lanaset 2R*

	X1	X2	X3	X1X2	X1X3	X2X3	X1X2X3
Efecto	5.127	3.602	-	-	1.722	2.267	-
Δ	5	5	1.5575	2.3275	5	5	0.7025

Nota: Fuente Elaboración Propia**Tabla A2.21***Suma de cuadrados de Efectos, Error y Curvatura del % de agotamiento para Azul**Lanaset 2R*

FUENTE	SS
X1	52.58251
X2	25.95601
X3	4.85161
X1X2	10.83451
X1X3	5.93401
X2X3	10.28311
X1X2X3	0.98701
Curvatura	0.36754
Error	8.69547

Nota: Fuente. Elaboración Propia**Tabla A2.22***Media de Cuadrados de Efectos y Error del % de agotamiento para Azul Lanaset 2R*

FUENTE	SS	g.l	MS
X1	52.58251	1	52.58251
X2	25.95601	1	25.95601
X3	4.85161	1	4.85161
X1X2	10.83451	1	10.83451
X1X3	5.93401	1	5.93401
X2X3	10.28311	1	10.28311
X1X2X3	0.98701	1	0.98701
Curvatura	0.36754	1	0.36754
Error	8.69547	3	2.89849

Total	120.49180	11
--------------	-----------	----

Nota: Fuente Elaboración Propia

Calculando el F_o y evaluando el estadístico F versus F_o se tiene:

$$F_{(\alpha, g|T, g|E)} = F_{(0.1, 1, 3)} = 5.538$$

Entonces una variable, una interacción o la curvatura son significativa si se cumplen la siguiente condición:

$$F_o > F_{(\alpha, g|T, g|E)}$$

Tabla A2.23

Análisis de la Varianza del % de agotamiento para Azul Lanaset 2R

FUENTE	SS	g.l	MS	F_o	SIGNIFICANCIA
X1	52.58251	1	52.58251	18.14134	SI
X2	25.95601	1	25.95601	8.95501	SI
X3	4.85161	1	4.85161	1.67384	NO
X1X2	10.83451	1	10.83451	3.73798	NO
X1X3	5.93401	1	5.93401	2.04728	NO
X2X3	10.28311	1	10.28311	3.54775	NO
X1X2X3	0.98701	1	0.98701	0.34053	NO
Curvatura	0.36754	1	0.36754	0.12680	NO
Error	8.69547	3	2.89849		
Total	120.49180	11			

Nota: Fuente Elaboración Propia

Tabla A2.24

Coefficientes del modelo matemático del % de agotamiento para Azul Lanaset 2R

Modelo Matemático y^{\wedge}	X1	X2	Termino inde.
coeficiente bn	2.564	1.801	93.2838

Nota: Fuente Elaboración Propia

Tabla A2.25*Análisis de residuos del % de agotamiento para Azul Lanaset 2R*

N° PRUEBAS	X1	X2	Yr	y [^]	R =(Yr-Y [^])
1	-1	-1	90.88	88.92	1.9613
2	1	-1	95.91	94.05	1.8638
3	-1	1	93.84	92.52	1.3188
4	1	1	95.62	97.65	-2.0288
5	-1	-1	84.63	88.92	-4.2887
6	1	-1	94.51	94.05	0.4638
7	-1	1	93.53	92.52	1.0088
8	1	1	97.35	97.65	-0.2988

Nota: Fuente Elaboración Propia

Ahora hallamos la suma de cuadrados del residuo y F_0 , el modelo es adecuado cumpliendo

$$F_0 < F_{(\alpha, gl_T, gl_E)}$$

$$F_{(0.1, 3, 3)} = 5.391$$

Tabla A2.26*SSMR y F0 residuos del % de agotamiento para Azul Lanaset 2R*

	SSM_R	F_0	
Residuo	6.57805	2.26947	modelo adecuado

Nota: Fuente Elaboración Propia**Tabla A2.27***Resumen de decodificación del % de agotamiento para Azul Lanaset 2R*

	Z1	Z2	Z3
Nivel inferior (-)	80	15	0.5
Nivel superior(+)	90	30	1
Centro del diseño(Z°)	85	22.5	0.75
Radio del diseño(ΔZ)	5	7.5	0.25

Relación E	17	3	3
-------------------	----	---	---

Nota: Fuente: Elaboración Propia