



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA TEXTIL

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
EN INGENIERÍA TEXTIL**

TEMA:

**“CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE LABORATORIO PARA
TINTURA DE LANA UTILIZANDO EL DIÓXIDO DE CARBONO
(CO₂) LIQUIDO COMO SOLVENTE”**

AUTOR: Luis Alfonso Arias Anrango

DIRECTOR: MSc. Octavio Cevallos

IBARRA – ECUADOR

2017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional determina la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DEL CONTACTO	
Cédula de Identidad:	1002614749
Apellidos y Nombres:	Luis Alfonso Arias Anrango
Dirección:	Sector Cipreses III Quito -Ecuador
Email:	alfiluis7830@gmail.com
Teléfono móvil:	0990831977

DATOS DE LA OBRA	
Título:	CONSTRUCCION DE UN EQUIPO DE LABORATORIO PARA TINTURA DE LANA UTILIZANDO EL DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂) LIQUIDO COMO SOLVENTE
Autor:	LUIS ALFONSO ARIAS ANRANGO
Fecha:	27-07-2017
Programa:	PREGRADO
Título por el que opta:	EN INGENIERÍA TEXTIL
Director:	MSc. OCTAVIO CEVALLOS

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, ALFONSO ARIAS, con cédula de identidad Nro. 100261474-9, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad de material y como apoyo a la educación, investigación y extensión, en concordancia con la ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

En la ciudad de Ibarra, julio de 2017

EL AUTOR:



Luis Alfonso Arias Anrango

C.I: 1002614769



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE
LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Luis Alfonso Arias Anrango con cédula de identidad Nro. 1002614749, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, Artículos 4,5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado **“CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE LABORATORIO PARA TINTURA DE LANA UTILIZANDO EL DIÓXIDO DE CARBONO (CO_2) LIQUIDO COMO SOLVENTE”** que ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIERO TEXTIL**, en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en el formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Firma

Nombre: Luis Alfonso Arias Anrango

Cédula: 1002614749

Ibarra a los 27 días del mes de Julio del 2017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DECLARACIÓN

Yo, Luis Alfonso Arias Anrango declaró bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado calificación profesional; y certifica la verdad de las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Luis Arias", is written over a horizontal black line.

C.I.: 1002614749



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR

En calidad de Director de Trabajo de Grado, presentado por el señor **Luis Alfonso Arias Anrango**, para optar por el título de Ingeniero Textil, certifico que dicho trabajo fue realizado por mi supervisión.

MSc. Octavio Cevallos

DIRECTOR DE PROYECTO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

AGRADECIMIENTO

Gracias al padre celestial que siempre guía mis pasos por la vida

A la universidad Técnica del Norte por haberme abierto las puertas del conocimiento, en especial a la Carrera de ingeniería textil,

A los docentes que enfocaron sus conocimientos durante tiempo que curse por las aulas siendo, amigos, guías y compañeros, con el objetivo principal de prepararnos para la vida profesional.

A mi director de tesis el Ing. Octavio Cevallos por su comprensión, paciencia y orientación



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico en primer lugar a mis padres y hermanos por ser el apoyo fundamental para haber llegado hasta culminar un objetivo más en la vida. A mi madre una mujer fuerte y luchadora que en su falta de conocimiento supo enrumbarnos por un buen camino. A mi padre aunque no está con nosotros guía y cuida de mi como cuando era niño.

A mi esposa ANITA por su amor apoyo incondicional, y por hacerme sentir la felicidad de estar junto a una persona tan valiosa, a mis hijos AMAY y YAURI sin saberlo y por su corta edad son el impulso de mi vida.

A mis amigos que la vida puso en mi camino y familiares que me apoyan

ÍNDICE GENERAL

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	ii
DECLARACIÓN	v
CERTIFICACIÓN DEL ASESOR	vi
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA	viii
ÍNDICE GENERAL	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
ÍNDICE DE TABLAS	xx
RESUMEN	xxi
SUMMARY	xxii
PROBLEMA	xxiii
OBJETIVOS	xxiv
OBJETIVO GENERAL.....	xxiv
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	xxiv
JUSTIFICACIÓN	xxiv
PARTE TEÓRICA.....	1
CAPITULO I.....	1
1. FIBRA NATURAL	1
1.1. FIBRAS DE LANA	1
1.1.1. ESTUDIO DE LA LANA	1
1.1.2. ESTRUCTURA DE LA FIBRA	2
1.1.2.1. PARTES CONSTITUTIVAS DE LA LANA.....	2
1.1.2.1.1. CUTÍCULA O CORTEZA	2
1.1.2.1.1.1. EPICUTÍCULA.....	2

1.1.2.1.1.2.	EXSOCUTÍCULA	3
1.1.2.1.1.3.	ENDOCUTÍCULA.....	3
1.1.2.1.2.	MÉDULA.....	3
1.1.2.1.3.	CÓRTEX.....	3
1.1.2.1.3.1.	PRESENTAN DOS FASES.....	3
1.1.3.	COMPOSICIÓN QUÍMICA Y ESTRUCTURA.....	4
1.1.4.	PROPIEDADES FÍSICAS	6
1.1.4.1.	LONGITUD	6
1.1.4.2.	DIÁMETRO O FINURA	6
1.1.4.3.	ONDULACIONES O RIZADO.....	6
1.1.4.4.	COLOR	7
1.1.4.5.	BRILLO	7
1.1.4.6.	HIGROSCOPICIDAD	7
1.1.4.7.	ELASTICIDAD	7
1.1.4.8.	RESISTENCIA	8
1.1.4.9.	ELONGACIÓN.....	8
1.1.4.10.	FLEXIBILIDAD	8
1.1.4.11.	ENFIELTRAMIENTO.....	8
1.1.4.12.	CONDUCTIVIDAD TERMICA Y ELECTRICIDAD	8
1.1.4.13.	INFLAMABILIDAD	9
1.1.4.14.	PESO ESPECÍFICO.....	9
1.1.4.15.	EFECTOS A LA LUZ SOLAR	9
1.1.5.	PROPIEDADES QUÍMICAS	9
1.1.5.1.	EFECTO A LOS ÁCIDOS	9
1.1.5.2.	EFECTO A LOS ÁLCALIS	10
1.1.5.3.	EFECTO AL CLORO	10
1.1.5.4.	EFECTO A LOS AGENTES REDUCTORES.....	10

1.1.5.5.	EFEECTO A LOS MICROORGANISMOS.....	10
1.1.6.	IMPUREZAS DE LA LANA	10
1.1.6.1.	IMPUREZAS NATURALES	10
1.1.6.2.	IMPUREZAS ADICIONALES O ADQUIRIDAS.....	11
1.1.6.3.	IMPUREZAS ADAPTADAS	11
1.1.6.4.	COMPOSICIÓN NATURAL DE LA 5t	11
1.1.7.	OBTENCIÓN	12
1.1.8.	ESQUILA DE LA LANA	12
1.1.8.1.	TÉCNICA DEL ESQUILEO	13
1.1.9.	USOS.....	13
1.1.10.	VESTIMENTA	13
1.1.11.	USOS INTERIORES	14
1.1.12.	TEXTILES TÉCNICOS.....	14
CAPITULO II		16
2.	TRATAMIENTO DE LA LANA ANTES DEL PROCESO DE TINTURA	16
2.1.	DESGRASADO O LAVADO	16
2.2.	PROCEDIMIENTOS DE LAVADO.....	16
2.2.1.	PROCEDIMIENTO DE EMULSIFICACION	16
2.2.1.1.	LAVADO EN SUITINA LLAMADO PROCEDIMIENTO DUHAMEL	16
2.2.1.2.	PROCEDIMIENTOS POR DISOLUCION.....	17
2.2.1.3.	LAVADOS CON JABÓN	17
2.3.	OPERACIONES COMPLEMENTARIAS QUE SE LE PUEDE DAR A LA FIBRA ANTES DE LA TINTURA	18
2.4.	FIJADO	18
2.4.1.	FIJACIÓN COHESIVA	18
2.4.2.	FIJACIÓN TEMPORAL.....	18

2.4.3.	FIJACIÓN PERMANENTE	18
2.5.	CARBONIZADO.....	19
2.6.	FIELTRADO.....	19
2.7.	BLANQUEO DE LANA	19
2.7.1.	BLANQUEO CON REDUCTORES	20
2.7.1.1.	BLANQUEO CON SULFITO Y BISULFITO.....	20
2.7.1.2.	BLANQUEO CON HIDROSULFITO	20
2.8.	BLANQUEO CON OXIDANTES.....	21
2.8.1.	PERÓXIDO DE HIDROGENO O AGUA OXIGENADA	21
2.8.2.	BLANQUEO CON HIPOCLORITO DE SODIO	22
2.8.3.	BLANQUEO CON CLORITO SÓDICO	23
2.8.4.	BLANQUEO CON PERMANGANATO DE POTASIO.....	24
2.8.5.	BLANQUEO ÓPTICO DE LA LANA.....	25
2.9.	CLASIFICACIÓN DE LOS BLANQUEADORES ÓPTICOS.....	26
CAPITULO III.....		28
3.	FLUIDOS SUPERCRÍTICOS COMO SOLVENTE ALTERNATIVO ...	28
3.1.	DIÓXIDO DE CARBONO	28
3.1.1.	RESEÑA HISTÓRICA	28
3.1.2.	COMPOSICIÓN	28
3.1.3.	PROPIEDADES.....	29
3.1.3.1.	PROPIEDADES QUÍMICAS	29
3.1.3.2.	PROPIEDADES FÍSICAS.....	29
3.1.4.	ESTADOS FÍSICOS DEL DIÓXIDO DE CARBONO	29
3.1.4.1.	GASEOSO	29
3.1.4.2.	SOLIDO	30
3.1.4.3.	LIQUIDO	30

3.1.5.	ESTOS ESTADOS FÍSICOS PUEDEN CAMBIAR FÁCILMENTE:	30
3.1.6.	CAPTURA DE CO_2	31
3.1.7.	TECNOLOGÍAS DE CAPTURA DE CO_2	31
3.1.7.1.	EXISTEN TRES TIPOS BÁSICOS DE CAPTURA DE CO_2 :.....	31
3.1.7.1.1.	CAPTURA EN PRE-COMBUSTIÓN.....	33
3.1.7.1.2.	CAPTURA EN POST-COMBUSTIÓN	34
3.1.7.1.3.	CAPTURA EN OXI-COMBUSTIÓN	44
3.1.8.	TRANSPORTE	46
3.1.9.	ALMACENAMIENTO.....	47
3.1.9.1.	TIPOS DE ALMACENAMIENTO	48
3.1.10.	CONDICIONES DE CONSERVACIÓN:	48
3.1.11.	USOS Y APLICACIONES	49
3.1.12.	MANIPULACIÓN DE CILINDROS DE CO_2	50
3.1.13.	PRECAUCIONES PARA LA SALUD	51
3.1.14.	EFFECTOS FISIOLÓGICOS	52
3.2.	FLUIDO SUPERCRÍTICO.....	53
3.2.1.	CONCEPTO.....	53
3.2.2.	PROPIEDADES.....	54
3.2.3.	SOLUBILIDAD DE LAS SUSTANCIAS EN EL CO_2 (FSC)	54
3.2.4.	ENLACES	54
3.2.5.	MOLÉCULAS NO POLARES	55
3.2.6.	DIPOLOS	55
3.2.7.	DISPERSANTES	56
3.2.8.	MICELAS	56
3.2.9.	DISPERSANTE PARA EL DIÓXIDO DE CARBONO LÍQUIDO O FLUIDO SUPERCRÍTICO	57
3.2.10.	FUERZAS DE VAN DER WAALS	58

3.2.10.1.	FUERZAS DE LONDON	59
3.2.10.2.	FUERZAS DIPOLO - DIPOLO INDUCIDO.....	59
3.2.10.3.	FUERZAS DIPOLO - DIPOLO	60
CAPÍTULO IV		61
4.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE LABORATORIO PARA TINTURA DE LANA UTILIZANDO EL DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂) LIQUIDO COMO SOLVENTE.....	61
4.1.	DISEÑO DEL EQUIPO	61
4.1.1.	CONTENEDOR PRINCIPAL (TANQUE).....	64
4.1.2.	CONTENEDOR DE MUESTRA, COLORANTE Y AUXILIARES	65
4.1.2.1.	CONTENEDOR.....	65
4.1.2.2.	TAPA	66
4.1.3.	MEDIO DE MOVIMIENTO DE LOS CONTENEDORES DIÓXIDO DE CARBONO CO ₂ LÍQUIDO, DEL EQUIPO DE LABORATORIO.....	67
4.1.4.	BANDAS	67
4.1.5.	SOPORTE DEL EQUIPO DE LABORATORIO.....	67
4.2.	CONSTRUCCIÓN.....	68
4.2.1.	CONTENEDOR PRINCIPAL (TANQUE).....	68
4.2.2.	CONTENEDOR DE MUESTRAS	70
4.2.2.1.	UNIÓN MACHO	71
4.2.3.	MEDIO DE MEDIDA DE TEMPERATURA DEL EQUIPO DE LABORATORIO	72
4.2.3.1.	TERMOMNETRO	72
4.2.4.	SISTEMA DE MOVIMIENTO DE BAÑO.....	73
4.2.4.1.	INTERRUPTOR	74
4.2.5.	VÁLVULAS DE CONTROL	75
4.2.5.1.	VÁLVULA DE BOLA	75

4.2.6.	SISTEMA DE CALENTAMIENTO DEL BAÑO	75
4.2.7.	SOPORTE DEL EQUIPO DE LABORATORIO. (BANCADA)	76
CAPÍTULO V		78
5.	PRUEBAS DE TINTURA	78
5.1.	CAPACIDAD.....	78
5.2.	PREPARACIÓN DEL MATERIAL.....	79
5.2.1.	LAVADO DE LANA.....	79
5.3.	PREPARACIÓN PARA LA TINTURA.....	80
5.3.1.	PROCEDIMIENTO GENERAL DE LA TINTURA	80
5.4.	PRUEBAS DE TINTURA	81
5.5.	TINTURA DE LANA.....	81
5.5.1.	TINTURADO DE LA LANA CON DIÓXIDO DE CARBONO CO ₂ LIQUIDO	83
5.5.1.1.	PRUEBAS DE TINTURA	83
5.5.1.1.1.	PRUEBA # 1	83
5.5.1.1.2.	PRUEBA # 2	84
5.5.1.1.3.	PRUEBA #3	85
5.5.1.1.4.	PRUEBA # 4	86
5.5.1.1.5.	PRUEBA # 5	87
5.5.1.1.6.	PRUEBA # 6	88
CAPITULO VI		89
6.	ANÁLISIS DE COSTOS.....	89
6.1.	COSTO DE TINTURA	89
6.2.	COSTOS DE TINTURA TRADICIONAL	89
6.3.	COSTOS DE LA TINTURA PROPUESTA	90

6.4.	INVERSIÓN	91
6.5.	COSTOS DE MAQUINARIA	91
6.6.	COSTOS DE PROCESO	92
CAPÍTULO VII		94
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
7.1.	CONCLUSIONES	94
7.2.	RECOMENDACIONES	97
GLOSARIO		98
BIBLIOGRAFÍA		99
ANEXOS		105
Anexo 1. PRIMERA PRUEBA CON EQUIPO DESARMADO		105
Anexo 2. PRIMERA PRUEBA DE TINTURA DE LANA CON CO ₂ LÍQUIDO		105
Anexo 3. PRIMER EQUIPO		106
Anexo 4: TABLA DE VALORES REFERENCIALES DE PRESIÓN		108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Estructura interna de la fibra.	4
Figura 2.	Componentes de la fibra	4
Figura 3.	Estructura molecular de lana.	5
Figura 4.	Calidad de la fibra obtenida según la zona de esquila	12
Figura 5:	Vestimenta	14
Figura 6:	Uso de interiores	14
Figura 7.	Interiores de aviones	14
Figura 8.	Usos técnicos de la lana	15
Figura 9.	Jabones y detergentes	17
Figura 10:	Aldehído	21
Figura 11.	Descomposición de peróxido de hidrogeno.....	21
Figura 12.	Cumarínicos.....	26
Figura 13.	Estilbénicos.....	26
Figura 14.	Benzimidazólicos.....	26
Figura 15.	De núcleo heterocíclico	26
Figura 16.	Derivados de los ácidos naftaleno sulfónicos.....	27
Figura 17.	De constitución varia	27
Figura 18.	Formula química del CO ₂	28
Figura 19.	Punto triple del CO₂	31
Figura 20.	Esquema tecnología de captura del CO₂	32
Figura 21.	Planta de cogeneración de H ₂	32
Figura 22.	Diseño planta con tecnología de captura en pre combustión.....	33
Figura 23.	Diseño planta con tecnología de captura en post combustión	35
Figura 24.	Sistema de recuperación de CO ₂ basada en aminas	36
Figura 25.	Esquema del proceso de absorción química	37
Figura 26.	Esquemas de funcionamiento de la tecnología calcinación/carbonatación	38
Figura 27.	Esquemas de funcionamiento de la tecnología calcinación/carbonatación	38
Figura 28.	Diagrama básico de funcionamiento de la adsorción física	40
Figura 29.	Esquema de funcionamiento del sistema de membranas.....	41
Figura 30.	Esquema básico de la destilación criogénica.....	43
Figura 31.	Requerimientos de P y T para destilación criogénica.....	44

Figura 32.	Diseño y esquema de operación de la oxi-combustión.....	45
Figura 33.	Diseño y esquema de operación de la oxi-combustión.....	45
Figura 34.	Almacenamiento de CO₂	47
Figura 35.	Aviso peligro de asfixia.....	52
Figura 36.	Fluido supercrítico	53
Figura 37.	Enlaces polares	55
Figura 38.	Enlace químico CO ₂	56
Figura 39.	Estructura micelar de un dispersante en un disolvente polar (impreso con permiso de la Sociedad Americana de Química).....	57
Figura 40.	Polímero con un extremo fluorocarbonado CO ₂ -fílico.....	57
Figura 41.	Estructura micelar del dispersante para el CO ₂ (impreso bajo autorización de la Sociedad Americana de Química)	58
Figura 42.	Fuerza de van der waals.....	58
Figura 43.	Fuerza de London	59
Figura 44.	Fuerzas dipolo - dipolo inducido	59
Figura 45.	Fuerzas dipolo - dipolo	60
Figura 46:	Vista Superior	62
Figura 47:	Vista Frontal	63
Figura 48.	Contenedor principal	64
Figura 49.	Contenedor de muestras, colorante y auxiliar	65
Figura 50.	Esquema de la tapa	66
Figura 51.	Bancada	68
Figura 52.	Tanque	69
Figura 53.	Contenedor del agua	70
Figura 54.	Contenedor.....	70
Figura 55.	Tapa del contenedor.....	71
Figura 56.	Unión macho.....	71
Figura 57.	Tapa armada	71
Figura 58.	Contenedor de muestras.....	72
Figura 59.	Termómetro y manómetro	73
Figura 60.	Sistema de movimiento	74
Figura 61.	Acople del motor	74
Figura 62.	Válvulas manuales	75
Figura 63.	Hornilla eléctrica	75

Figura 64. Bancada	76
Figura 65. Soporte del motor reductor	76
Figura 66. Equipo de tintura	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Composición de la lana.....	11
Tabla 2.	Tabla de solventes utilizados en el proceso	35
Tabla 3.	Aspectos a desarrollar en la calcificación/carbonización	46
Tabla 4.	Lavado de Lana.....	79
Tabla 5.	Porcentajes de auxiliares.....	81
Tabla 6.	Prueba 1	83
Tabla 7.	Prueba 2	84
Tabla 8.	Prueba 3	85
Tabla 9.	Prueba 4	86
Tabla 10.	Prueba 5	87
Tabla 11.	Prueba 6	88
Tabla 12.	Costo Tintura Tradicional	89
Tabla 13.	Costo de la Tintura Propuesta	90
Tabla 14.	Materiales.....	92

RESUMEN

Este proyecto de tesis se basó en investigaciones sobre la aplicación del dióxido de carbono CO₂ para tinturar lana, refiriéndose a técnicas del lavado de ropa sin utilizar agua, realizadas por Asdrúbal Flores Peredo (2002-2003), Nicolás Araya y Nicolás Vuksanovic (2013-2014), trabajos de grado realizados y patentados en México y Argentina respectivamente, de allí el propósito de esta investigación, que consistió en la construcción de un equipo de laboratorio para tinte de lana utilizando el dióxido de carbono (CO₂) líquido como solvente, Para ello fue necesario el diseño de un equipo de laboratorio, siguiendo criterios y pautas de dibujo para alta presión, luego se construyó un equipo con materiales que se ajustaron a las necesidades manifestadas en el progreso de esta investigación, además se analizó la tinte en las muestras de lana obtenidas en el equipo con métodos de tinte afines con este equipo, como también se analizó los costos de la tinte tradicional y la tinte propuesta, confrontando los costos de estos procesos y finalmente se elaboró una carta con colores, tinturando gamas más manipuladas en nuestro medio, El presente estudio se justificó por cuanto posee valor teórico, utilidad práctica, relevancia social, por su conveniencia y en base a los beneficios netos que genera. Metodológicamente el trabajo investigativo se aborda desde la perspectiva de los tipos de estudio exploratorio descriptivo. Concluyendo que con escasa información recopilada se procedió al diseño y construcción de un equipo de laboratorio, para dar apertura a nuevos procesos de tinte dentro del área textil, siendo una fuente de consulta para investigaciones posteriores de equipos de alta presión para contener gas que tenga características comparables a las del agua para la utilización en la tinte, siendo una alternativa en proceso de desarrollo que ayude a reducir la contaminación ambiental.

SUMMARY

This thesis project was based on research on the application of carbon dioxide CO₂ to dye wool, referring to washing techniques without using water, made by Asdrúbal Flores Peredo (2002-2003), Nicolás Araya and Nicolás Vuksanovic (2013- 2014), grade work carried out and patented in Mexico and Argentina, respectively, the purpose of this research, which consisted in the construction of a laboratory equipment for dyeing wool using liquid carbon dioxide (CO₂) as solvent, Para It was necessary to design a laboratory equipment, following criteria and drawing guidelines for high pressure, then a team was built with materials that fit the needs manifested in the progress of this research, in addition the dye was analyzed in the samples Of wool obtained in the equipment with related dyeing methods with this equipment, as well as the costs of the t Traditional texture and the proposed tincture, confronting the costs of these processes and finally a letter was drawn with colors, dyeing more manipulated ranges in our environment. The present study was justified because it possesses theoretical value, practical usefulness, and social relevance, for its convenience and based on the net benefits it generates. Methodologically the research work is approached from the perspective of descriptive exploratory study types. Concluding that with little information collected, we proceeded to the design and construction of a laboratory equipment, to open new dyeing processes within the textile area, being a source of inquiry for subsequent investigations of high pressure equipment to contain gas that has characteristics Comparable to water for use in tincture, being an alternative in the process of development that helps reduce environmental pollution.

PROBLEMA

En la actualidad la tecnología ha invadido nuestra vida es así que también en la industria textil, esto ha contribuido a mejorar los avances de los procesos de producción pero pese a todos los avances que existen en la actualidad se sigue utilizando agua como principal solvente para la tintura es por ello que la propuesta del trabajo que se presenta a continuación trata de presentar una alternativa de solvente con un equipo para pruebas de laboratorio.

El desafío de esta investigación es construir un equipo de laboratorio que puede utilizar un solvente de similares características como el agua, con el fin de reducir el consumo y la contaminación del agua que produce la industria textil. Pero seguimos utilizándola en los procesos de tintura indiscriminadamente y que al término del proceso el agua con residuos de auxiliares y colorantes que no se han agotado totalmente durante el proceso es enviada a efluentes quebradas o ríos sin ningún tratamiento previo.

Consciente de las limitaciones con las que nos enfrentamos en cuanto a maquinaria que utilice otro solvente de tintura, diseñaremos y posteriormente construiremos un equipo acorde a las necesidades que surjan en esta investigación, ya que se trabajara con alta presión, y donde el solvente a utilizar se vuelve líquido y en consecuencia de esto al reducir la presión el solvente se vuelve un gas al termino de proceso.

La realidad de nuestro planeta en sentido ecológico es de conocimiento general, siendo el agua uno de nuestros recursos más apreciables que todos tenemos el deber de conservar y cuidar indagando medios alternativos de métodos, equipos y solventes para el uso en nuestro campo textil.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Construir un equipo de laboratorio para tintura de lana utilizando el dióxido de carbono (CO_2) líquido como solvente

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un equipo de laboratorio, siguiendo criterios y pautas de dibujo para alta presión
- Construir un equipo con materiales que se ajusten a las necesidades manifestadas en el progreso de esta investigación.
- Analizar la tintura en las muestras de lana obtenidas en el equipo con métodos de tintura afines con este equipo.
- Analizar los costos de la tintura tradicional y la tintura propuesta, confrontando los costos de estos procesos.
- Elaborar una carta con colores, tinturando gamas más manipuladas en nuestro medio.

JUSTIFICACIÓN

Se estima que las máquinas automáticas para tinturar gastan diariamente más de 56 millones de litros de agua y que el 25% del agua está contaminada por los solventes usados en tintorerías y lavanderías, por lo anteriormente mencionado llegamos a la conclusión que no ha existido una alternativa para el reemplazo del agua con otro solvente de similares características.

En nuestro medio no existe un equipo capaz de utilizar otro solvente que no sea el agua para la tintura, en esta investigación se utilizara dióxido de carbono líquido como solvente en reemplazo del agua, en un equipo experimental con características que se establecerá durante la investigación a realizar, en principio se tratara de tinturar muestras, con colorantes afines al solvente a utilizar.

Con este equipo experimental que construiremos tendremos un mínimo de contaminación, como también habrá un ahorro de tiempo, ya que después del ciclo de tinturado con este solventes por las características que posee, el género textil terminaría completamente seco, por lo que no será necesario realizar el proceso de secado como en los procesos tradicionales.

También el consumo de agua de este proceso sería nulo y el utilizar dióxido de carbono, sería ecológicamente limpio y seguro para la salud, ya que el dióxido de carbono existe en grandes cantidades en la naturaleza.

PARTE TEÓRICA

CAPITULO I

1. FIBRA NATURAL

Se conoce como fibra natural a las extraídas de un animal mediante varios procedimientos físicos o químicos.

Las fibras naturales procedentes del reino animal son:

- De glándulas sedosas y
- De folículos pilosos.

1.1.FIBRAS DE LANA

Esta fibra proviene de la secreción del folículo piloso” de las ovejas. Está compuesta de una sustancia orgánica compleja llamada queratina.

La lana es un pelo, en general suave y rizado, que en forma de vellón que recubre el cuerpo de los carneros y ovejas (GARCIA, 1989).

1.1.1. ESTUDIO DE LA LANA

“La lana es la fibra natural biodegradable y “verde”, con propiedades muy valoradas hoy por la industria textil”. (docplayer, 2017) “Esta ventaja ambiental es un requisito cada vez más buscado en una fibra”. (umag, 2017) “La lana goza de ventajas que le han hecho ganar una reputación de “alta calidad” tanto para los procesadores como para los consumidores a nivel mundial. La lana “nace y no se hace”, su compleja estructura celular le asegura su habilidad natural para respirar”. (flasite, 2017) “En forma única, absorbe y elimina humedad, proveyendo un clima que es capaz de ajustarse a cada situación individual, donde se sentirá abrigado pero no con calor”. (scribd, 2017)

Su contenido elevado de agua y nitrógeno hacen de la lana un retardante del fuego, cumpliendo con muchas de las regulaciones internacionales sin necesidad de tratamientos químicos. (GARCIA, 1989)

1.1.2. ESTRUCTURA DE LA FIBRA

La fibra de lana posee una estructura organizada basándose en multitud de células que crecen a partir de un folículo situado en la dermis o capa media de la piel. (infityack, 2017) Junto a estos folículos, existen dos glándulas. (CUASAPAZ, 2011).

- La sebácea que exuda una sustancia cerosa, insoluble en agua, conocida con el nombre de “grasa de la lana”.
- La sudorífera, que segrega una mezcla hidrosoluble de sales potásicas de los ácidos grasos, denominada suarda. (UTN, 2017).

1.1.2.1.PARTES CONSTITUTIVAS DE LA LANA

La lana está constituida por tres partes principales:

- Cutícula,
- Corteza y
- Medula

1.1.2.1.1. CUTÍCULA O CORTEZA

La cutícula es la capa que rodea la fibra, constituyendo el 10% de esta; está formada por células en forma de escamas o tejas, que se superponen unas a otras. (buenastareas, 2017) Estas escamas que le dan un aspecto aserrado a la fibra, tienen distinta disposición y tamaño, en las diferentes razas. (monografias, 2017)

Cada célula escamosa consta de tres capas:

1.1.2.1.1.1. EPICUTÍCULA

Es muy resistente a los agentes químicos e impide la entrada de colorantes durante el proceso de teñido. Felizmente desaparece durante el lavado y cardado, ya que es sensible a los tratamientos mecánicos. (scribd e. , 2017)

1.1.2.1.1.2.EXSOCUTÍCULA

Resulta ser muy susceptible a los ataques climáticos.

1.1.2.1.1.3.ENDOCUTÍCULA.

Como la anterior, también resulta vulnerable a agentes exógenos.

1.1.2.1.2. MÉDULA

La médula es la parte central que aparece en algún tipo de lana basta y en el pelo. La lana fina carece de ella. La médula provoca por un fenómeno de reflexión de la luz, una disminución del color de tintura que no puede ser solucionado debido a que se trata de un fenómeno (esslideshare, 2017) óptico.

La lana gruesa y media se caracteriza por la presencia de una proporción de fibras de mielina. En la mayoría de las fibras de Merino, la médula está ausente o es tan fina como para ser casi invisible. La fibra gruesa, con su médula pronunciada, suelen ser más recto y más brillante que las fibras más finas de lana. Tienen propiedades pobres de hilado y teñido pues causa dificultades a un encendedor de difusión de luz por las células de la médula y el hecho de que no hay mucho (esslideshare, 2017) espesor de la corteza a tomar el tinte.

1.1.2.1.3. CÓRTEX

El córtex es el componente fundamental de la lana. Está formado por células fusiformes de estructura parcialmente cristalina. (scribd, 2017)

1.1.2.1.3.1. PRESENTAN DOS FASES

El orto córtex quien es el responsable de la mayoría de las reacciones químicas de la lana
El para córtex, mucho más estable, químicamente más rico en cistina, menos higroscópico y que contiene melanina en las lanas pigmentadas.

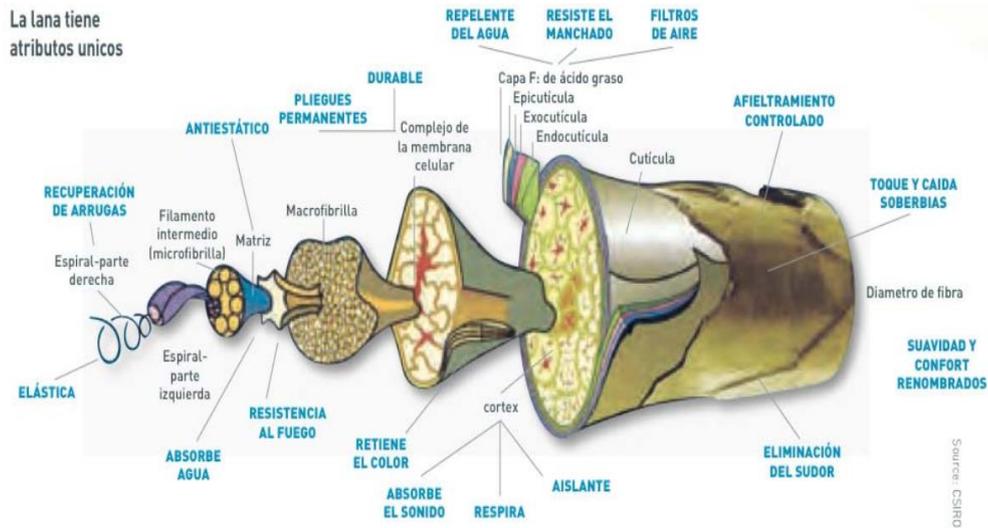


Figura 1: Estructura interna de la fibra.

Fuente: (International Wool Textile Organisation, s/f).

1.1.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y ESTRUCTURA

La lana está constituida por una proteína llamada queratina, es la misma proteína que se encuentra en el cabello humano, las uñas, (docplayer, 2017) los cuernos y las pezuñas. Composición de la queratina.

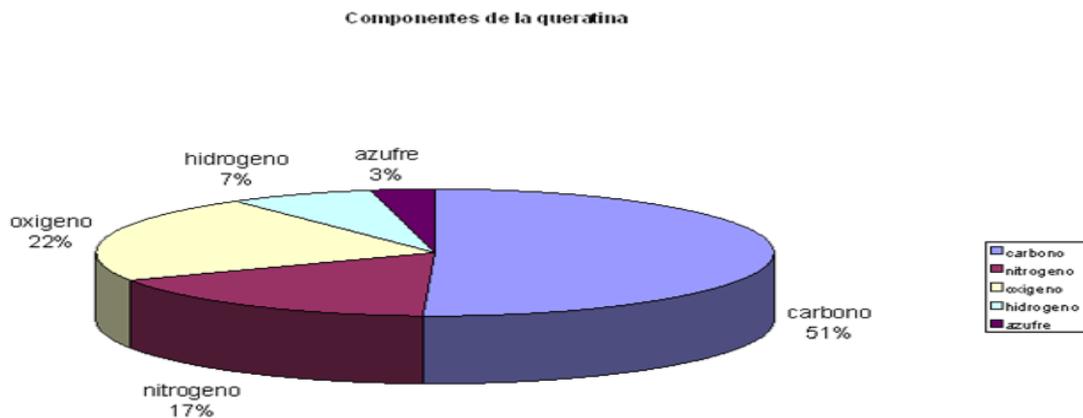


Figura 2. Componentes de la fibra

Fuente: (Asociación Colectivo para el Desarrollo rural de Tierra de Campos, s/f).

La molécula de lana está formada por cadenas moleculares flexibles unidas mediante enlaces cruzados naturales, enlaces de cistina o azufre y puentes salinos.

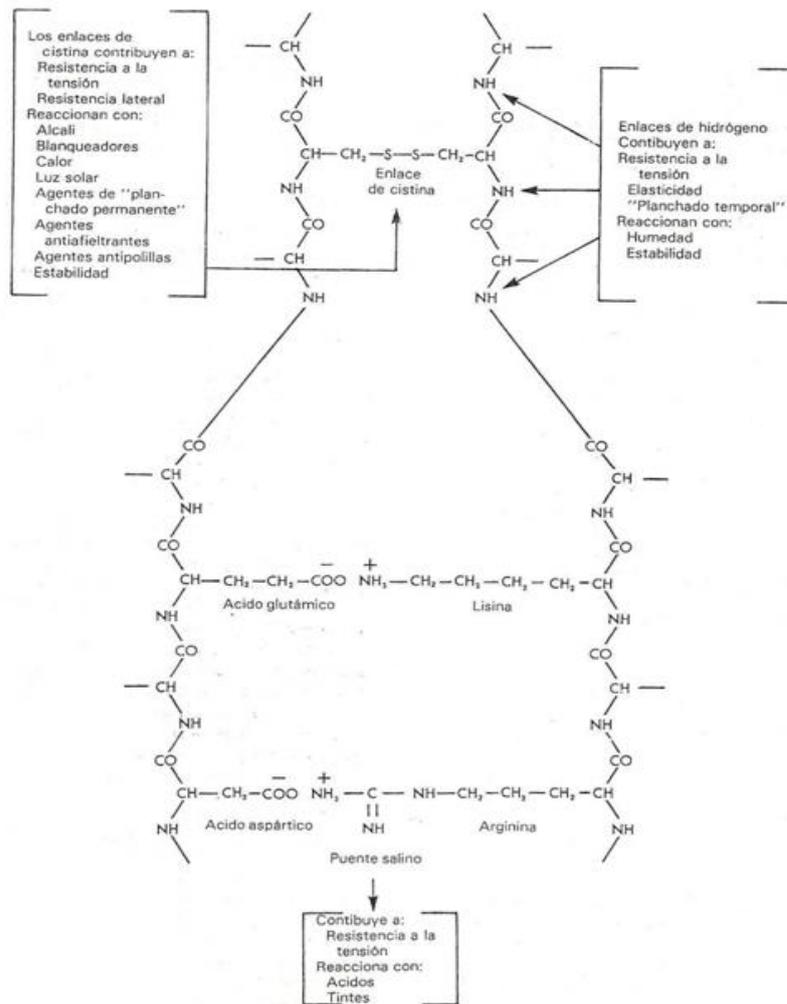


Figura 3. Estructura molecular de lana.

Fuente: (Universidad Nacional de Ingeniería, 2010).

Los enlaces de cistina contribuyen a la resistencia a la tensión, resistencia lateral, además estos reaccionan con álcalis, blanqueadores, calor, luz solar, agentes (UTN, 2017) de planchado permanente, agentes antiinfieltrantes, agentes antipolillas. Este enlace de cistina es la parte más importante de la molécula, cualquier producto químico, como un álcali, que dañe este enlace puede destruir toda la estructura. (UTN, 2017)

Los enlaces de hidrogeno contribuyen a la resistencia a la tensión, elasticidad, planchado temporal, estos reaccionan can humedad y estabilidad.

El puente salina existente contribuye a la resistencia a la tensión y reacciona con ácidos y tintes.

1.1.4. PROPIEDADES FÍSICAS

1.1.4.1.LONGITUD

La longitud de la lana depende del tipo de animal, de la parte del animal a la que pertenezca y del periodo que transcurran las esquilas, y puede variar de 1 a 6 pulgadas.

Las fibras de lana Larga y fina se usan en hilos y telas de lana peinada y tienen una longitud promedio de 6,5 a 18 cm. (UTN, 2017) y las fibras más cortas y gruesas se usan en telas de lana cardada y tienen una longitud promedio de 3 a 8 cm.

La longitud real (completamente estirada) puede ser de 1,2 a 1,9 veces mayor que la longitud natural (con rizos).

1.1.4.2.DIÁMETRO O FINURA

El diámetro de la lana varía de 10 a 200 micras, siendo la lana de cordero merino la de menor diámetro y que tiene un promedio de 15 a 30 micras de diámetro, lanas bastas de 10 a 70 micras y en lanas muertas de 70 a 200 micras. (UTN, 2017)

1.1.4.3.ONDULACIONES O RIZADO

Las ondulaciones varían según el tipo de lana, y se considera como rizo a la ondulación natural de la lana, el número de ondulaciones por longitud depende de la finura, la misma que se encuentra en relación inversa, es decir que las lanas finas tendrán mayor número de rizos o viceversa.

En las mejores lanas merinas puede existir hasta 30 ondulaciones por pulgada, mientras que en las de baja calidad pueden existir hasta 5, cuando la fibra se humedece provoca una disminución de las ondulaciones las mismas que se recuperan cuando la fibra se seca.

El número de ondulaciones es un parámetro importante en la determinación del grado de la lana, además el rizado es un factor de mucha importancia para la hilandería y en la elasticidad de los géneros manufacturados. (cuidadoraslaluz, 2014)

1.1.4.4.COLOR

La lana presenta un color blanco ligeramente amarillento, existiendo lanas negras a pardas, estas últimas debido a la existencia de melanina. Las lanas de color se las emplea en la elaboración de hilos y géneros que no han de ser sometidos a procesos de tinturado. (UTN, 2017)

1.1.4.5.BRILLO

El brillo de la lana está relacionado con el color de la lana, de sus ondulaciones, así como de su estructura.

Generalmente el brillo se debe a la estructura externa, es decir a las escamas que la constituyen, las escamas lisas son las más brillantes debido a que el área de reflexión de la luz es mayor, además las lanas finas son más brillantes que las gruesas.

1.1.4.6.HIGROSCOPICIDAD

Se conoce como la capacidad que tiene la fibra para absorber agua, la lana puede absorber hasta un 40% de humedad con relación su peso sin presentarse al tacto humedad.

El porcentaje de humedad aceptado comercialmente es de 17% en lanas para cardado y de 18,25% en lanas para peinado.

1.1.4.7.ELASTICIDAD

Se considera a la capacidad que tiene la fibra para estirarse Sin deformarse y volver a su longitud original, la elongación elevada hace que la elasticidad de la lana sea también elevada, razón por la cual le hace única en su aspecto. El rizo natural ayuda a esta alta elasticidad. La lana tiene un recobro de elasticidad del 99 al 2% de diámetro y del 63 al 20% de extensión.

1.1.4.8.RESISTENCIA

La lana no posee una resistencia a la tracción elevada, varia de 17.000 a 29.000 libras / pulgada cuadrada, la misma que es equivalente a una tenacidad de 1 a 1,7 gramos/denier en estado seco y de 0,8 a 1,6 gramos/denier en húmedo.

La resistencia a la rotura de la lana es de 8 a 16 RKM.

1.1.4.9.ELONGACIÓN

La elongación a la rotura es de 25 a 35% bajo condiciones estándares de trabajo y de 25 a 50% en estado húmedo.

1.1.4.10. FLEXIBILIDAD

La flexibilidad es una de las más importantes de la lana, y que se puede apreciar al tacto. Los géneros producidos con lana no se arrugan con gran facilidad.

1.1.4.11. ENFIELTRAMIENTO

Es una propiedad intrínseca y única de la lana, y se considera como enfieltramiento a la capacidad que poseen las fibras de formar una masa compacta imposible de desenredar y que se la obtiene mediante procesos mecánicos en medio acuoso y en presencia de un álcali o ácido en caliente. (UTN, 2017).

El enfieltramiento depende la longitud, finura, rizado y estructura externa de la fibra (escamas). Considerando que cuando el diámetro de la fibra sea menor, mayor será su capacidad para enfieltrarse. (UTN, 2017)

1.1.4.12. CONDUCTIVIDAD TERMICA Y ELECTRICIDAD

A temperaturas elevadas la lana se debilita y endurece, quemándose con facilidad. La lana es mala conductora del calor y electricidad.

Tiene un gran poder aislante térmico, producido por el aire que se encierra debido a su estructura, además se debe considerar que la conductividad eléctrica aumenta con la humedad, además las telas de la lana siempre deben plancharse con calor húmedo.

1.1.4.13. INFLAMABILIDAD

La lana arde muy lentamente y se apaga sola. (scribd e. , 2017) Par lo general se le considera resistente a la llama.

Cuando la lana arde, solo produce cantidades moderadas de humo o monóxido de carbona.

1.1.4.14. PESO ESPECÍFICO

El peso específico de la fibra con un 0% de humedad es de 1,30 gramos por centímetro cubico, con 17% de humedad 1,31 gramos por centímetro cubico. El peso específico es importante en el proceso de mezcla.

1.1.4.15. EFECTOS A LA LUZ SOLAR

En la luz solar intensa la lana se debilita, la queratina se descompone, proceso que empieza después que la fibra ha sido cortada de la oveja. El azufre de la lana sufre una reacción que le convierte en ácido sulfúrico, las fibras se decoloran y el tacto se vuelve áspero, pierde resistencia y las propiedades a la tintura se ven afectadas.

1.1.5. PROPIEDADES QUÍMICAS

1.1.5.1.EFECTO A LOS ÁCIDOS

La lana es resistente en general a los ácidos minerales, pero se descompone en ácido sulfúrico caliente, los ácidos concentrados lo disuelven lentamente en frio.

1.1.5.2.EFECTO A LOS ÁLCALIS

La lana es muy sensible a la acción de los álcalis, por lo que son muy perjudiciales, una solución de lejía al 2% en caliente lo descompone por completo, esta es la razón por lo que se debe tener mucho cuidado en el lavado de lana con productos alcalinos.

1.1.5.3.EFECTO AL CLORO

La lana es atacada por el cloro, la hace dura y quebradiza, pierde el peso, elasticidad, resistencia, su poder fieltrante, pero mejora su inencogibilidad, su brillo y la afinidad para con los colorantes.

1.1.5.4.EFECTO A LOS AGENTES REDUCTORES

Estos no dañan la fibra, y se los puede utilizar como agentes decolorantes, entre ellos tenemos: hidrosulfito de sodio, sulfuro de sodio.

1.1.5.5.EFECTO A LOS MICROORGANISMOS

La lana es atacada por la roya y bacterias si es embalada en húmedo, se desarrollan los hongos cuando se le somete a procesos de engomado, además es susceptible de larvas de polillas y escarabajos.

1.1.6. IMPUREZAS DE LA LANA

Las impurezas de la lana pueden ser adquiridas durante la vida del animal (impurezas adicionales o adquiridas), o debidas a la secreción de las glándulas sudoríferas y sebáceas (naturales), así como adicionadas por el hombre (adaptadas), las cuales varían debido a varios factores tales como: genéticos, biológicos, geográficos y del medio ambiente.

1.1.6.1.IMPUREZAS NATURALES

Son debidas a la secreción de las glándulas sudoríferas y sebáceas, varían su cantidad con el régimen alimentario del animal, se les conoce con el nombre de churre o suarda y están

compuestas por la suintina que consta de sales sódicas, potásicas, cálcicas y por la grasa que consta de ácidos libres, colesterol, alcoholes de tipo terpénico y esteroides. (GARCIA, 1989)

1.1.6.2.IMPUREZAS ADICIONALES O ADQUIRIDAS

Son impurezas que llegan a la lana durante la vida del animal, son materias extrañas a la fibra, por lo que su cantidad depende del cuidado que se le hay atendido a los rebaños y de los sitios donde estos hayan vivido, generalmente están constituidas por hiervas, polvo, pajas, cardos, minerales (piedras) y excremento del animal. (CHECA, 1999)

1.1.6.3.IMPUREZAS ADAPTADAS

Se considera como estas impurezas al alquitrán (colorante o pintura para marcar ganado) que le ponen sobre el vellón, o por sustancias que se originan por el tratamiento de enfermedades del animal.

Las impurezas generalmente comprenden un 20% a 80% del peso total de la fibra, además el costo de la lana vienen dado por el grado de impurezas que esta contenga, así como de otras propiedades tales como el diámetro, longitud y color. (CUASAPAZ, 2011)

1.1.6.4.COMPOSICIÓN NATURAL DE LA 5t

Tabla 1: Composición de la lana

	LANA BASTA (%)	LANA FINA (MERINO %)
HUMEDAD	17	17
GRASA	7	20
SUINTINA	2,3	9,3
IMPUREZAS	5,1	7,2
FIBRA LIMPIA	69	46

Fuente: (CHECA, 1999)

1.1.7. OBTENCIÓN

Las lanas más valiosas son las que proceden de ovejas de tres a seis años. Una oveja produce al año de uno a tres kilos de lana fina o de dos a seis kilos de lana gruesa, según se trate de una raza u otra. Las partes aisladas del vellón muestran grandes diferencias en cuanto a finura y estado de limpieza, según la parte del cuerpo de que procedan. La clasificación del vellón tiene su importancia, si se aspira a lograr cierta uniformidad en el hilado. (CUASAPAZ, 2011)

Las raíces de los pelos no están distribuidos uniformemente por toda la piel, por la misma estructura de la superficie, estas raíces de pelos se hallan formando grupos. Los haces pilosos están unidos por ensortijamientos y por la propia grasa de la lana, varios de estos haces se unen formando un mechón.

De la forma y aspecto de los mechones depende la clase y calidad de las fibras de lana.

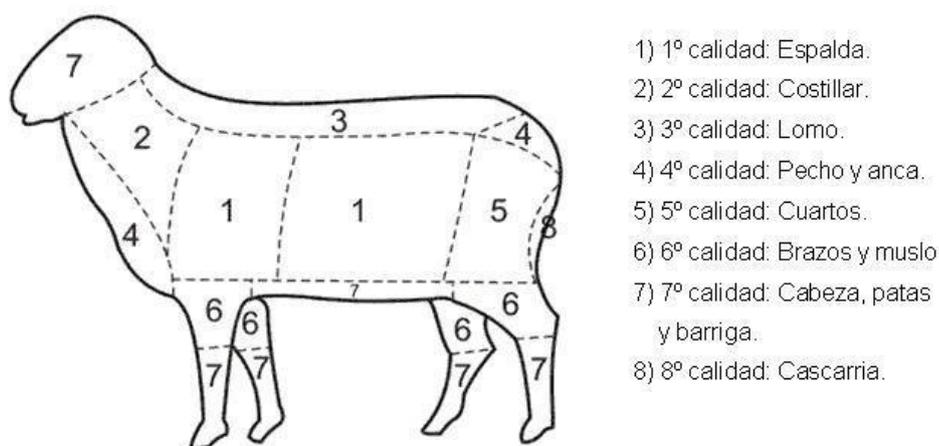


Figura 4. Calidad de la fibra obtenida según la zona de esquila

Fuente: (CUASAPAZ, 2011)

Calidades de lana sobre el vellón de la oveja. (Con el número creciente, disminuye la calidad de la lana.

1.1.8. ESQUILA DE LA LANA

Es la operación que es ejecutado por especialistas de despojar de su abrigo natural la lana que constituye el vellón, efectuándose cada año.

1.1.8.1. TÉCNICA DEL ESQUILEO

La técnica de la esquila consiste en despojar al ovino de su lana por medio de tijeras o maquinas eléctricas, siguiendo por partes. (CUASAPAZ, 2011)

Primero la lana del vientre y pecho (lana de barriga), a continuación se esquilan las extremidades, manos, patas de la rodilla, corvejón hacia abajo, a continuación el vellón integro (sin romperlo) empezando la esquila desde la cabeza, continuando por todo el cuerpo hacia abajo y atrás sin romperlo, una vez obtenido el vellón se le envuelve de manera que la parte de la lana que quedaba pegada a la piel quede hacia afuera con el objeto de que los compradores y clasificadores, comprueben con facilidad la calidad de la lana, su valor y rendimiento al lavado.

Al esquilar debe procurarse no lesionar al animal, pues en la cicatriz de las heridas crecen después pelos deformes que disminuyen el valor del vellón.

Cuando el esquileo se efectúa una sola vez al año, la lana obtenida se denomina lana de un corte y cuando se esquila dos veces al año se le denomina lana de dos cortes. (CUASAPAZ, 2011)

1.1.9. USOS

La lana es una fibra multifuncional en un amplio rango de diámetros, siendo utilizada para Vestimenta, Usos Interiores y Textiles técnicos. (Organisation, 2017)

1.1.10. VESTIMENTA

Trajes, sacos sport, pullovers, sobretodos, ropa deportiva, ropa de abrigo para la nieve, bufandas, guantes, medias, sombreros, ropa interior, ropa deportiva, ropa para niños, ropa interior térmica, telas resistentes al agua, prendas informales, zapatos, ropa formal, hilados para tejer a mano, uniformes, polleras. (Organisation, 2017)



Figura 5: Vestimenta

Fuente: (International Wool Textile Organisation, s/f).

1.1.11. USOS INTERIORES

Alfombras, edredones, colchones, frazadas, tapicería, tapices, lámparas, sillas, tapetes, acolchados, cubrecamas, manteles, cobertores de pared, sofás, filtros. (Organisation, 2017)



Figura 6: Uso de interiores

Fuente: (International Wool Textile Organisation, s/f).

1.1.12. TEXTILES TÉCNICOS

Interiores de aviones, aislante térmico, aislante de sonido, aislantes de techos, filtros, prendas resistentes al fuego, uniformes de policía, uniformes militares, aire acondicionado, prevención de lesiones secundarias en la piel, filtros para pianos, filtros para controlar polvo y olores químicos, telas de billar, componentes de autos, pelotas de tenis.



Figura 7. Interiores de aviones

Fuente: (International Wool Textile Organisation, s/f).

Aspectos técnicos

La lana ofrece un amplio rango de usos



Figura 8. Usos técnicos de la lana

Fuente: (International Wool Textile Organisation, s/f).

CAPITULO II

2. TRATAMIENTO DE LA LANA ANTES DEL PROCESO DE TINTURA

2.1.DESGRASADO O LAVADO

Es el primer tratamiento que se le da a la lana virgen o sucia después de esquilada es, el de desgrasado, el mismo que quita a la lana considerables cantidades de grasa natural, sales solubles (sudor o suarda), materias nitrogenadas y albuminoideas, sustancias vegetales, arena o polvo y barro. La cera de la lana puede ser considerada como una mezcla de alcoholes libres y combinados, incluyendo colessteroles, junto con proporciones variables de ácidos grasos de elevado peso molecular. Las ceras son de carácter insaponificable, pero se emulsiona rápidamente, los ácidos libres se saponifican con carbonato sódico, pero los jabones producidos son muy insolubles en agua y poseen todo escaso poder detergente.

2.2. PROCEDIMIENTOS DE LAVADO

Los procedimientos empleados en el lavado de la lana vienen influidos por las impurezas y por las características de la fibra, ya que esta es atacada por los baños alcalinos y alterada por el uso de temperaturas elevadas, debiéndose evitar al mismo tiempo el enfieltramiento de las fibras, que sería la causa de su rotura posteriormente en la hilatura. Los procesos empleados se fundamentan en el emulsionamiento y la saponificación de la grasa o en su disolución en disolventes.

2.2.1. PROCEDIMIENTO DE EMULSIFICACION

Emulsiona las grasas por medio de detergentes, empleándose corrientemente jabón y carbonato sódico, detergentes aniònicos, o bien detergentes no iónicos, exigiendo en este caso un lavado en medio alcalino, neutro o acido. (CHECA, 1999)

2.2.1.1.LAVADO EN SUITINA LLAMADO PROCEDIMIENTO DUHAMEL

Se disuelve la suintina con agua y elimina la grasa con las sales potásicas de la misma.

2.2.1.2.PROCEDIMIENTOS POR DISOLUCION

Como su nombre lo indica la grasa se elimina con el empleo de disolventes.

2.2.1.3.LAVADOS CON JABÓN

Soluciones detergentes: El lavado en baño alcalino se efectúa con una solución compuesta de jabón, carbonato sódico y agua rectificada.

El jabón empleado debe ser blando, pues en caso contrario parte de él se fija en la lana y le da un tacto áspero, que puede apreciarse después del lavado, serán preferidos los jabones potásicos a los jabones sódicos. No obstante, no es únicamente el ion sodio o potasio el factor determinante de la dureza o suavidad de un jabón, pues el radical del ácido también juega un importante papel. En efecto, los ácidos palmítico y esteárico son sólidos a temperaturas ordinarias. El ácido oleico por el contrario es líquido a la misma temperatura y da jabones muy solubles. (GARCIA, 1989)

La cantidad de jabón empleado se puede determinar examinando su comportamiento en la solución. En efecto, actúa disminuyendo la tensión interfacial entre el líquido de lavado y la grasa de la lana y esta reducción se manifiesta rápidamente hasta la concentración de 0,4% sobre baño, después de la cual, se hace apenas perceptible. Al sobrepasar la concentración de 0.4 % no puede acarrear ninguna ventaja, no obstante se emplea corrientemente un 0,8%, con objeto de evitar la redeposición de las impurezas sobre la fibra, cuando el baño está contaminado con ellas. (CHECA, 1999)

En solución acuosa el jabón se hidroliza dando ácido graso libre, e hidróxido sódico y por lo tanto su poder detergente disminuye.

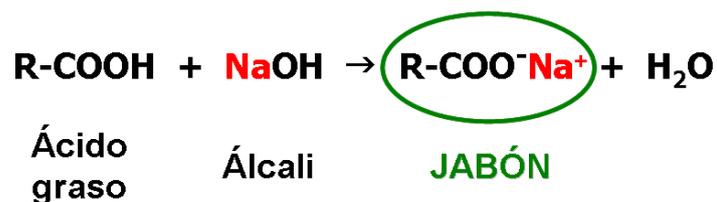


Figura 9. Jabones y detergentes

Fuente: (Biomodel, s/f).

Es preciso añadir una sal tal como el CO_3Na_2 mejor que $NaOH$ debido a que hay menos peligro de ataque a la fibra que por efecto de ion común, desplaza la reacción anterior hacia la izquierda evitando la hidrólisis, y que a su vez también actúa estabilizando la emulsión. La concentración de CO_3Na_2 varia con el tipo de lana y las condiciones de trabajo adoptadas, pero 0,25% sobre baño es la más corriente. (DOMÍNGUEZ TOBAR, 2013)

El agua empleada para formar la solución junto con el CO_3Na_2 y el jabón debe ser rectificada, para evitar que precipiten los jabones en forma de sales cálcicas y magnésicas. (CHECA, 1999)

2.3. OPERACIONES COMPLEMENTARIAS QUE SE LE PUEDE DAR A LA FIBRA ANTES DE LA TINTURA

Esta operación se efectúan sobre los manufacturados de lana, antes de la tintura y que, en algunos casos, afectan a la rapidez de la absorción de los colorantes y a la afinidad de estos por la fibra, y entre los más importantes tenemos: (Cann, 2017)

2.4. FIJADO

Con el fijado se obtiene un determinado grado de estabilidad dimensional de la fibra de lana, sus manufacturados, hilados y tejidos. Existen varios grados de fijación según la intensidad del tratamiento, que dependerá del grado de estabilidad que se desee a los tratamientos posteriores en húmedo, así se pueden considerar los siguientes grados o tipos: (N, 1998)

2.4.1. FIJACIÓN COHESIVA, que es el fijado que desaparece cuando el tejido se deja relajar en agua fría.

2.4.2. FIJACIÓN TEMPORAL, que es el fijado estable a la relajación en agua fría, pero no lo es al agua caliente.

2.4.3. FIJACIÓN PERMANENTE, que es el fijado a relación en agua caliente.

Desde el punto de vista técnico, los dos más importantes son el temporal y el permanente, el primero en el caso del estudio de operación previa a la tintura, el segundo cuando se estudian los acabados permanentes sobre artículos de lana. (CUASAPAZ, 2011)

2.5.CARBONIZADO

Se denomina carbonizado a la operación que tiene por objeto eliminar por vía química, los restos de materias celulósicas que, a modo de impurezas, acompañan a la lana. Para lograr este propósito, se impregna la lana con ácidos minerales fuertes o sales que producen dichos ácidos, se seca y se somete posteriormente a una temperatura comprendida entre los 105°C y los 115°C, de esta forma se produce una acción deshidratante de los ácidos sobre las partículas vegetales, que se traduce en un carbonizado de las mismas, como agentes deshidratantes se emplean el ácido sulfúrico, el ácido clorhídrico, el sulfato ácido de sodio, el cloruro aluminico o el cloruro magnésico, el más es el ácido sulfúrico. (CHECA, 1999)

El carbonizado se puede realizar con la lana en floca o con el tejido. Dado que en ambos casos el fundamento de la operación es el mismo y únicamente varia la maquinaria empleada. (QUIRINO, 1989)

2.6.FIELTRADO

El fieltado puede producirse como consecuencia de un proceso industrial a través del cual se pretende conseguir un cambio en la estructura del tejido o de una masa de fibras. O bien durante el lavado de la lana, en sus diferentes estados. En el primer caso constituye la operación industrial conocida como batanado o enfurtido, pudiéndose considerar que el fieltado de la lana es una propiedad positiva, por cuanto permite obtener artículos de una compacidad que sería difícil de lograr por otros sistemas, el fieltado producido por el lavado es una propiedad negativa, por cuanto produce cambios indeseables en la disposición de las fibras en el conjunto. (INTRODUCCION TEXTIL, 2017)

El batanado es una operación industrial destinado a aumentar la tupidez y el espesor de los artículos de lana, lo cual se produce a consecuencia del encogimiento experimentado por el tejido, bien en la urdimbre, en la trama o en ambos sentidos a la vez. (QUIRINO, 1989)

2.7.BLANQUEO DE LANA

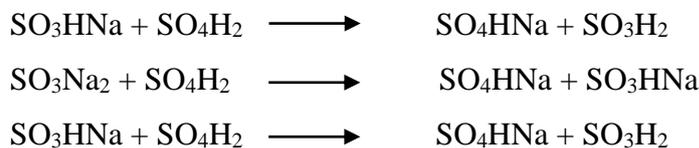
La lana luego del proceso de lavado, aun presenta un color amarillento, que en algunas ocasiones conviene eliminar mediante el blanqueo. Para ello se utilizan reductores tales como:

el ácido sulfuroso (H_2SO_3), ácido hidrosulfuroso ($\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_4$), Y oxidantes tales como el agua oxigenada o peróxido de hidrógeno (H_2O_2), los peróxidos de sodio (Na_2O_2) y bario (BaO_2), las persales (perboratos, per carbonatos, per sulfatos y el permanganato potásico). (N, 1998)

2.7.1. BLANQUEO CON REDUCTORES

2.7.1.1. BLANQUEO CON SULFITO Y BISULFITO

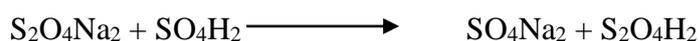
Las dos sales por acción del SO_4H_2 producen SO_3H_2 , por lo que pueden considerarse un caso particular de blanqueo con solución de ácido sulfuroso.



Los resultados más óptimos se consiguen al emplear dos moléculas de sulfito y una de bisulfito, de manera que se obtenga una solución cuya riqueza en SO_2 varía del 2 al 12%. Con esta mezcla en presencia de $\text{Na}(\text{OH})$ de manera que la relación de $\text{Na}(\text{OH})/\text{SO}_2$ sea igual a 1,25/1, 35, a 60°C y durante dos horas se obtiene un extraordinario blanco, resistente al amarilleo, que con frecuencia se produce al ponerse en contacto la fibra con los álcalis diluidos y el jabón. (Aldehídos, 2015)

2.7.1.2. BLANQUEO CON HIDROSULFITO

Esta sal libera ácido hidrosulfuroso, que es un energético reductor y que además de emplearse en el blanqueo de la lana se utiliza en la tintura como reductor y en la estampación como corroyente.



Debido a la gran facilidad de descomposición que tiene la sal sódica del ácido hidrosulfuroso, se emplean marcas estabilizadas de este producto con pirofosfato sódico ($\text{P}_2\text{O}_7\text{Na}_4$) o con aldehído fórmico. (CHECA, 1999)

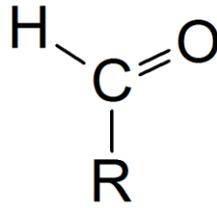


Figura 10: Aldehído

Fuente: (Químicas, s/f).

Se recomienda usar CAUDIT V, producto especial para el blanqueo de lana compuesto de hidrosulfito y glucosa, ya que el blanco obtenido es superior al que se logra con hidrosulfito solo, por lo que se deduce que la glucosa interviene activamente en el fenómeno de blanqueo.

2.8. BLANQUEO CON OXIDANTES

2.8.1. PERÓXIDO DE HIDROGENO O AGUA OXIGENADA

En nuestro medio el peróxido de hidrógeno o agua oxigenada es la de mayor utilización, ya que este tiene capacidad de liberar oxígeno en estado naciente, en virtud de la descomposición que experimenta: (VITALISE, 2015)

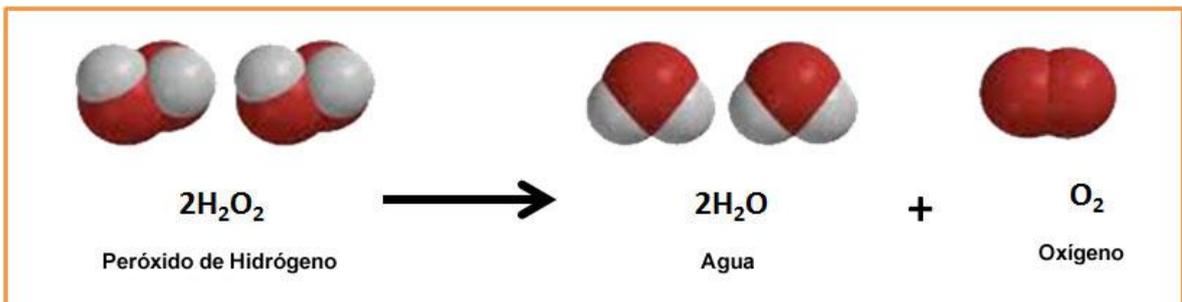
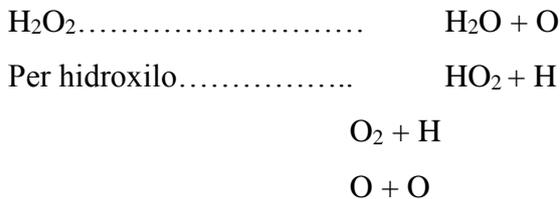


Figura 11. Descomposición de peróxido de hidrogeno

Fuente: (Vitalase, s/f).

El oxígeno atómico es el verdadero oxidante y cuando se asocia a otro átomo constituye una molécula y pierde toda su actividad.

La descomposición del peróxido de hidrógeno debe efectuarse de tal manera, que el oxígeno sea fijado en la fibra gradualmente y en una cantidad que produciendo el grado de blanqueo deseado no altere en gran extensión o magnitud las propiedades de la fibra.

La velocidad de descomposición y el grado de blanqueo sobre la fibra, viene gobernado por varias variables, siendo las más importantes: agentes estabilizadores, pH, temperatura, duración del tratamiento, concentración de peróxido de hidrógeno. El blanqueo de la lana suele efectuarse a un pH comprendido entre 8,5 y 9,5. (CHECA, 1999)

En lo que se refiere a las otras variables, su influencia radica en que un aumento de temperatura significa un aumento en la velocidad de descomposición, sin embargo, dado a que los procesos del blanqueo se efectúan en PH alcalinos durante tiempos prolongados, la fibra no puede ser sometida a temperaturas elevadas, y de aquí que las temperaturas más convenientes para el blanqueo estén situadas entre 45 y 60 grados centígrados.

Las concentraciones de peróxido de hidrogeno empleadas oscilan entre 1 a 4 volúmenes de peróxido de hidrogeno por litro. En general pequeñas concentraciones producen un marcado aumento del grado de blanco de la fibra, el cual se incrementa al operar en concentraciones más elevadas aunque en menor intensidad (Lockuán, F., 2012)

La variación de la concentración influye en la descomposición del peróxido de hidrógeno de tal forma que el aumentar aquella, disminuye el % de perdida de oxígeno, si bien el gastado por gramo de agua experimenta un aumento tal. Si en el proceso se aprecia que la generación de oxigeno disminuye, se debe aumentar la cantidad de álcali con el objeto de neutralizar los productos ácidos producidos por la oxidación de la fibra, considerando que se debe realizar un lavado final ligeramente acido para eliminar el álcali y evitar la pérdida de resistencia de la fibra. (CHECA, 1999)

2.8.2. BLANQUEO CON HIPOCLORITO DE SODIO

El hipoclorito de sodio, se hidroliza en determinado grado cuando se pone en contacto con el agua, liberando acido hipocloroso y formando el correspondiente hidróxido.





Este oxígeno es el que efectúa el blanqueo de la fibra, por lo que se puede afirmar que el hipoclorito es el medio que nos valemos para transportar el oxígeno sobre la materia textil a blanquear.

La acción de los ácidos fuertes, como el SO_4H_2 y el ClH , pueden liberar ácido hipocloroso o cloro de una solución de hipoclorito. Cuando se usan pequeñas cantidades, se libera ácido hipocloroso.



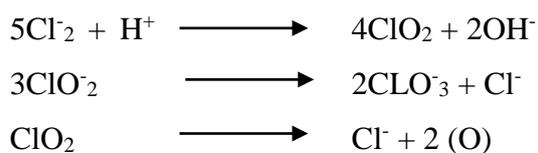
Esta reacción en esta fase tiene importancia en la etapa de blanqueo, ya que el HOCl formado se descompone con desprendimiento de HCl y O , el actúa sobre la fibra blanqueándola.

Se debe emplear un baño débil aproximadamente con una concentración de 1g/l , ya que las concentraciones elevadas disminuyen la estabilidad del baño, además se debe usar un agente tampón o amortiguador tal como CO_3HNa , a una temperatura de 50 a 60°C durante 2 a 3 horas aproximadamente, a un pH que oscila entre $6 - 7,5$. (CHECA, 1999)

2.8.3. BLANQUEO CON CLORITO SÓDICO

Es también uno de los más usados, a consecuencia de ser un procedimiento de fácil control y además no requiere de mucho tiempo como otros procesos, por otra parte, la fibra no resulta atacada en condiciones normales de trabajo.

Generalmente el mecanismo de reacción del clorito sódico, para soluciones amortiguadas y aciduladas con ácido acético, son:



Siendo el oxígeno que se desprende el que produce el blanqueo en la fibra, además se debe considerar que el bióxido de cloro que se desprende, es un gas que produce irritaciones en las mucosas y es nocivo a la salud.

El proceso de blanqueo con clorito sódico, está influenciado por los siguientes factores:

- Concentración de clorito sódico en el baño

La concentración oscila entre 0,4 a 1 g/l, dependiendo del grado del blanco deseado.

- pH y procedimiento de activación

El pH debe oscilar entre 3 - 4,5, se debe usar sales tampones generalmente a base de fosfato mono sódico, pirofosfato sódico, en concentraciones comprendidas entre 0,2 -- 1 g/l. Como activadores se emplean ácidos orgánicos como: el fórmico, acético.

- Temperatura y duración

La descomposición se realiza de manera óptima entre 50 y 60° C, durante un tiempo de 2 a 3 horas.

2.8.4. BLANQUEO CON PERMANGANATO DE POTASIO

Es necesario indicar que el blanqueo con permanganato de potasio da resultados más satisfactorios, el blanco es puro y dejara fibra suave y blanca, pero el precio es sumamente elevado por lo que se utiliza solo para materias finas, caras y delicadas, mucha de las cuales se usan blancas o bien se tiñen de colores claros.

El permanganato de potasio se descompone de dos maneras distintas, dependiendo del medio:

En medio alcalino o neutro



En medio ácido



Considerando que en ambas forma hidróxido potásico, álcali sumamente caustico no le puede dejarse en contacto con la fibra, por ello debe emplearse sulfato magnésico preferentemente para neutralizarlo. (CHECA, 1999)

El blanqueo de la lana se la puede realizar sobre la lana en rama, en cinta, hilo o ejidos, dependiendo su intensidad del use posterior que se le vaya a dar.

2.8.5. BLANQUEO ÓPTICO DE LA LANA

Los blanqueadores ópticos son materia colorante que, en lugar de tener el característico sistema cromóforo de los colorantes, posee un sistema fluorescente y, exactamente igual que en los colorantes, según la clase de fibra para la que se destina ósea ciertos sustituyentes que favorecen al poder de fijación. Se lo utiliza en caso de que el blanco deseado sea intenso, los blanqueadores ópticos son sustancias incoloras y fluorescentes capaces de provocar sobre las materias tratadas con ellas, cuando se pongan a la luz diurna, una fluorescencia azul o violeta (CUASAPAZ, 2011)

Debe tenerse presente, que la solidez a la luz de los agentes de blanqueo óptico sobre la lana es deficiente y por lo tanto su permanencia no es elevada.

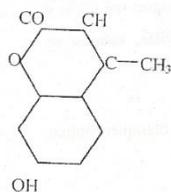
Los blanqueadores ópticos se aplican en soluciones neutras o acidas, influyendo sobre la absorción del agente óptico por la fibra de la lana, la temperatura, y la mayor o menor acidez del baño. (CHECA, 1999)

Las mejores condiciones operatorias se encuentran trabajando en baño neutro a 40 – 60 grados centígrados, y las condiciones oscilan entre el 1% - 5 % de blanqueador óptico.

Los factores que influyen para el grado de blanco son: la concentración, la duración del tratamiento, la temperatura del baño, la relación de baño, la dureza del agua, el contenido salino, el pH, las sustancia acompañantes (vestigios metálicos, productos auxiliares, etc.), la modalidad de aplicación y las características del género en lo que concierne al aspecto textil, químico (CHECA, 1999)

2.9. CLASIFICACIÓN DE LOS BLANQUEADORES ÓPTICOS CUMARÍNICOS

Figura 12. Cumarínicos



Fuente: (CHECA, 1999)

ESTILBÉNICOS

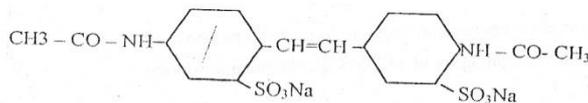


Figura 13. Estilbénicos

Fuente: (CHECA, 1999)

BENZIMIDAZÓLICOS

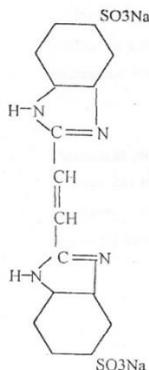


Figura 14. Benzimidazólicos

Fuente: (CHECA, 1999)

DE NÚCLEO HETEROCÍCLICO

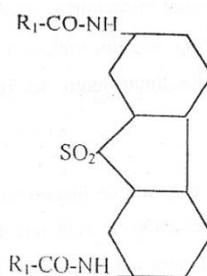


Figura 15. De núcleo heterocíclico

Fuente (CHECA, 1999)

DERIVADOS DE LOS ÁCIDOS NAFTALENO SULFÓNICOS

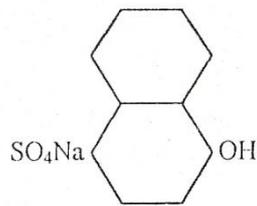


Figura 16. Derivados de los ácidos naftaleno sulfónicos

Fuente. (CHECA, 1999)

DE CONSTITUCIÓN VARIA

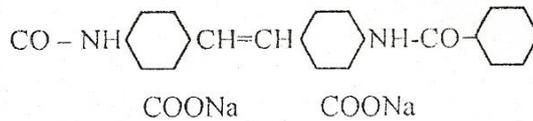


Figura 17. De constitución varia

Fuente. (CHECA, 1999)

Los blanqueadores ópticos que se utilizan para lana por los resultados de blanco obtenidos son, los estilbénicos, especialmente los derivados del ácido estilbenodisulfónico que son de carácter aniónico (CHECA, 1999)

CAPITULO III

3. FLUIDOS SUPERCRÍTICOS COMO SOLVENTE ALTERNATIVO

3.1. DIÓXIDO DE CARBONO

3.1.1. RESEÑA HISTÓRICA

El químico escocés Joseph Black lo denominó 'aire fijo', y lo obtuvo a partir de la descomposición de la marga y la caliza, como parte de la composición química (química i. , 2017) de esas sustancias. (reverso, 2017) El químico francés Antoine Lavoisier lo identificó como un óxido de carbono al demostrar que el gas obtenido por la combustión del carbón de leña es idéntico en (arbat, 2017) sus propiedades al 'aire fijo' obtenido por Black.

El dióxido de carbono también se llama „Ácido carbónico“. (química i. , 2017) En este Consejo de Seguridad, el término „ácido carbónico “sólo se utiliza para referirse a una solución acuosa de dióxido de carbono (CO_2 en H_2O) (Industriales, 2017)

3.1.2. COMPOSICIÓN

El dióxido de carbono cuya fórmula química es CO_2 es un compuesto químico. (esdocs, 2017) Esta molécula lineal está formado por un átomo de carbono que está ligado a dos átomos de oxígeno, $\text{O} = \text{C} = \text{O}$.

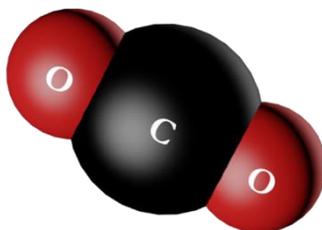


Figura 18. Fórmula química del CO_2

Fuente: (Energy & Environmental Research Center, s/f).

3.1.3. PROPIEDADES

3.1.3.1. PROPIEDADES QUÍMICAS

El dióxido de carbono no es inflamable y, en condiciones atmosféricas, químicamente estable e inerte. (Industriales, 2017) Las reacciones de combustión son inhibidas o completamente suprimidas por el CO₂. (Industriales, 2017) El dióxido de carbono puede reaccionar vigorosamente con determinadas sustancias, como el amoníaco o aminas. El dióxido de carbono se disuelve en agua produciendo ácido carbónico, que reacciona como un ácido débil y tiene un efecto corrosivo sobre el acero al carbono (Industriales, 2017) y algunos metales no ferrosos. (academia, 2017)

3.1.3.2. PROPIEDADES FÍSICAS

Como gas a presión atmosférica, el dióxido de carbono es de aproximadamente 1,5 veces más pesado que el aire, el pH a 1 (scribd, 2017) atm es de 3.7.

El CO₂ por lo tanto, tiende a fluir hacia abajo, y se puede acumular en pozos, sótanos, o en depresiones naturales. Si hay poco movimiento de aire, estas piscinas de CO₂ pueden persistir durante muchas horas. (Industriales, 2017)

3.1.4. ESTADOS FÍSICOS DEL DIÓXIDO DE CARBONO

El estado físico de dióxido de carbono, que dependen de la presión y temperatura, merece especial atención:

3.1.4.1. GASEOSO

A presión (Industriales, 2017) y temperatura ambiente se encuentra en estado gaseoso. Pesa un 53% más que el aire, es incoloro, no tóxico, soluble en agua y normalmente inodoro. (scribd e. , 2017)

3.1.4.2.SOLIDO

Al expandirse a la atmósfera, el CO_2 líquido se solidifica en forma de nieve carbónica. Esta nieve se sublima (pasa a estado gaseoso directamente) a $-78,5^{\circ}C$. (taringa, 2017)

La nieve carbónica comprimida con pistones hidráulicos a alta presión se convierte en hielo seco, compacto, traslúcido y de gran capacidad frigorífica (152 Kcal/kg.). (esslideshare, 2017)

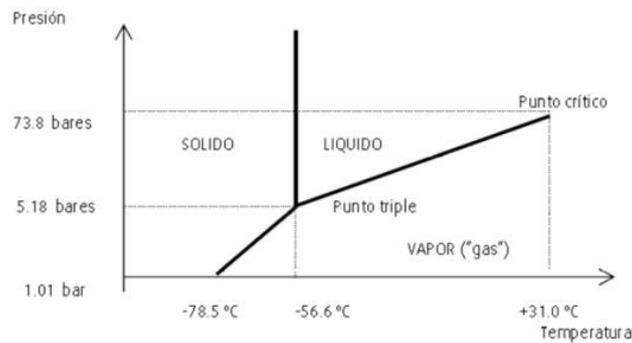
3.1.4.3.LIQUIDO

A temperaturas entre $-56,6$ y $31,1^{\circ}C$, y las presiones de al menos 5,2 bares, el CO_2 puede existir en forma líquida. El CO_2 líquido no puede existir a la presión atmosférica (1 bar). (Industriales, 2017)

3.1.5. ESTOS ESTADOS FÍSICOS PUEDEN CAMBIAR FÁCILMENTE:

En el cilindro de gas CO_2 está en estado líquido, es decir, bajo la presión de gas licuado. La presión en el cilindro es de aproximadamente 57 bar a $20^{\circ}C$. (Industriales, 2017) Cuando el CO_2 sale del cilindro a través de un regulador fijado en una presión de salida de menos de 5,2 bar, se produce CO_2 gaseoso: 1 kg de líquido se expande (Industriales, 2017) a 550 litros de gas a presión atmosférica.

Bajo ciertas condiciones, también es posible sacar CO_2 de la botella en forma líquida. (acuasuruguay, 2017) Si el CO_2 líquido es abruptamente liberado, es intensamente refrigerado, produciendo una mezcla de gas CO_2 y la nieve de CO_2 . (Industriales, 2017)



Obsérvese que
 - Sólo puede haber CO₂ líquido cuando la temperatura es inferior a 31 °C
 - Cuando la presión del CO₂ líquido desciende por debajo de 5,18 bares (4,18 barg) y/temperatura desciende a menos de -57 °C el CO₂ se solidifica

Figura 19. Punto triple del **CO₂**

Fuente: (Linde Group, 2017).

3.1.6. CAPTURA DE CO₂

“La capacidad técnica de remover CO₂ de las fuentes puntuales de emisión se ha establecido; sin embargo actualmente son muy pocas las manifestaciones en gran escala de esta tecnología, principalmente por los costos que implica y en la mayoría de los casos. Las tecnologías individuales no han sido integradas al nivel que estaba previsto. De esta manera, si bien teóricamente se puede superar el índice de captura de emisiones, el enfoque actual de las investigaciones está en optimizar económicamente los procesos utilizados en la actualidad”. (Tecnologías de Captura y Secuestro de CO₂, 2017)

3.1.7. TECNOLOGÍAS DE CAPTURA DE CO₂

La tecnología se aplica principalmente en centrales eléctricas de carbón, lignito (tipo de carbón mineral) y gas natural, (docplayer, 2017) además, el continuo desarrollo de estas tecnologías puede ampliar su uso a refinerías, plantas de cemento y químicas o también en procesos de biomasa los cuales implican (CHILE, 2017) emisiones netas negativas. (Tecnologías de Captura y Secuestro de CO₂, 2017)

3.1.7.1. EXISTEN TRES TIPOS BÁSICOS DE CAPTURA DE CO₂:

- Pre-combustión
- Post-combustión (o Secuestro de CO₂)
- Oxi-combustión (scribd, 2017)

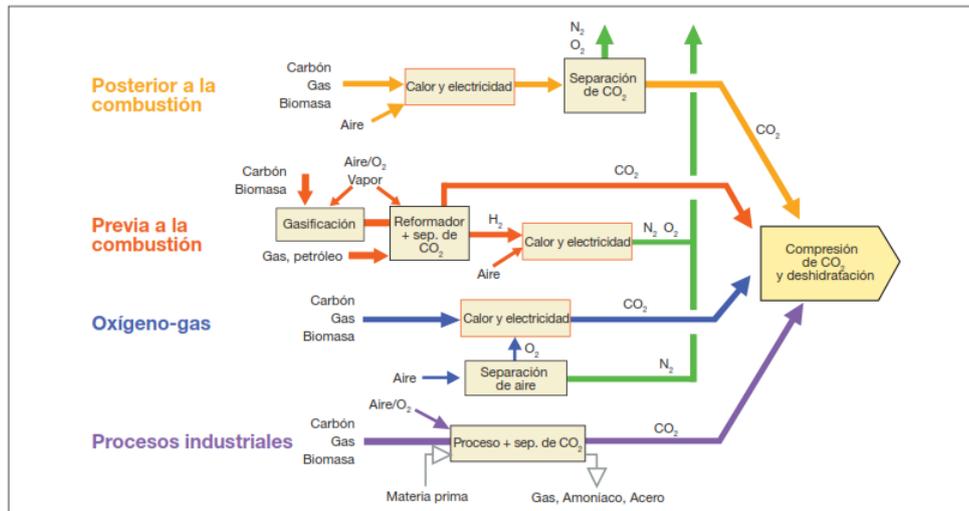


Figura 20. Esquema tecnología de captura del CO₂

Fuente: (Tecnologías de Captura y Secuestro de CO₂, s/f.)

El uso de cada uno de estos métodos dependerá entre otras cosas de la concentración de CO₂, la presión del gas y el tipo de combustible que se utiliza. A continuación se analizan con mayor detalle cada uno de éstos procedimientos de manera de captar virtudes y defectos en la aplicación de cada uno de ellos. (Tecnologías de Captura y Secuestro de CO₂, 2017)

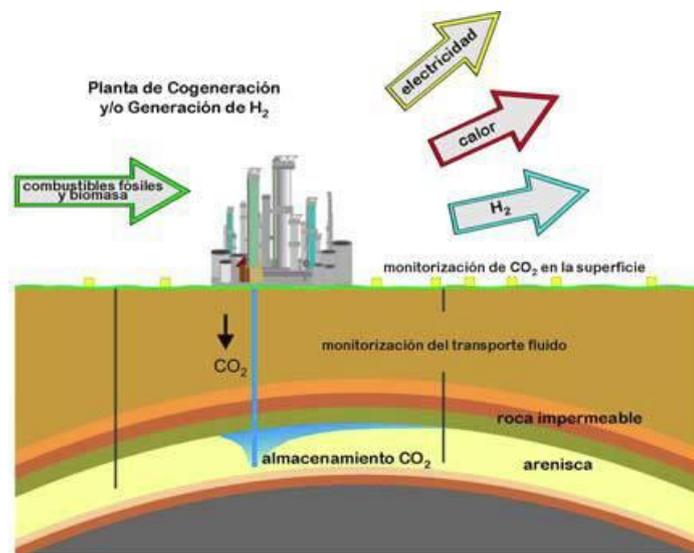


Figura 21. Planta de cogeneración de H₂

Fuente: (Tecnologías de Captura y Secuestro de CO₂, s/f.)

3.1.7.1.1. CAPTURA EN PRE-COMBUSTIÓN

Este sistema está muy relacionado con la producción de hidrógeno, el cual es un agente muy importante en distintos procesos, entre los (CHILE, 2017) cuales se incluyen:

Generar energía eléctrica o calor (produciéndose únicamente vapor de agua).

La síntesis de amoníaco.

La producción de fertilizantes. (CHILE, 2017)

Los hidroprocesamientos en las refinerías de petróleo. (Plataforma Tecnológica Española del CO₂, 2017)

Básicamente consiste en producir, a partir de gas natural o gas sintético (proveniente de la gasificación de carbón u otros hidrocarburos), una mezcla gaseosa (docplayer, 2017) compuesta principalmente del hidrógeno mencionado H_2 y CO_2 para posteriormente separar estos dos gases. (buenastareas, 2017) La separación se basa en la descarbonización del combustible antes de la combustión mediante técnicas de gasificación del carbón o reformado del gas natural. (Tecnologías de Captura y Secuestro de CO₂, 2017)

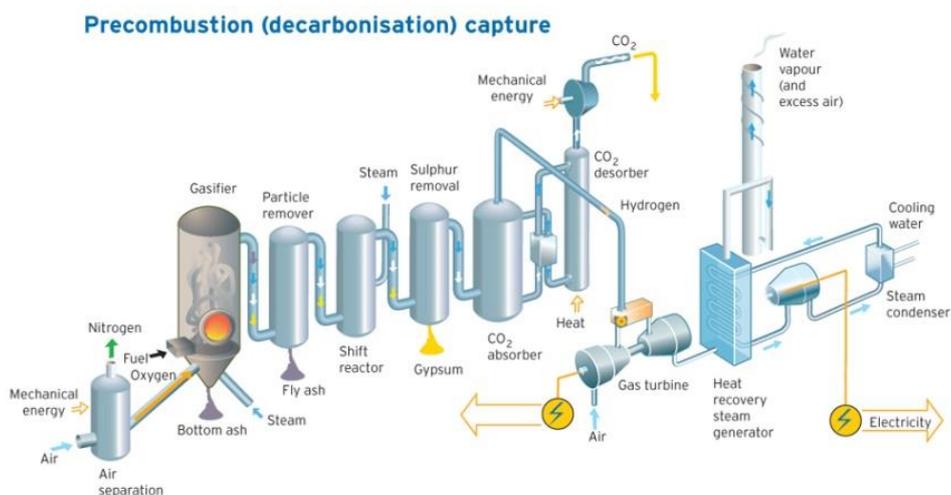


Figura 22. Diseño planta con tecnología de captura en pre combustión

Fuente: (Tecnologías de Captura y Secuestro de CO₂, s/f.)

- “Adsorción a cambio de presión (PSA), la cual se adapta para aplicaciones puras de hidrógeno, pero con las composiciones de gas sintético obtenidas usualmente, las pérdidas de hidrógeno serían inaceptables.” (CHILE, 2017)
- Separación Criogénica, en la cual el CO_2 es separado físicamente del gas de síntesis condensándolo a temperaturas criogénicas para producir CO_2 líquido, listo para almacenamiento. (buenastareas, 2017) Este sistema no es atractivo pues el enfriamiento del gas de síntesis consume grandes cantidades de electricidad.
- Absorción química, usando una solución con monodietanolmelamina (MDEA). (scribd, 2017) El proceso es usualmente llamado *amine scrubbing* y es la tecnología para remover CO_2 más comúnmente utilizada en la actualidad.
- Absorción física usando Selexol o Rectisol (metanol frío) es ventajoso a alta presión parcial de CO_2 y es muy adaptable para productos de gasificación.
- La separación de membrana es aplicada comercialmente para la separación de hidrógeno, pero se requiere mayor desarrollo antes que las membranas puedan ser usadas (buenastareas, 2017) en una escala suficientemente grande. La selectividad de membranas comercialmente disponibles para CO_2/H_2 es también muy baja.

3.1.7.1.2. CAPTURA EN POST-COMBUSTIÓN

En este sistema, el CO_2 se ha separado de los gases de escape producidos durante la combustión (principalmente N_2) con aire de un (zhscribd, 2017) combustible (carbón, gas natural etc.). (mejorcaldera, 2017) Para su captura posterior, entre los procesos más viables se encuentran el ciclo de Calcinación – Carbonatación y la absorción química con aminas. (CHILE, 2017) El resto de las opciones es menos utilizado ya sea por su bajo desarrollo o por los altos costos que implican. (engormix, 2017) Dentro de ellas se encuentran la adsorción física, la destilación criogénica y las membranas. (zhscribd, 2017)

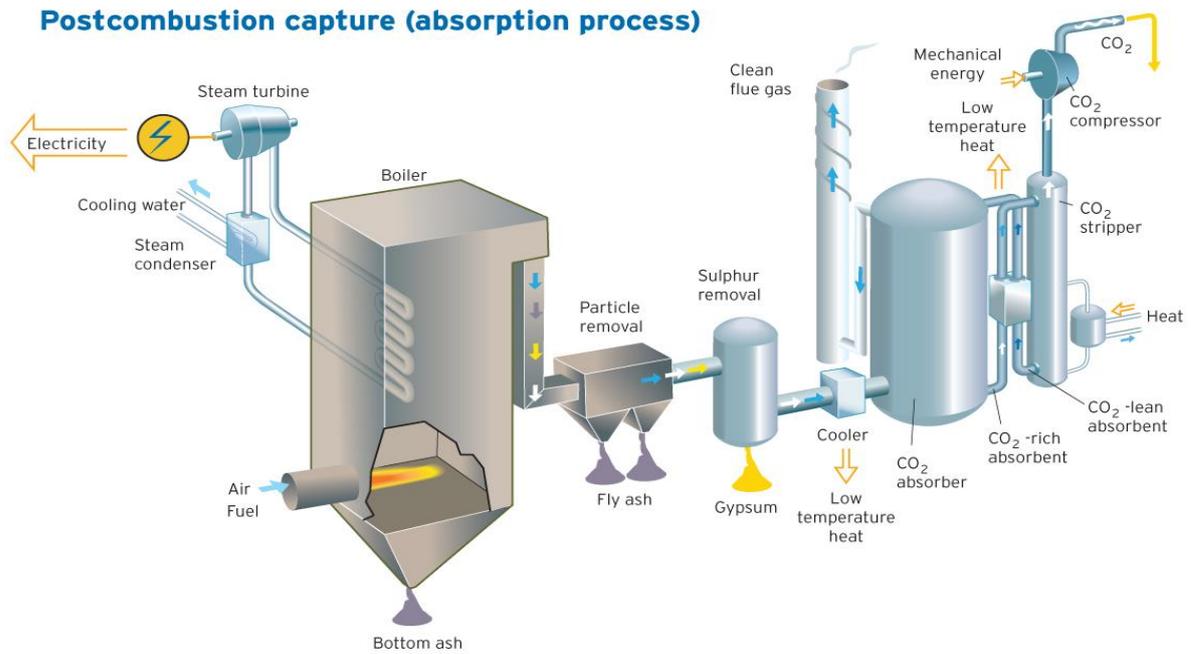


Figura 23. Diseño planta con tecnología de captura en post combustión

Fuente: (Tecnologías de Captura y Secuestro de CO_2 , s/f.)

ABSORCIÓN QUÍMICA

En este proceso el CO_2 reacciona con un líquido de absorción. (scribd e. , 2017) Para ello se utilizan compuestos químicos (aminas y nuevos absorbentes en investigación) con gran afinidad de compuestos ácidos (CO_2) y se usan como solventes formulados, (CHILE, 2017) en una mezcla especial para atenerse a la tarea de separación. Algunos de ellos también contienen activadores para promover la transferencia de masa en la absorción. (zhscribd, 2017) En la tabla 2 se muestran solventes usados comúnmente para llevar a cabo esta tarea.

Tabla 2. *Tabla de solventes utilizados en el proceso*

Tipo de solvente	Ejemplo
Aminas primarias	Monoetanolamina (MEA)
	Diglicolamina (DGA)
Aminas secundarias	Dietanolamina (DEA)
	Diisopropanolamina (DIPA)
Aminas terciarias	Metildietanolamina (MDEA)
	Trietanolamina (TEA)
Soluciones de sal alcalina	Carbonato de potasio

Fuente: (Tecnologías de Captura y Secuestro de CO_2 , 2017)

Actualmente los siguientes procesos de solvente están comercialmente disponibles para el tratamiento del CO₂. (docplayer, 2017)

- Kerr-McGee/ABB Lummus Crest Process (Barchas and Davis, 1992).
- Fluor Daniel ECONAMINE Process (Sander and Mariz, 1992, Chapel et al., 1999). (docplayer, 2017)
- Kansai Electric Power Co., Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Process (Mimura et al., 2000).

El detalle del proceso se observa en la figura. (docplayer, 2017) El sistema se descompone en dos etapas principales: absorción y regeneración (incremento de temperatura è consumo energía). (zhscribd, 2017)

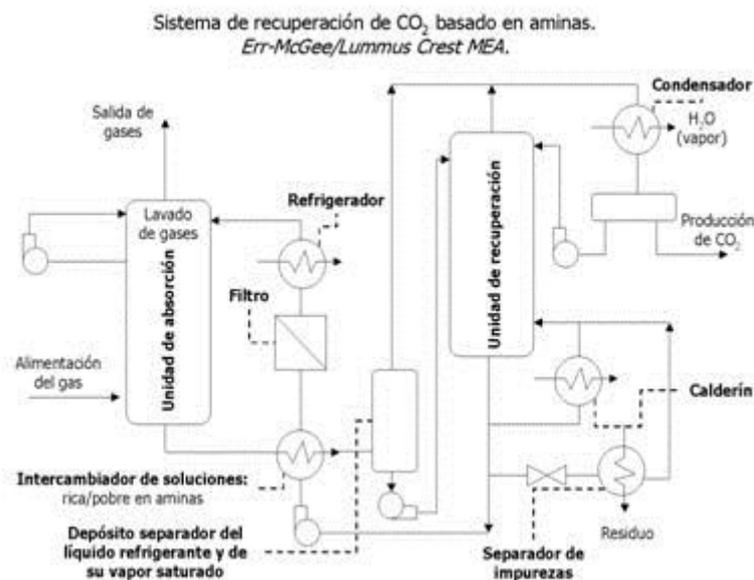


Figura 24. Sistema de recuperación de CO₂ basada en aminas

Fuente: (Tecnologías de Captura y Secuestro de CO₂, s/f.)

Detalle del proceso de absorción química

Las etapas del proceso se describen básicamente en el esquema de la figura. Detallamos las etapas del sistema. (docplayer, 2017)

- El gas que contiene el CO_2 se pone en contacto con un absorbente líquido capaz de capturar el CO_2 . (docplayer, 2017)
- El absorbente cargado con CO_2 se transporta a otra torre donde se regenera mediante cambios de temperatura o presión y libera el CO_2 . (docplayer, 2017)
- El absorbente regenerado se envía de nuevo al proceso de captura de CO_2 . (scribd, 2017)
- Para contrarrestar las pérdidas de actividad del absorbente, se introduce siempre nuevo absorbente. (docplayer, 2017)

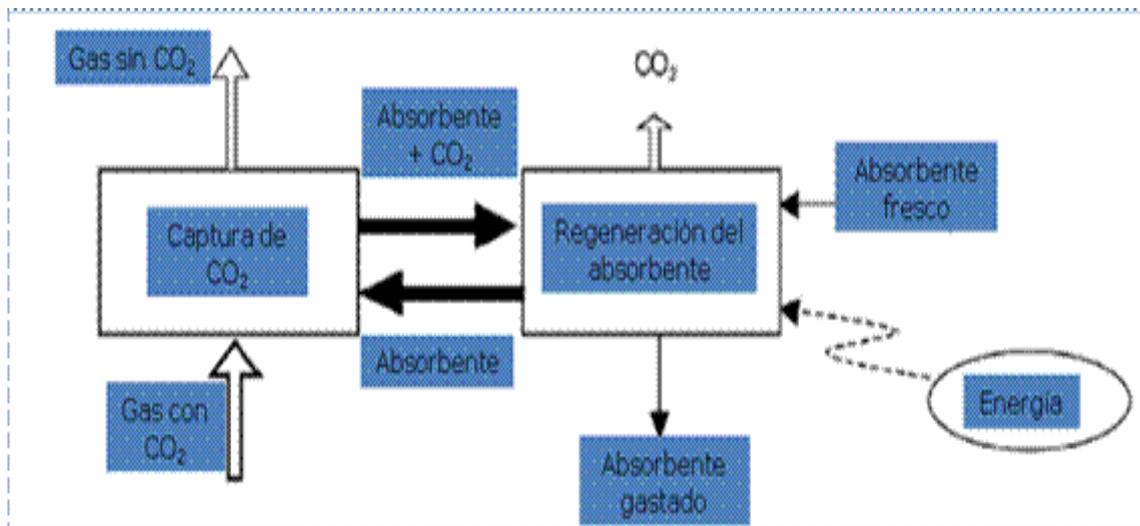


Figura 25. Esquema del proceso de absorción química

Fuente: (Tecnologías de Captura y Secuestro de CO_2 , s/f.)

Etapas del proceso de absorción química

Al utilizar este sistema no se pueden despreciar sus características básicas de operación, que pueden determinar su viabilidad. (docplayer, 2017) Dentro de ellas mencionamos:

- La reacción química del proceso se realiza a alta temperatura. (CHILE, 2017)
- El sistema consta de un reactor a modo de absorbedor y otro que actúa de regenerador de la amina. (docplayer, 2017)
- El proceso de regeneración requiere un considerable consumo de energía. (pic, 2017)

- El sistema necesita de un tratamiento previo a los gases de combustión, debido a que las aminas son altamente atacables por los óxidos de nitrógeno y azufre (NO_x (CHILE, 2017) y SO_x)

CICLO DE CALCINACIÓN/CARBONATACIÓN

Esta combinación de procesos se basa en la absorción química, usando como solvente a la caliza. (CHILE, 2017) Definiendo separadamente, la carbonatación es una reacción exotérmica donde los reactivos CO₂ y CaO reaccionan para producir CaCO₃. (docplayer, 2017) La energía que se desprende de esta reacción es de 430 kcal/kg CaCO₃. (CHILE, 2017) La calcinación en cambio es el proceso inverso, pues produce la desorción del CO₂ y CaO mediante la descomposición de la caliza en presencia de calor. (docplayer, 2017)

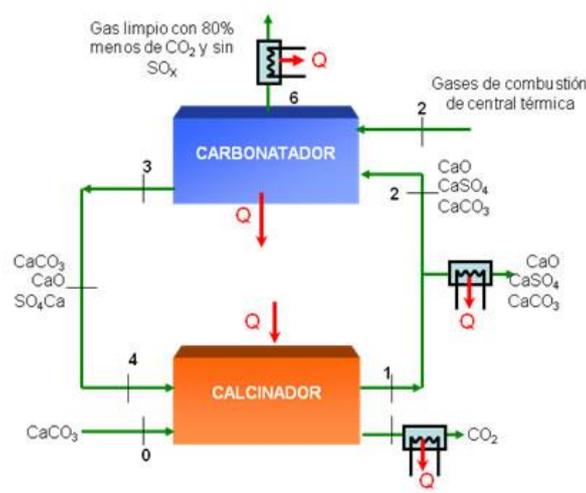


Figura 26. Esquemas de funcionamiento de la tecnología calcinación/carbonatación

Fuente: (Tecnologías de Captura y Secuestro de CO₂, s/f.)

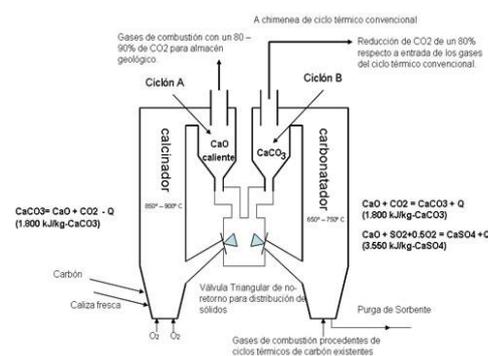


Figura 27. Esquemas de funcionamiento de la tecnología calcinación/carbonatación

Fuente: (Tecnologías de Captura y Secuestro de CO₂, s/f.)

Las etapas de este proceso son.

- La corriente de gases a tratar se toma antes de la entrada a la desulfuradora (D.G.C.).
- El proceso propuesto trabajará en dos lechos fluidos circulantes interconectados, trabajando a una temperatura de 650 °C el que actúa como carbonatador, y a 875 (zhscribd, 2017) °C el que trabaja como calcinador.
- El calcinador trabajará en oxi-combustión, con el objetivo de generar una corriente alta de CO₂ en los gases de salida. (CHILE, 2017)
- La recuperación de calor en el nuevo ciclo propuesto se realizará mediante un ciclo agua-vapor supercrítico

Visualizando la implementación de una planta con este (scribd, 2017) sistema de captura podemos delinear 3 puntos necesarios.

- Oxi-combustión en lecho fluido circulante atmosférico (CFB). (scribd, 2017)
- Planta de carbonatación-calcinación en conexión con una planta de carbón existente.
- Planta de carbonatación-calcinación para central de generación nueva. (CHILE, 2017)

Delineando básicamente las características de este sistema vemos que el proceso en si es bastante complejo de integrar, sumado al hecho de que la oxi-combustión (zhscribd, 2017) está en fase de desarrollo. (winphonometro, 2015) Sin embargo, se extraen características importantes, como los bajos costos que lo hacen competitivo con las técnicas de absorción, el hecho de que la desulfuración (docplayer, 2017) sea parte del proceso, incluyendo la purga que tiene uso económico con las cementeras y finalmente una generación extra de energía eléctrica que concentra bajas (docplayer, 2017) emisiones de CO₂ q es nuestro objetivo. (Tecnologías de Captura y Secuestro de CO₂, 2017)

ADSORCIÓN FÍSICA:

Básicamente se encarga de utilizar materiales capaces de adsorber el CO_2 generalmente a altas temperaturas, para luego recuperarlo mediante procesos de cambio de temperatura o presión (procesos TSA y PSA respectivamente). (docplayer, 2017)

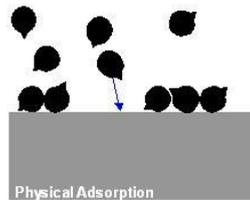


Figura 28. Diagrama básico de funcionamiento de la adsorción física

Fuente: (Tecnologías de Captura y Secuestro de CO_2 , s/f.)

Entre los adsorbentes se encuentran:

- Carbón activo
- Materiales mesoporosos
- Zeolitas
- Aluminas e hidrotalcitas

MEMBRANAS

Este proceso se utiliza para la captura de (scribd, 2017) altas concentraciones de CO_2 en gas natural a alta presión, de lo contrario (a baja presión) la fuerza de separación necesaria para el gas sería muy baja. (CHILE, 2017) Dentro de las limitaciones de este sistema vemos que resulta en un mayor gasto de energía y por tanto es ineficiente frente a la absorción química, así como también (docplayer, 2017) incurre en un menor porcentaje de remoción de CO_2 . (docplayer, 2017) Esto indica principalmente que el sistema no está muy desarrollado y las membranas más eficientes aún no se han encontrado, pero como sistema es prometedor dado (CHILE, 2017) las ventajas operacionales que posee y que se mencionan a continuación.

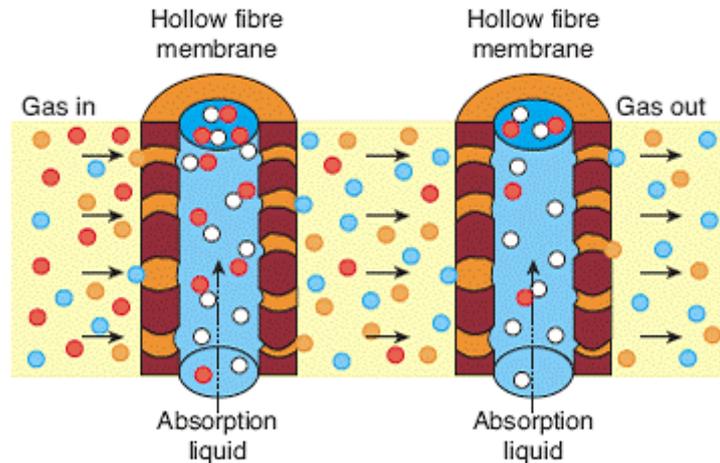


Figura 29. Esquema de funcionamiento del sistema de membranas

Fuente: (Tecnologías de Captura y Secuestro de CO_2 , s/f.)

- Los flujos de gas y líquido son independientes, lo que evita problemas en las columnas ya sea de inundación, espumado. (zhscribd, 2017)
- No se necesita un lavado posterior al absorbente para recuperar líquido de absorción que es sacado hacia fuera. (docplayer, 2017)
- La operación es a condiciones termodinámicamente óptimas, no condicionadas por las condiciones hidrodinámicas del equipo de contacto. (zhscribd, 2017)
- El equipamiento es compacto a través del uso de fibra porosa de membrana. (Tecnologías de Captura y Secuestro de CO_2 , 2017)

De manera de optimizar el uso de las membranas en el proceso, estas deben presentar algunas características particulares para una mejor performance.

- La permeabilidad determinará el área de membrana necesaria para el proceso.
- La selectividad (radio de permeabilidades) determinará la pureza del producto final. (zhscribd, 2017) A menor selectividad podrían ser necesarios procesos posteriores de reciclaje. (docplayer, 2017)
- La permeabilidad y selectividad de la membrana están correlacionadas negativamente, por lo que se necesita encontrar un óptimo intermedio de rendimiento. (CHILE, 2017)

- La estabilidad es un tema importante para este procedimiento, por lo que una solución para ello son soportes porosos como pueden ser el vidrio, la cerámica o el metal. (CHILE, 2017)

Las membranas se pueden clasificar en orgánicas e inorgánicas, destacando que las membranas orgánicas no son resistentes a altas temperaturas como las inorgánicas. Dependiendo del tipo de membrana será la aplicación a la cual estará enfocada. Las membranas orgánicas utilizadas comercialmente son las poliméricas, las cuales se utilizan para los siguientes procesos. (docplayer, 2017)

- Separación de CO₂ y CH₄ a alta presión del dióxido de carbono.
- Separación de CO₂ y H₂, como parte del proceso de post combustión. (CHILE, 2017) En este proceso tanto la presión del flujo de gas como la selectividad de la membrana deben ser bajas, por lo que requiere etapas posteriores de reciclaje haciendo (docplayer, 2017) el procedimiento no rentable.

En las membranas inorgánicas encontramos más opciones en el tipo de membrana como se detalla a continuación. (Tecnologías de Captura y Secuestro de CO₂, 2017)

- Membranas metálicas, utilizadas en la captura en pre combustión, separando CO₂ y H₂ mediante compuestos con aleaciones Pd. (zhscribd, 2017)
- Membranas microporosas, también utilizadas en la captura en pre combustión separando CO₂ y H₂. (zhscribd, 2017) Para este proceso la selectividad que se puede obtener actualmente no es suficiente para separar más de 99.99% de H₂. (CHILE, 2017)
- Membranas transportadoras de iones, las cuales pueden ser usadas tanto en captura en pre combustión como captura en oxi-combustión. (zhscribd, 2017) Para el primer caso se utilizan membranas conductoras de protones y para el segundo membranas conductoras de oxígeno. (Tecnologías de Captura y Secuestro de CO₂, 2017)

DESTILACIÓN CRIOGÉNICA:

La información sobre este sistema es básica, y consiste a grandes rasgos en una serie de etapas de compresión, enfriamiento y expansión, (zhscribd, 2017) en las cuales los componentes del gas se pueden separar en una columna de destilación. Esta tecnología se utiliza sobre todo para separar las impurezas de una corriente de CO_2 de alta pureza. Un esquema básico se muestra en la figura. (CHILE, 2017) Sobre su aplicación se puede decir que no se ha utilizado a la escala y condiciones, en términos de disponibilidad de costeo, que se necesita para los sistemas de (CHILE, 2017) captura de CO_2 .

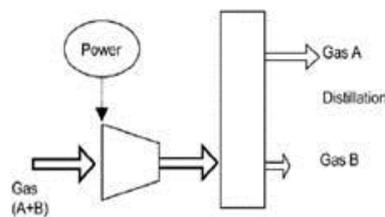


Figura 30. Esquema básico de la destilación criogénica

Fuente: (Tecnologías de Captura y Secuestro de CO_2 , s/f.).

Dentro de los procesos donde se puede utilizar este sistema encontramos:

- Separación de CO_2 y CO_4 en gas natural, donde se puede obtener entre 1 y 80% del CO_2 a alta presión (hasta 200 bar).
- Separación de CO_2 y H_2 en gas sintético. En este proceso se obtiene entre 20 y 40% con presiones entre 10 y 80 bar. (CHILE, 2017)
- Purificación de los gases de la combustión en el proceso de oxi-combustión, donde se pueden obtener concentraciones de CO_2 entre 75 y 90%. (CHILE, 2017)

En la figura se muestra una gráfica que describe los requerimientos de presión y temperatura para una destilación criogénica con recuperación del 90% del CO_2 . (docplayer, 2017)

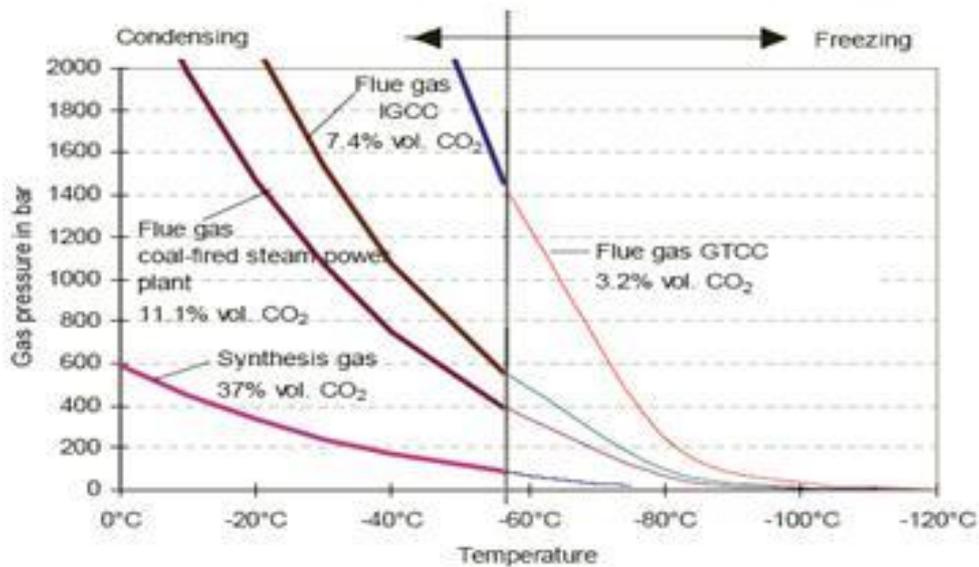


Figura 31. Requerimientos de P y T para destilación criogénica

Fuente: (Tecnologías de Captura y Secuestro de CO₂, s/f.).

3.1.7.1.3. CAPTURA EN OXI-COMBUSTIÓN

Este proceso se realiza durante la combustión y tiene un largo recorrido como tecnología aplicada. (zhscribd, 2017) Básicamente consiste en la utilización de oxígeno en lugar de aire para la combustión, de ahí que los gases de escape están compuestos principalmente de H₂O y CO₂, (CHILE, 2017) que puede separarse fácilmente del vapor de agua mediante condensación. (Tecnologías de Captura y Secuestro de CO₂, 2017) Se presenta un esquema básico de funcionamiento. Esta tecnología es utilizada en centrales de nueva generación con ciclos agua-vapor extremadamente crítico, así como también en Turbinas de Gas con o sin calderas (docplayer, 2017) de recuperación.

Oxyfuel (O_2/CO_2 recycle) combustion capture

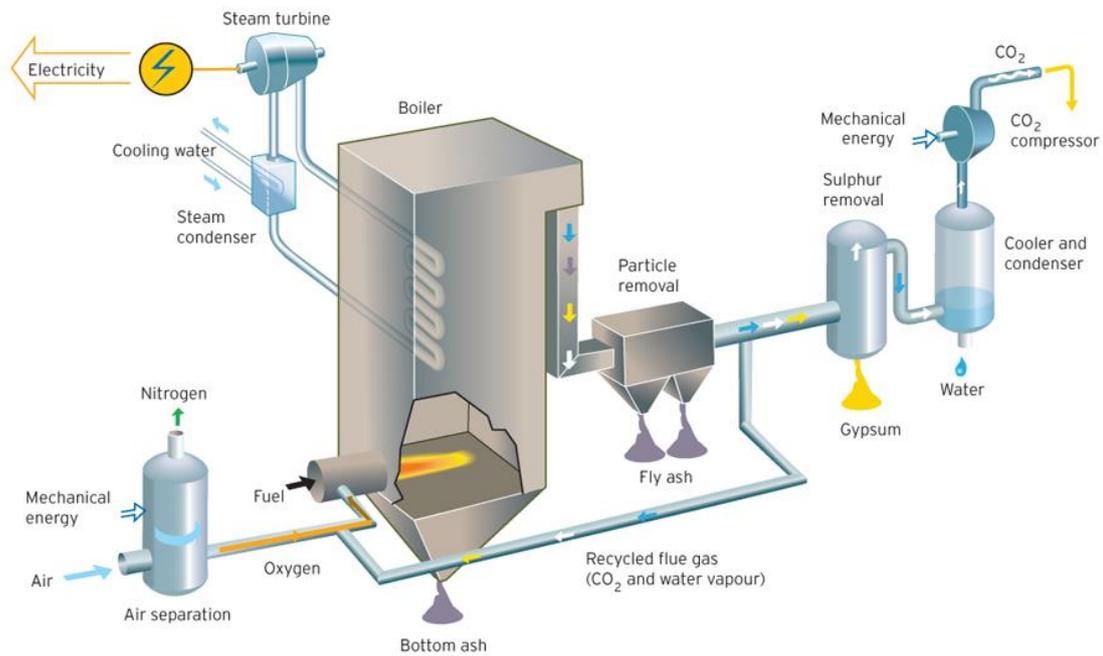


Figura 32. Diseño y esquema de operación de la oxi-combustión

Fuente: (Tecnologías de Captura y Secuestro de CO_2 , s/f.)

Combustión en oxígeno (oxi-combustión)

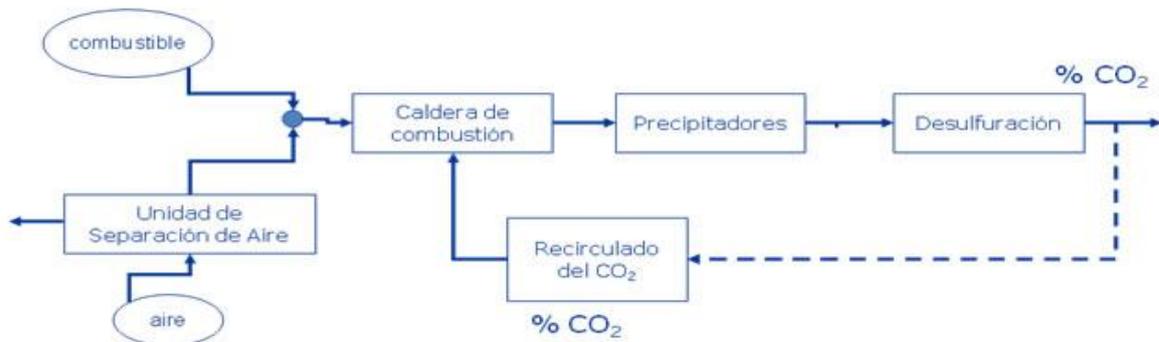


Figura 33. Diseño y esquema de operación de la oxi-combustión

Fuente: (Tecnologías de Captura y Secuestro de CO_2 , s/f.).

Al ser una tecnología que está actualmente desarrollándose, existen muchos proyectos de investigación en el tema buscando mejores desempeños y eficiencias de costos. (docplayer, 2017) En la siguiente tabla se presentan los aspectos más importantes a desarrollar en los diferentes aspectos de esta tecnología.

Aspectos a desarrollar en la calcificación/carbonización (zhscribd, 2017)

Tabla 3. Aspectos a desarrollar en la calcificación/carbonización

Aspecto del proceso	Áreas críticas de desarrollo
ASU (Unidad de separación de aire)	Destilación criogénica. Consumo de auxiliares. Membranas cerámicas que incrementan la eficiencia. (CHILE, 2017)
Combustión O ₂	Combustión, ignición, estabilidad de llama, temperaturas y perfiles de llama. Volumen del hogar. Absorción térmica por unidad de superficie. (CHILE, 2017)
Filosofía de operación	Grado de recirculación CO ₂ . Flexibilidad de operación. Integración de la ASU. (CHILE, 2017)
Emisiones	Disposición chorros de O ₂ puro, CO ₂ recirculado y transporte de carbón. La cinética del NO _x en llamas de carbón no es aplicable. Cinética del SO ₂ . (CHILE, 2017)
Materiales	Composición de las cenizas. Propiedades de operación a largo plazo y altas temperaturas. Ensayos de materiales avanzados ultra supercríticas. (docplayer, 2017)
	Potencial de corrosión para carbones con altos contenidos de cenizas, S, Cl.

Fuente: (Tecnologías de Captura y Secuestro de CO₂, 2017)

3.1.8. TRANSPORTE

Una vez capturado el CO₂ en el foco emisor y acondicionado a unos parámetros de salida adecuados en composición, presión y temperatura, entra en juego la etapa de transporte hasta su almacenamiento. (Plataforma Tecnológica Española del CO₂, 2017)

Tras la separación de gases producidos por la combustión, el CO₂ extraído se comprime hasta alcanzar unas condiciones similares a las del estado líquido.

Después se transporta mediante tuberías -similares a los gasoductos utilizados por la industria del gas natural- o mediante camiones cisterna o buques si la fuente de CO₂ está muy alejada del área de almacenamiento.

El despliegue generalizado de la tecnología CAC requerirá una red de tuberías. Actualmente existen en el mundo más de 5.000 kilómetros de tuberías que transportan CO₂. (Plataforma Tecnológica Española del CO₂, 2017)

3.1.9. ALMACENAMIENTO

Una vez que el CO₂ ha sido capturado y se ha transportado llega al punto de almacenamiento en unas condiciones similares al estado líquido, caracterizadas por su alta densidad frente al CO₂ gaseoso. Con el objeto de poder almacenarlo a esta alta densidad, el almacenamiento geológico se lleva a cabo en una formación geológica profunda (profundidad superior a 800 metros) y adecuada (roca muy porosa y permeable, denominada “roca almacén”, a su vez recubierta por una “roca sello” que impide su desplazamiento hacia la superficie;” garantizando su aislamiento, ya que la roca absorbe elCO₂ líquido en sus poros).



Figura 34. Almacenamiento de CO₂

Fuente: (Plataforma Tecnológica Española del CO₂, 2017).

3.1.9.1. TIPOS DE ALMACENAMIENTO

Los sitios geológicos más relevantes por abundancia y capacidad para almacenar CO₂ son:

- Acuíferos salinos profundos: rocas sedimentarias (Plataforma Tecnológica Española del CO₂, 2017) porosas y permeables que contienen agua salada, estructuralmente aislada y no aprovechable como recurso hídrico.
- Yacimientos de petróleo y gas: agotados o en vías de agotamiento, bien conocidos por su historial de exploración y explotación y con acceso mediante instalaciones (Plataforma Tecnológica Española del CO₂, 2017) existentes.
- Capas de carbón profundas: el carbón adsorbe gases en la superficie de poros y fracturas. (rbat, 2015) Se trata de aprovechar su elevado volumen de poros en capas de carbón no minables, compatibilizando el almacenamiento de CO₂ con el aprovechamiento del metano contenido (CHILE, 2017) en las capas.

3.1.10. CONDICIONES DE CONSERVACIÓN:

Proteger los cilindros de daños físicos, asegurar que estén localizados en áreas ventiladas y lejos de fuentes de calor.

Conservar los en posición vertical. Usar solo envases y equipo (tubería, válvulas, conectores, etc.) diseñados para almacenar y operar con líquidos a baja presión. (gas, 2015) Pueden ser almacenados al descubierto pero, en tal caso, deben ser protegidos contra la intemperie y humedad para prevenir deterioro. (qmlm, 2015)

El área de conservación debe encontrarse delimitada con el fin de evitar el paso de personal no autorizado que pueda manipular de forma incorrecta el producto.

Conservar lejos de áreas con mucho tráfico, de salidas de emergencia, áreas de procesamiento y producción, alejado de ascensores, salida de edificios, cuartos y (Torres, 2017) de pasillos principales que lleven a salidas. (estis, 2017)

El área debe ser protegida con el fin de prevenir ataques químicos o daños mecánicos como cortes o abrasión sobre la superficie del tanque.

No permitir que la temperatura en el área de almacenamiento exceda los 54° C (130° F) ni tampoco que entre en contacto con un sistema energizado eléctricamente.

Señalizar el área con letreros que indiquen “PROHIBIDO EL PASO A PERSONAL NO AUTORIZADO”, “NO FUMAR” y con avisos donde se indique el tipo de peligro representado por el producto.

3.1.11. USOS Y APLICACIONES

Una vez que el CO₂ ha sido capturado puede utilizarse como materia prima. No obstante, a día de hoy, el CO₂ capturable rebasa en varios órdenes de magnitud el mercado de usos del CO₂, por lo que dichos usos se contemplan como una solución complementaria a la del almacenamiento.

El dióxido de carbono es un gas industrial con un gran número de aplicaciones entre las que se incluyen la manufactura de productos químicos, su uso en sistemas de refrigeración, sistemas de soldadura, extinción de incendios, industrias alimentaria y papelera, horticultura y muchas otras aplicaciones a pequeña escala. También se emplean grandes cantidades de CO₂ en las explotaciones petrolíferas para aumentar la cantidad de crudo extraído (particularmente en EE.UU.) mediante la técnica EOR (Enhanced Oil Recovery). Por otra parte, están surgiendo una serie de novedosas aplicaciones del CO₂ como el empleo de este gas como fuente de carbono en la síntesis de polímeros y diversos productos químicos. (Plataforma Tecnológica Española del CO₂, 2017)

Otra aplicación potencial sería la producción de combustibles basados en carbono (fundamentalmente metanol). De una forma resumida, se trataría de obtener hidrógeno mediante fuentes de energía renovable o nuclear y emplear el CO₂ para conseguir un combustible que se adapte a la situación tecnológico-económica actual y que sirva como puente hacia la denominada “economía del hidrógeno.

Finalmente se está investigando con la captura de CO₂ en forma de biomasa mediante diversos organismos, tales como las microalgas. (Plataforma Tecnológica Española del CO₂, 2017)

3.1.12. MANIPULACIÓN DE CILINDROS DE CO₂

Para los cilindros de CO₂, también hay que tener en cuenta lo siguiente:

La transferencia no autorizada de dióxido de carbono de (Industriales, 2017) un cilindro de gas a otro constituye un riesgo de seguridad, por las siguientes razones:

Los cilindros que se llenen deben cumplir con ciertos requisitos de forma fiable, como es la presión que puedan soportar. En general, sólo personal debidamente capacitado de una instalación autorizada de llenado puede determinar si un cilindro es adecuado para su uso.

Además, es absolutamente obligatorio que el contenido debe ser monitorizado y definido por un pesaje durante el llenado. De acuerdo con el código de recipientes a presión, un cilindro puede contener un máximo de 0,75 kg de CO₂ por litro de volumen del cilindro. Este factor de relleno garantiza que la presión en el cilindro de CO₂ no se llega a la de prueba de presión de 250 bares por debajo de una temperatura de 65 ° C. (Industriales, 2017) Si el factor de llenado se excede, la presión dentro del cilindro aumenta considerablemente, incluso con un ligero aumento de la temperatura. Un cilindro llenado en exceso de CO₂ puede estallar sin más que la exposición a la luz solar. Es altamente no recomendable la transferencia de dióxido de carbono de un cilindro a otro.

La presión en un cilindro de CO₂ depende exclusivamente de la temperatura. A 20 ° C, por ejemplo, que es de 57 bar. Incluso un cilindro de CO₂ casi vacío se mantiene en 57 bares a 20° C, siempre y cuando contenga la fase líquida. (Industriales, 2017) Esto significa que el contenido de un cilindro de CO₂ no se puede determinar mediante la medición de su presión, sólo por su peso. Los cilindros de CO₂ son generalmente de acero al carbono. Este material sufre una corrosión peligrosa por el ácido carbónico (CO₂ disuelto en H₂O) con la pérdida de espesor en la pared del cilindro. Por lo tanto los cilindros de CO₂ deben ser protegidos del agua o fluidos acuosos (cerveza, limonada, etc.). (Industriales, 2017) En la planta de llenado, las botellas de CO₂ deben ser revisadas, antes de su llenado, de la presencia del agua, y si es

necesario se deben secar. Pero los usuarios también deben asegurarse de que los líquidos no entran en los cilindros de CO₂. (Industriales, 2017) Una medida de seguridad posible es la instalación de una válvula anti retorno. (openclima, 2017)

Hay otra precaución de seguridad muy simple, que puede mantener la humedad fuera de los cilindros de CO₂: Es que se debería vaciar sólo hasta una presión residual de alrededor de 5 bares, a continuación, mantener las válvulas del cilindro cerradas. Esto evita que el aire húmedo entre en el cilindro.

Las válvulas de CO₂ de los cilindros deben tener un dispositivo de seguridad de sobrepresión en forma de una cápsula de seguridad que se sujeta a la válvula con una tuerca de acoplamiento.

Para evitar la descarga involuntaria y peligrosa de CO₂, este dispositivo no debe ser alterado.

3.1.13. PRECAUCIONES PARA LA SALUD

La inhalación de CO₂ en forma de concentrado es peligrosa para los humanos. El CO₂ por lo tanto, no debe estar presente en altas concentraciones en el aire. (Industriales, 2017) Conviene considerar las siguientes precauciones de seguridad:

- Mantener los sistemas de gas CO₂. Selle todas las fugas inmediatamente.
- Cualquier descarga de CO₂ de una instalación del funcionamiento de una válvula de seguridad debe estar venteada al aire libre.
- Los locales que contienen los sistemas de CO₂ deben tener una ventilación efectiva.
- Las salas en las que grandes cantidades de CO₂ se han recogido, únicamente se debe entrar con un aparato de respiración autónomo. (Industriales, 2017) Esto se aplica incluso a las personas que se han sido afectadas y requieren con urgencia asistencia. (Industriales, 2017)
- Si una repentina emisión de CO₂ se produce, dar prioridad a la evacuación inmediata de las zonas bajas (pozos, sótanos), donde el peligro de la acumulación de CO₂ es especialmente grave. (Industriales, 2017)

- Los sistemas fijos de extinción de CO₂ deben ser usados, para el uso de pruebas o real, cuando no hay nadie presente en el área afectada. Si el dióxido de carbono puede llegar a otras salas a través de conductos, aberturas en las paredes, ventilación o sistemas de aire acondicionado, estos también (Industriales, 2017) se consideran parte de la zona amenazada.

3.1.14. EFECTOS FISIOLÓGICOS

Como gas, el dióxido de carbono es incoloro y prácticamente inodoro e insípido. Por tanto, es prácticamente imposible de detectar con los sentidos humanos.

El dióxido de carbono es considerado no tóxico. (Industriales, 2017) No es una sustancia peligrosa según se define en la Directiva de Sustancias y Preparados Peligrosos. El aire contiene aproximadamente 0,03 vol. % de dióxido de carbono. (coursehero, 2017) Esta concentración es esencial para la vida, ya que se estimula el centro respiratorio y controla el volumen y velocidad a la que respiramos. (Industriales, 2017) A altas (Industriales, 2017) concentraciones, el CO₂ puede ser perjudicial. Cuando el aire que respiramos contiene entre el 3 -. 5 vol. % de CO₂, se produce dolor de cabeza, trastornos respiratorios y malestar. Del (cervecero, 2017) 8 -. 10% en volumen, calambres, inconsciencia, paro respiratorio y puede ocurrir la muerte. En este punto, el contenido de oxígeno del aire es todavía 19% vol., (Industriales, 2017) que sigue siendo suficiente. (linguee, 2017) El efecto fisiológicamente perjudicial de estas altas concentraciones de CO₂, por lo tanto, no es resultado de la falta de oxígeno, sino de los efectos directos (Industriales, 2017) del dióxido de carbono. La concentración máxima de trabajo es de 0,5% vol. de CO₂.



Figura 35. Aviso peligro de asfixia

Fuente: (Linde Group, 2017).

El dióxido de carbono también puede ser peligroso para los seres humanos por culpa del frío. (Industriales, 2017) Cuando está como CO₂ licuado, o CO₂ ha sido enfriado por la expansión, al entra en contacto con la piel en forma de aerosol o nieve, puede producir dolorosas „quemaduras criogénicas. “ Tejidos sensibles como la córnea están particularmente en riesgo. Grandes áreas quemadas por congelación puede causar la muerte. (Industriales, 2017)

3.2.FLUIDO SUPERCRÍTICO

3.2.1. CONCEPTO

Un fluido supercrítico (FSC) es una sustancia que se encuentra en unas condiciones operativas de presión y temperatura (mx, 2015) superiores a las de su punto crítico.

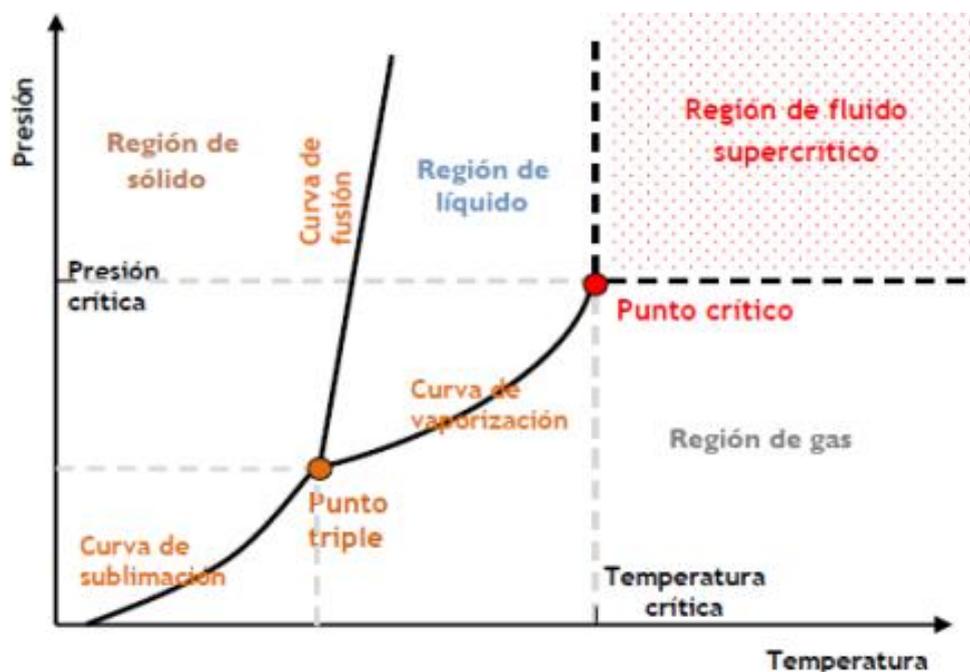


Figura 36. Fluido supercrítico

Fuente: (Lidia con la Química, 2015).

- Temperatura crítica: es aquella a partir de la cual una sustancia no puede existir en fase líquida, independientemente de la presión. (Castaños, 2017)
- Presión crítica: máxima presión a la cual un líquido puede ser convertido en un gas por incremento de la temperatura. (Castaños, 2017)

3.2.2. PROPIEDADES

Los fluidos supercríticos presentan propiedades intermedias entre un gas y un líquido: densidad elevada (próxima a la del líquido), baja viscosidad (Castaños, 2017) (cercana a la del gas) y un coeficiente de difusión superior al del líquido. (Castaños, 2017) Estas características favorecen su penetración en diferentes matrices y la solubilización de los solutos.

- Su densidad es de 0'2 a 0'5 g/cm³. Es un valor elevado, próximo al del estado líquido, que aumenta rápidamente con la presión (lo que aumenta su capacidad disolvente).
- Los coeficientes de difusión son de 10 a 100 veces superiores a los del líquido.
- Las viscosidades son de 10 a 100 veces menores que las del líquido y comparables a las de los gases (permite tasas de flujo más elevadas, aumentando la velocidad (Castaños, 2017) de la separación). (usfq, 2015)

3.2.3. SOLUBILIDAD DE LAS SUSTANCIAS EN EL CO₂ (FSC)

La solubilidad es una medida de la capacidad de disolverse de una determinada sustancia (solute) en un determinado (fqi4s1, 2009) medio (disolvente). Implícitamente se corresponde con la máxima cantidad de soluto que se puede disolver en una cantidad determinada de disolvente, a determinadas condiciones de Temperatura, (recursos, 2014) e incluso Presión (en caso de un soluto gaseoso).

3.2.4. ENLACES

Enlace químico, fuerza entre los átomos que los mantiene unidos en las moléculas. Cuando dos o más átomos se acercan lo suficiente, se puede producir una fuerza de atracción entre los electrones de los átomos individuales y el núcleo de otro u (democrito, 2017) otros átomos. Si esta fuerza es lo suficientemente grande para mantener unidos los átomos, se dice que se ha formado un enlace químico. Todos los enlaces químicos (colegios, 2015) resultan de la atracción simultánea de uno o más electrones por más de un núcleo. (vago, 2015)

Cuando los electrones son compartidos simétricamente, el enlace puede ser metálico o covalente apolar; si son compartidos asimétricamente, el enlace es covalente (ensayos, 2015) polar; la transferencia de electrones proporciona enlace iónico. (vago, 2015) Generalmente, la tendencia a una distribución desigual de los electrones entre un par de átomos aumenta cuanto más separados están en la tabla periódica. (vago, 2015)

Figura 37. Enlaces polares



Fuente: (El físico Loco, 2017).

3.2.5. MOLÉCULAS NO POLARES

Las moléculas apolares son aquellas moléculas que se producen por la unión entre átomos que poseen electronegatividades iguales, por lo que (answers a. , 2015) las fuerzas con las que los átomos que conforman la molécula atraen los electrones del enlace son iguales, produciéndose así la anulación de dichas fuerzas. (solar, 2015) Un ejemplo de una molécula apolar es la molécula de Oxígeno (O₂). (answers a. , 2015) En esta molécula cada átomo de Oxígeno atrae a los electrones compartidos hacia sí mismo con una misma intensidad pero en sentidos opuestos, por lo que se anulan (academic, 2017) las fuerzas de atracción y la molécula no se convierte en un dipolo. (afdm, 2012)

3.2.6. DIPOLOS

Son las líneas de campo eléctrico para dos cargas puntuales de igual magnitud pero de signos opuestos son conocidas como dipolo eléctrico, es un sistema (scribd, 2017) de dos cargas de signo opuesto e igual magnitud cercanas entre sí. (wikipedia, 2015)

Aunque el dióxido de carbono tiene enlaces polares, es una molécula no polar ya que los dipolos se anulan mutuamente.

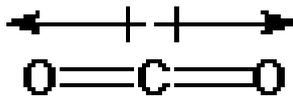


Figura 38. Enlace químico CO₂

Fuente: (The University of Scranton, s/f).

Debido a esta naturaleza no polar, el dióxido de carbono disolverá moléculas no polares más pequeñas como hidrocarburos con menos de 20 átomos de carbono y otras (Green Chemistry, 2017) moléculas orgánicas como aldehídos, ésteres y cetonas, pero no podrá disolver moléculas más grandes como aceites, ceras, grasas, polímeros, proteínas y moléculas (Green Chemistry, 2017) polares. Sin embargo, mediante el empleo de un dispersante, se puede aumentar la solubilidad de muchas sustancias en el CO₂.

3.2.7. DISPERSANTES

Los dispersantes son sustancias que aumentan la solubilidad de una sustancia en otra. Los jabones y detergentes son dispersantes comunes que permiten que emulsionen sustancias no polares, como el aceite y la grasa, y sean lavados por el agua, que es un disolvente polar. De nuestra experiencia diaria, sabemos que el agua y el aceite no se mezclan, debido a su insolubilidad del uno en el otro. (Green Chemistry, 2017) Son insolubles porque el aceite es no polar, mientras que el agua es polar, y la regla de la solubilidad es que "lo igual disuelve a lo igual". En otras palabras, los disolventes polares disuelven a los solutos polares, y los disolventes no polares disuelven a los solutos no polares. Un dispersante es una molécula que contiene una parte polar y otra no polar. (ensayos, 2015) Al tener ambos grupos dentro de la misma molécula, puede interactuar tanto con las moléculas polares como con las no polares, y por consiguiente aumenta la solubilidad entre dos sustancias, que de otra forma serían insolubles. (Cann, 2017)

3.2.8. MICELAS

En el agua, las moléculas del dispersante tienden a agruparse dando lugar a una geometría esférica con sus terminaciones no polares en el interior de la (Green Chemistry, 2017) esfera, y las terminaciones polares en el exterior. A estas agrupaciones se les llaman micelas, y un ejemplo de la misma se muestra en la Figura.

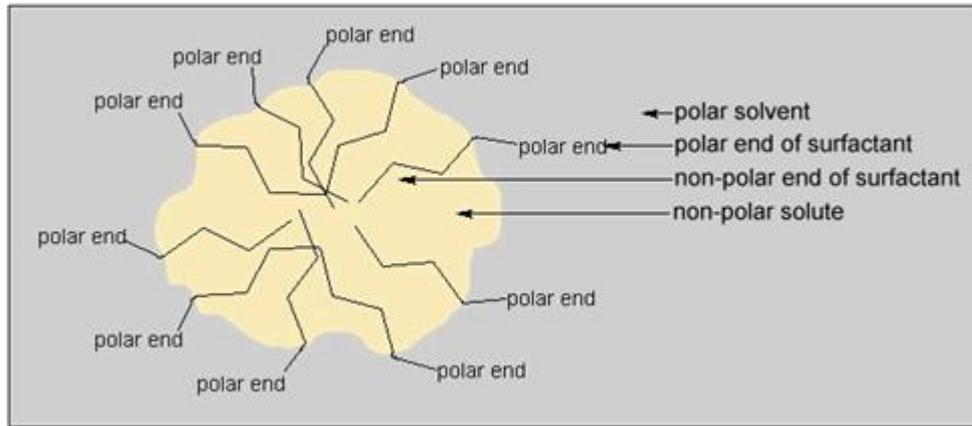


Figura 39. Estructura micelar de un dispersante en un disolvente polar (impreso con permiso de la Sociedad Americana de Química)

Fuente: (The University of Scranton, s/f).

3.2.9. DISPERSANTE PARA EL DIÓXIDO DE CARBONO LÍQUIDO O FLUIDO SUPERCRÍTICO

Un dispersante para el CO₂ líquido o fluido supercrítico tendrá que tener ambas funciones, (leontols, 2015) un grupo CO₂-fílico (con tendencia al CO₂) y otro CO₂-fóbico. Un descubrimiento por el cual aquellos polímeros, como los que se muestran en la figura, son solubles en el CO₂ líquido y fluido supercrítico. Este fluorpolímero es soluble en el CO₂ debido a sus débiles fuerzas de atracción de van der Waals que existen entre el CO₂ y el extremo fluorocarbonado del polímero.

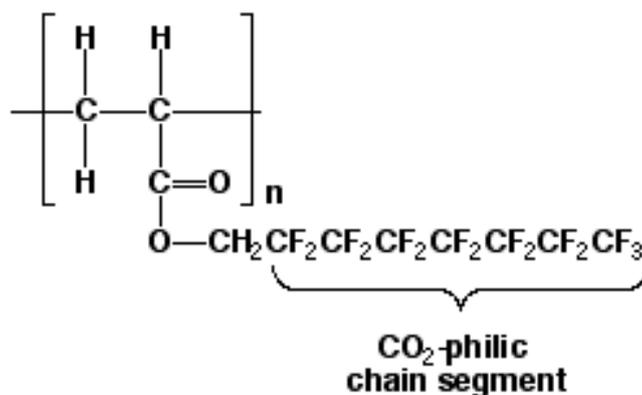


Figura 40. Polímero con un extremo fluorocarbonado CO₂-fílico

Fuente: (The University of Scranton, s/f).

Igual que los dispersantes para el agua forman estructuras micelares, así lo hacen los dispersantes para el CO₂. La Figura muestra esta estructura micelar de un dispersante para el

CO₂, con la fracción CO₂-fílica en la parte exterior de la micela. Al igual que los detergentes actúan como dispersantes para la limpieza, usando como disolvente el agua, los dispersantes para el CO₂ pueden aumentar la solubilidad de las grasas, cera y aceites en él. (myslide, 2015)

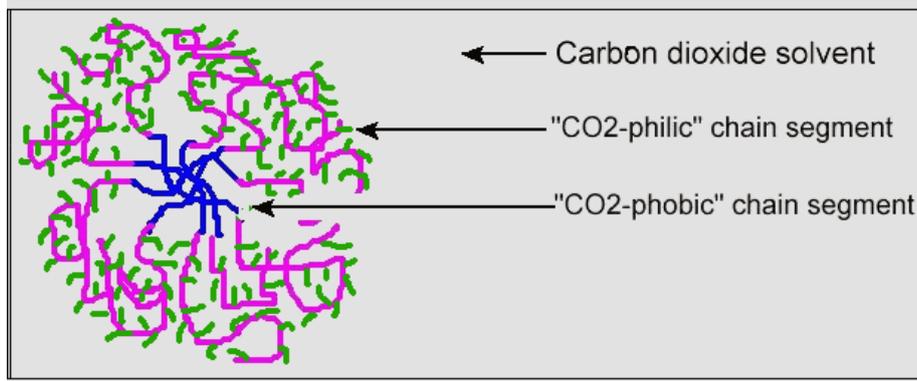


Figura 41. Estructura micelar del dispersante para el CO₂ (impreso bajo autorización de la Sociedad Americana de Química)

Fuente: (The University of Scranton, s/f).

3.2.10. FUERZAS DE VAN DER WAALS

Las fuerzas de atracción intermoleculares se denominan fuerzas de Van der Waals. (Mila, 2011)

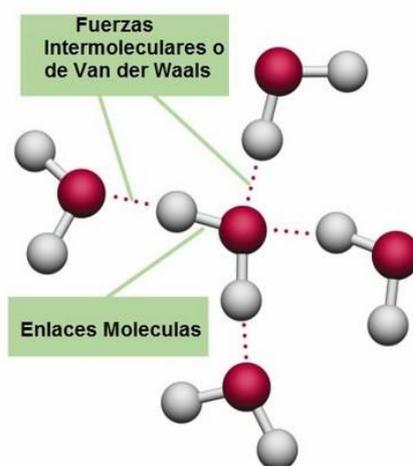


Figura 42. Fuerza de van der waals

Fuente: (Área Ciencias, s/f).

Entre las fuerzas de Van der Waals se destacan:

3.2.10.1. FUERZAS DE LONDON:

En las moléculas no polares puede producirse transitoriamente un desplazamiento relativo de los electrones originando un polo positivo y otro negativo (dipolo transitorio) que determinan una atracción entre dichas moléculas. (química f. , 2015) (El polo positivo de una molécula atrae al polo negativo de la otra, y viceversa). Estas fuerzas de atracción son muy débiles y se denominan fuerzas de London. (scribd e. , 2017)

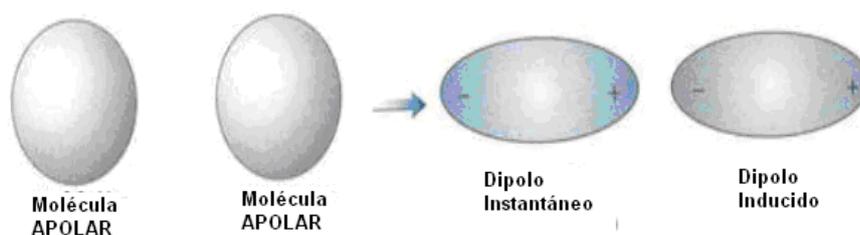


Figura 43. Fuerza de London

Fuente: (Área Ciencias, s/f).

3.2.10.2. FUERZAS DIPOLO - DIPOLO INDUCIDO:

En ciertas ocasiones, una molécula polar (dipolo), al estar próxima a otra no polar, induce en ésta un dipolo transitorio, produciendo (Español, 2017) una fuerza de atracción intermolecular llamada dipolo-dipolo inducido. El agua cuya molécula es un dipolo, produce una pequeña polarización en la molécula no polar de OXÍGENO, la cual se transforma en un dipolo inducido.

Esto hace que el OXÍGENO y el DIÓXIDO DE CARBONO, que son no polares presenten cierta solubilidad en solventes polares, como el agua. (scribd e. , 2017)

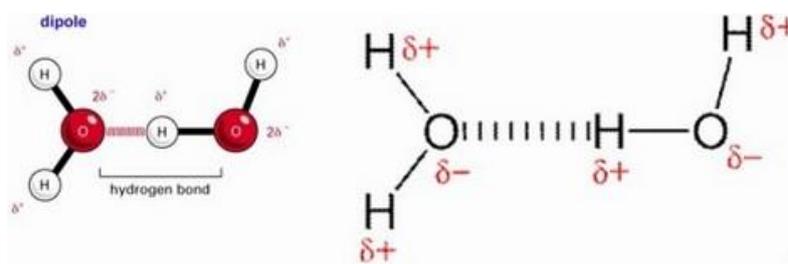


Figura 44. Fuerzas dipolo - dipolo inducido

Fuente: (Área Ciencias, s/f).

3.2.10.3. FUERZAS DIPOLO - DIPOLO:

Cuando dos moléculas polares (dipolo) se aproximan, se produce una atracción entre el polo positivo de una de ellas y el negativo de la (ciencias, 2016)otra.

Esta fuerza de atracción entre dos dipolos es tanto más intensa cuanto mayor es la polarización de dichas moléculas polares. Estas fuerzas de atracción, llamadas dipolo-dipolo, se observan en las moléculas covalentes polares, como el sulfuro de hidrógeno H_2S , el metanol CH_3OH , la glucosa (brainli, 2015) $C_6H_{12}O_6$, etc.

Estas sustancias de elevada polaridad se disuelven en solventes polares tales como el agua. (brainli, 2015)Entre las fuerzas dipolo-dipolo tiene particular importancia la UNIÓN PUENTE DE HIDRÓGENO. (quimica b. , 2016) En algunas sustancias que contienen HIDRÓGENO, como fluoruro de hidrógeno HF , H_2O , y amoníaco NH_3 , se observa una forma de unión entre sus moléculas, denominada (brainli, 2015) unión puente de hidrógeno.

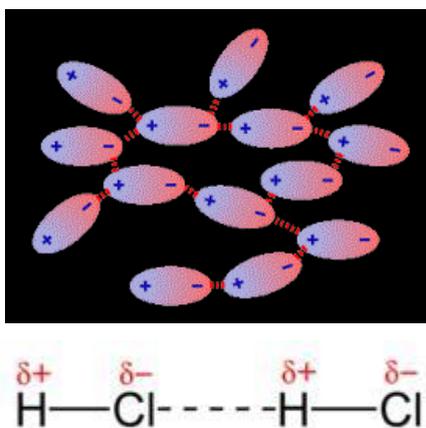


Figura 45. Fuerzas dipolo - dipolo

Fuente: (Área Ciencias, s/f).

CAPÍTULO IV

4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE LABORATORIO PARA TINTURA DE LANA UTILIZANDO EL DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) LIQUIDO COMO SOLVENTE

En esta parte nos ocuparemos del diseño del equipo para tener un funcionamiento confiable y seguro. Este equipo tiene como propósito realizar pruebas de tintura de lana utilizando CO₂ solido que con temperatura aplicada a los contenedores de muestras, genera inmediatamente la evaporación del CO₂ volviéndolo líquido como consecuencia de la presión interna, generada por el propio CO₂, los contenedores de muestras tendrán que soportar sin problema alguno la subida de presión por las características técnicas que posea el material a utilizar, por esta razón se ha proyectado este equipo tomando en cuenta especificaciones de los fabricantes de los materiales a utilizar.

El equipo de laboratorio para tintura de lana se diseñó para realizar pruebas de tintura con otro solvente que no sea agua, de las experiencias investigadas sobre el tema de, dióxido de carbono CO₂ líquido, me he instruido con resultado aceptable que se han obtenido en procesos de lavado de ropa en seco.

La realización de este equipo de laboratorio para tintura de lana utilizando el dióxido de carbono CO₂ líquido permitirá el ahorro de agua y dar un punto de partida para nuevas investigaciones, que puedan generar dentro del campo textil

4.1. DISEÑO DEL EQUIPO

El diseño del equipo de laboratorio fue primeramente ideado en unos esquemas que sirvieron como base para la elaboración de los planos finales, que contiene un conjunto de componentes y piezas individuales que serán modelados en papel con ciertas materiales, dimensiones y tolerancias adecuadas para este tipo de pruebas a realizar.

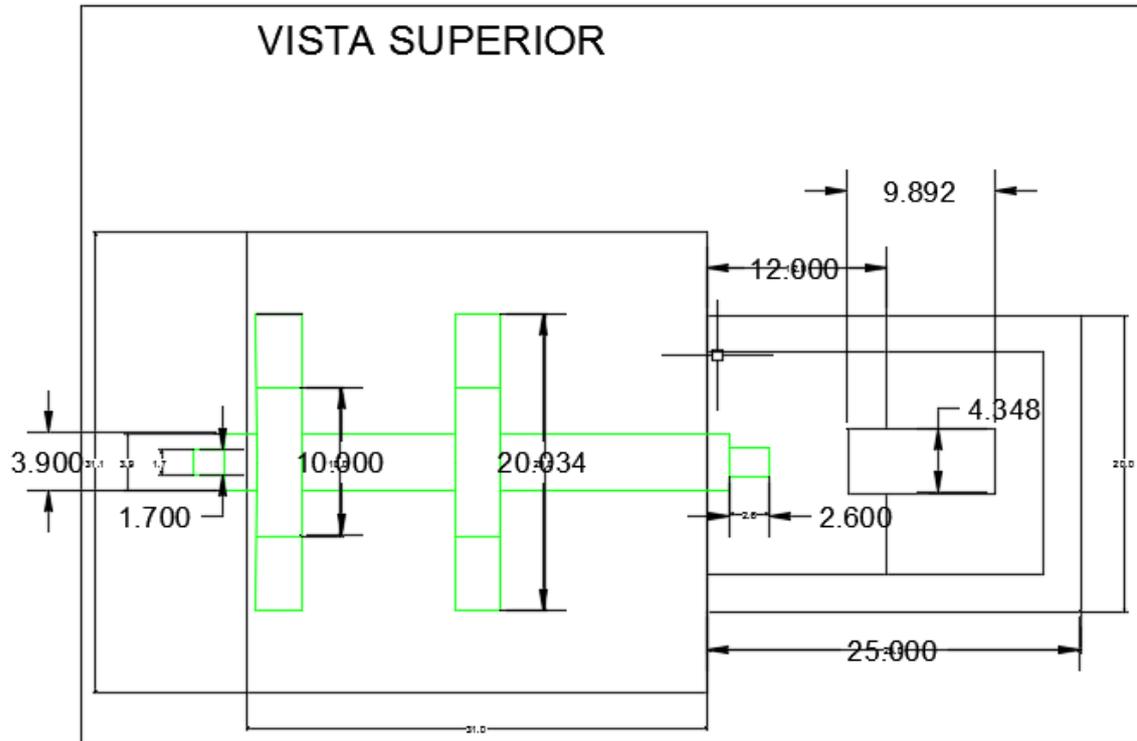


Figura 46: Vista Superior

Fuente: (Arias, 2017).

Con el anterior diseño realizado la primera experiencia, el equipo construido contaba de piezas hidráulicas que eran resistente a la presión y se pudo hermetizar por completo el circuito que se diseñó , pero el problema principal fue la subida de la presión dentro del circuito y el ingreso de CO₂ del tanque de almacenaje, el siguiente problema de diseño se presentó al hacer funcionar el circuito hermético, al llegar a los 30 bares o 435 PSI, de presión la bomba encargada de darle movimiento y presión no soporto la presión y el retenedor, que es uno de los componentes de fabricación de la bomba no soporto la presión y deajo fugar el gas contenido, dejando mi proyecto en un punto muerto de la investigación y dejándome con un diseño que no dio los resultado , que eran la de contener el gas y posteriores pruebas con tintura de lana. Con este nuevo diseño y las anteriores experiencias espero hermetizar por completo el gas y realizar las pruebas que es el objetivo de esta investigación.

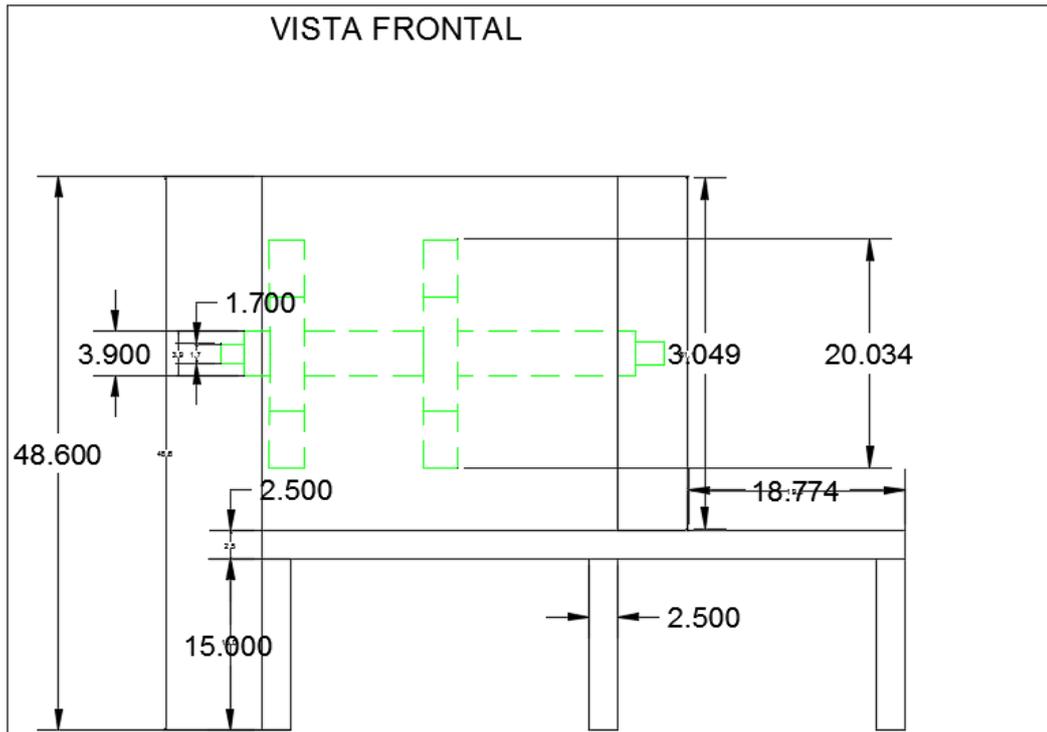


Figura 47: Vista Frontal

Fuente: (Arias, 2017).

El diseño del equipo de laboratorio para tinción de lana con dióxido de carbono (CO_2) líquido, progresa con el avance de investigación que se fue realizando:

El diseño de la estructura principal consta de las siguientes partes que se las representa en los planos que constan de las siguientes partes y se describe de a continuación:

- Contenedor principal (tanque)
- Contenedor de muestra, colorante y auxiliares
- Medio de medida de temperatura
- Medio de movimiento de los contenedores dióxido de carbono CO_2 líquido, del equipo de laboratorio.
- Válvulas de control
- Sistema de calentamiento del baño
- Soporte del equipo de laboratorio. (Bancada)

Debo tomar en cuenta que las dimensiones del equipo de laboratorio dependen de las dimensiones de los contenedores de muestra.

4.1.1. CONTENEDOR PRINCIPAL (TANQUE)

El contenedor principal que de ahora en adelante lo llamare “tanque” alojara el fluido que se puede utilizar, en mi caso utilizare agua por ser fácil de conseguir, y por ser pruebas de laboratorio, de lo contrario utilizar otro tipo de fluido que ayude a subir la temperatura a los contenedores de muestras. Consta de con una tapa para evitar la accidentes con el agua en ebullición y de un seguro. Las dimensiones de tanque son 31 cm de largo, 31 cm de ancho y 31 cm. de alto, estas dimensiones están dadas por las dimensiones que se necesita para que el contenedor de muestras puedas girar libremente dentro del tanque, y darle movimiento conste, la capacidad total del tanque es de $29,791 \text{ cm}^3$, transformados a ml da 29,791 ml, esta capacidad no se bebe utilizar al máximo porque el tanque no estará completamente hermético y se pueden producir fugas del fluido que contenga el tanque, lo más recomendables es que se lo llene por debajo de la mitad de su capacidad.

El diseño del tanque será en acero inoxidable aleado al cromo y níquel, muy resistente a la corrosión y del agua , ácidos y soluciones alcalinas se la puede encontrar desde 0.4 mm hasta 3 mm de espesor el espesor que elegiremos es el de 1 mm en el del tanque encontraremos alojado el termómetro y el eje principal donde estarán asentados los acoples que sostendrán a los contenedores de muestras, este tanque no se podrá llenar a su capacidad máxima porque podemos causar accidentes con el fluido al momento de elevar la temperatura, no olvidemos que esta es un equipo experimental que está siendo diseñado para pruebas de laboratorio. Consta de con una tapa para evitar la accidentes con el agua en ebullición.

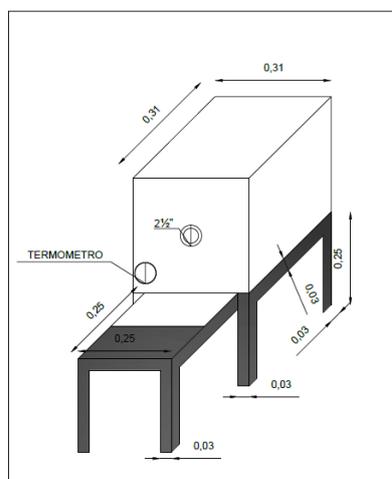


Figura 48. Contenedor principal

Fuente: (Arias, 2017).

4.1.2. CONTENEDOR DE MUESTRA, COLORANTE Y AUXILIARES

4.1.2.1. CONTENEDOR

Los contenedores de muestras colorantes y auxiliares están diseñados en tubo de acero inoxidable 304 L cedula 40 con costura, con un largo de 15 cm de alto y de un diámetro de 2 pulgadas, una pared de 4 mm de espesor, según la tabla de características técnicas este contenedor a fabricar soportara 8.720 psi o 601.38 bares de presión, que es su punto máximo de ruptura, esto quiere decir que producirán fisuras y dejara salir en gas contenido en su interior, nuestras pruebas llegaran a una presión interna de 365 bares o 5292.5 psi iniciando con una cantidad de CO₂ solido de entre 122 a 125 gramos, con una temperatura de líquido en el tanque de 20 °C que con la temperatura la presión interna de contenedor de muestras se eleva de inmediato a 73 bares o a 1,058.5 psi, la soldadura se la realiza con suelda tig adecuada para este tipo de materiales, para el fondo de este contenedor se empleara una lámina de 4 mm de espesor que se la ingresara a presión, cortada con un diámetro un poca mayor a las 2 pulgadas que tiene de diámetro el tubo a comprar y que al momento de la suelda llegue a 7 mm aproximadamente. Será con un roscado interior de 1.4 mm para colocar la tapa y se hermetice por completo.

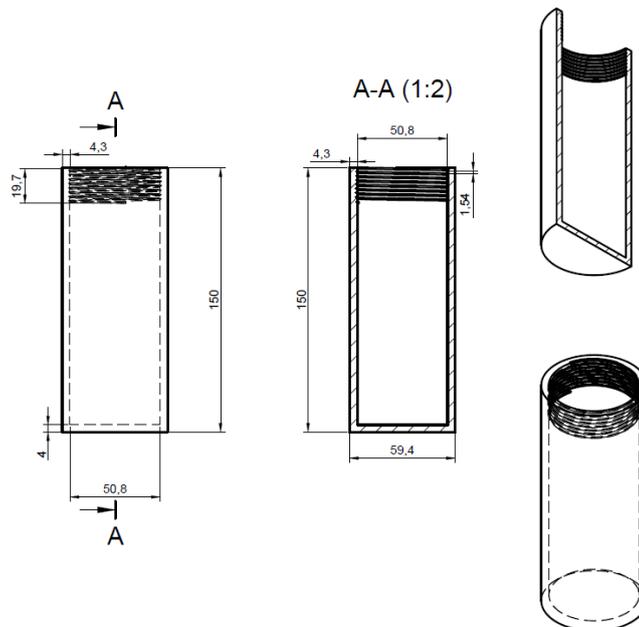


Figura 49. Contenedor de muestras, colorante y auxiliar

Fuente: (Arias, 2017).

4.1.2.2.TAPA

La tapa se la construirá en un eje, de acero inoxidable de $2 \frac{1}{4}$ de pulgada de diámetro y un largo de 3.3 cm alto, de donde se desbastara de la siguiente manera, en la parte superior se realizara un hexágono para poder ajustar la tapa en el tubo y una parte intermedia de 6 mm de alto por 5mm de ancho, en el interior del cual se hará un biselado de 3 mm dejando 2 mm libres, dentro del biselado alojare un empaque o un oring para mejorar el cierre hermético del contenedor, la parte restante del eje se realizara el roscado exterior de 1.4 mm de distancia, la parte interior del eje que se dará forma para la tapa tendrá una reducción diseñada para una unión macho de $\frac{1}{2}$ pulgada que pasara por la parte central superior de la tapa.

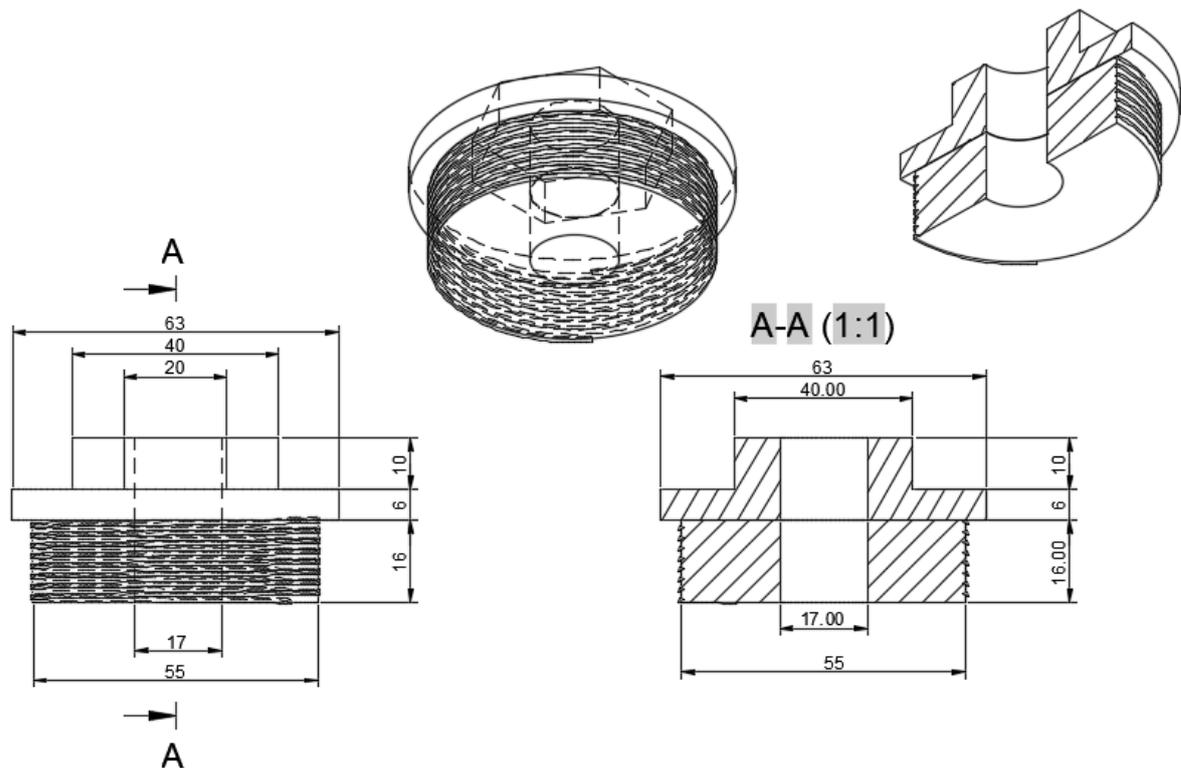


Figura 50. Esquema de la tapa

Fuente: (Arias, 2017).

4.1.3. MEDIO DE MOVIMIENTO DE LOS CONTENEDORES DIÓXIDO DE CARBONO CO₂ LÍQUIDO, DEL EQUIPO DE LABORATORIO.

Para el movimiento en la tintura de lana se debe tomar en cuenta el movimiento del baño para evitar que la lana se enfieltre, para esto se ha diseñado, un medio de movimiento de los contenedores que constan de la siguiente parte, dos poleas una de 2 ½ pulgadas u una 5 ½ pulgadas y un banda que conectara a un motor reductor de 12 W de 24V dc con 6000 rpm que se reducen a 40 rpm en la salida.

El sistema de transmisión de movimiento va aumentar los rpm por lo que el número de revoluciones de nuestro eje que soporta los contenedores está dado por la siguiente expresión

$$\text{Rpm} = 40 \times (5 \frac{1}{2} / 2 \frac{1}{2})$$

$$\text{Rpm} = 88$$

4.1.4. BANDAS

La longitud de la banda calculare con la siguiente expresión:

$$L = 2e + 1,57 \times (d + D) + \frac{(D - d)^2}{4e}$$

Teniendo en cuenta que la polea motriz es (d) es de 5 ½ y (D) la polea movida es de 2 ½ pulgadas, la distancia entre ejes es de 11 cm entonces reemplazamos los valores.

$$L = 2(4.33) + 1,57 \times (5 \frac{1}{2} + 2 \frac{1}{2}) + ((2 \frac{1}{2} - 5 \frac{1}{2})^2 / 4(4.33))$$

$$L = 20.70 \text{ pulgadas} \approx 21 \text{ pulgadas} \approx 52.58 \text{ cm}$$

4.1.5. SOPORTE DEL EQUIPO DE LABORATORIO

La bancada de este equipo para laboratorio s lo construyo en ángulo de hierro negro donde soportara todos componentes del equipo, tiene las siguientes dimensiones, 31,5 largo, 31,5 de ancho y de 15 cm de alto, como se puede mirar he puesto una diferencia de 5mm con respecto a al tanque que contiene el líquido esto es para que se asiente el tanque sobre los ángulos y quede fijada el tanque. Adicional a esto se pone una bancada para sostener y para asegurar el

motor el motor en un tubo me 1 ¼ de pulgada la bancada para el motor tiene las siguientes dimensiones 25 cm de largo, 20 de ancho, y 15 de alto.

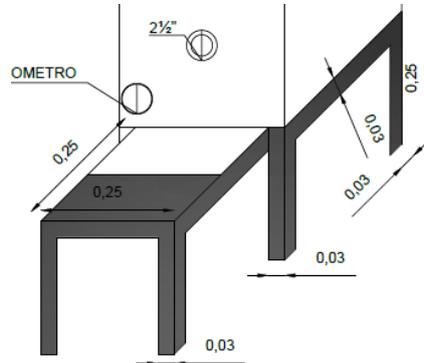


Figura 51. Bancada

Fuente: (Arias, 2017).

4.2.CONSTRUCCIÓN

Para la construcción de equipo de laboratorio se recurrió a los materiales que se puede conseguir en nuestro medio, como hacer uso de un torno para las piezas pequeñas como los acoples del motor reductor y darle en diámetro a los orificios de las poleas, suelda tig para hacer el tanque y soldar lo necesario, también se utilizó la doblado y fresadora. Se utilizó algunos objetos pequeños de oficina para hacer corrección durante la construcción en los esquemas del equipo.

Para la construcción del equipo de laboratorio para tintura se lo realiza, tomando en cuenta las medidas requeridas por los contenedores de muestras, que son la estructura principal del equipo a construir, con un medidor de temperatura.

4.2.1. CONTENEDOR PRINCIPAL (TANQUE)

Para elaboración del equipo de laboratorio se toma en cuenta las medidas del diseño y se procede a corta parte de una plancha entera con dimensión de 1220 x 2440 de inoxidable de 1 mm de espesor, como este tanque a construir es pequeño es suficiente y adecuado armarlo con piezas para las partes de los lados , que tengan nuestras dimensiones y espesor de 1 mm,

las piezas ya cortadas con los dimensiones de nuestro esquema, se procede a hacer pasar por la dobladora con la distancias que se requiere, una vez doblado y verificado la distancia se procede al armado del tanque con la suelda tig, adecuada para este tipo material, esta suelda utiliza electrodos E308L para soldadura de acero inoxidable por dar una rematado final similar al brillo de la plancha de inoxidable cuando se pule la soldadura, este tipo de soldadura es como estar soldando con un cautin con la diferencia que esto se lo utiliza para uso industrial y desprende un destello que ciego y es duradero, esto lo hace una persona especializada en este tipo de soldaduras. En este equipo no se realizó dobleces además de los realizados en el tanque, por tratarse de un equipo experimental sujeta a cambios.



Figura 52. Tanque

Fuente: (Arias, 2017).

La estructura principal del equipo se realizó dependiendo de las medidas de los contenedores de muestras, este tanque se construyó semejante a un cubo, en la parte lateral izquierda se colocó el termómetro para poder mirar y medir la temperatura a la que se encuentra el agua que ayuda a elevar la temperatura, también sobresale un eje unos 4,1 mm donde va conectada la polea al motor, que dará movimiento a los contenedores de muestras que se encuentran en la parte interna del tanque



Figura 53. Contenedor del agua

Fuente: (Arias, 2017).

4.2.2. CONTENEDOR DE MUESTRAS

Para construcción de los contenedores se lo realiza en tubo de 2 pulgadas con costura inoxidable de 4 mm de espesor.



Figura 54. Contenedor

Fuente: (Arias, 2017).

Con un roscado de 1,4 mm para que pueda roscar la tapa que se colocara para hermetizar el interior del contenedor cuando se ingrese las muestras para la tintura.

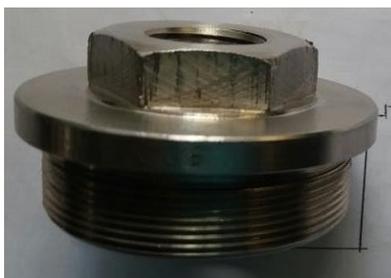


Figura 55. Tapa del contenedor

Fuente: (Arias, 2017).

Esta tapa está construida en un eje acero inoxidable de 2 ½ de diámetro comprada con una altura de 3.3 cm para darle la forma que ajuste al contenedor de muestras con un orificio superior de ½ pulgada para conectar una unión, que sirva de conexión para válvula que se utilizara para liberar presión interna al termino del proceso de la tintura.

4.2.2.1.UNIÓN MACHO



Figura 56. Unión macho

Fuente: (Arias, 2017).

Esta unión prefabricada por strobbe conocidas como npt tiene una largo de 4.8 cm y un alto de 2 cm, con un diámetro interior de 1.2 cm, en este tipo de piezas los roscado están ya estandarizados y por lo que respecta al espesor de la pared de la unión se decir que los espesores mayores a 4mm soportan la presión de trabajo de nuestro experimento.



Figura 57. Tapa armada

Fuente: (Arias, 2017).

En la unión que conecta a la válvula y a la tapa de contenedor se puso teflón para evitar posible fugas durante la subida de presión al momento de elevar la temperatura y llevarla hasta la ebullición



Figura 58. Contenedor de muestras

Fuente: (Arias, 2017).

Al poner todas las piezas de las que consta un contenedor, como se la mira en la figura, este contenedor está listo para ingresar los producto y material a tinturar, e irán sujetos dentro del tanque como en la siguiente figura, estos sujetadores se encuentran fijadas en el eje del equipo. Este contenedor de muestras está construido en tubo inoxidable 304 L cedula 40 que soporta una presión de ruptura de 8720 psi o 601.379 bar de 2 pulgadas con una pared de 4 mm de espesor, soldado en la base con una lámina de 7 mm.

4.2.3. MEDIO DE MEDIDA DE TEMPERATURA DEL EQUIPO DE LABORATORIO

Instrumento de temperatura diseñado para sistemas de presión, velocidad, viscosidad abrasiva o corrosiva en los materiales, diseño individual o combinado

4.2.3.1. TERMOMNETRO

Lo importante de este termómetro es que protege de los posibles desastres que puedan ocurrir dentro de procesos variables. Mide desde 0 a 200°C.

El termómetro que a continuación se describe no fue diseñado para este equipo pero de acuerdo con sus características nos puedes ayudar a medir la temperatura del líquido que contenga dentro del tanque y contralar las subidas de temperatura y seguir la curva de tintura establecidas para la tintura de lana, las especificaciones y características técnicas que se ajustó a mi necesidad, y que se encuentran en el siguiente grafico esta especificaciones vienen dadas por el fabricante de este producto que vamos a utilizar.



Figura 59. Termómetro y manómetro

Fuente: (Disetec, 2017).

4.2.4. SISTEMA DE MOVIMIENTO DE BAÑO

Para el movimiento en la tintura de lana se debe tomar en cuenta el movimiento del baño para evitar que la lana se enfieltre, para esto se ha diseñado, un medio de movimiento de los contenedores que constan de la siguiente parte, dos poleas una de 2 ½ pulgadas u una 5 ½ pulgadas y un banda que conectara a un motor reductor de 12 W de 24V dc con 6000 rpm que se reducen a 40 rpm en la salida.

El sistema de transmisión de movimiento va aumentar los rpm por lo que el número de revoluciones de nuestro eje que soporta los contenedores está dado por la siguiente expresión

$$\text{Rpm} = 40 \times (5 \frac{1}{2} / 2 \frac{1}{2})$$

$$\text{Rpm} = 88$$

Este sistema consta de un motor reductor, poleas, banda, un eje, donde están soldadas 6 abrazaderas y 2 férulas que sostiene los compartimentos de muestras que giran durante la tintura.



Figura 60. Sistema de movimiento

Fuente: (Arias, 2017).

Se construyó un acople para la salida del motor reductor con el fin de extender el eje original, ya que la distancia para para que alcance a la polea era insuficiente colocándole in prisionero la sujetar el acople al eje de salida.



Figura 61. Acople del motor

Fuente: (Arias, 2017).

Todo este proceso es la construcción del equipo de laboratorio para tintura de lana, sin antes olvidar las conexiones de energía eléctrica para alimentar al motor.

4.2.4.1.INTERRUPTOR

Este se encarga de la parte de encendido y apagado del motor que acciona todo el sistema de movimiento de movimiento. Son botones adaptados que aran el cambio de giro del motor reductor.

4.2.5. VÁLVULAS DE CONTROL

4.2.5.1. VÁLVULA DE BOLA

Se describe la válvula de alta presión con las siguientes medidas, de alto 3.8 cm y de ancho 3.5 cm, este tipo de válvula se la utiliza en alta presión en mi caso la utilizare para la bajar la presión interior del contenedor de muestras, soporta presiones mayores a los 8000 psi o 551.73 bares, lo que es una válvula ideal para este experimento, lo negativo de esta válvula es que se la encuentra en material galvanizada y luego e le envié a cromar, tienen ingresos hembras de ½ pulgada estandarizada acoplado con las uniones npt que servirá para este proyecto.



Figura 62. Válvulas manuales

Fuente: (Arias, 2017).

4.2.6. SISTEMA DE CALENTAMIENTO DEL BAÑO

El calentamiento del baño se lo realiza dependiendo de la necesidad de temperatura, para este equipo de laboratorio, se vio conveniente colocar en la parte inferior del contenedor del líquido que contiene los contenedores de muestras.

Para este equipo el suministro de calor, ha sido necesario aislar la máquina, para evitar posible accidentes dentro del ensayo de experimentos.



Figura 63. Hornilla eléctrica

Fuente: (Arias, 2017).

En la parte inferior del equipo se le coloca el medio para elevar la temperatura, con la que nos ayuda a elevar la presión interna de los contenedores de tinturar.

4.2.7. SOPORTE DEL EQUIPO DE LABORATORIO. (BANCADA)



Figura 64. Bancada

Fuente: (Arias, 2017).

Esta banca soportara todo el equipo está construida en ángulo de hierro negro con 15 cm de altura, se le puso una bancada propia para el motor reductor con un tubo de 1 ¼ de pulgada para sujetar el con unos pernos al costado para que sirva de apoyo al momento de encender el motor reductor.



Figura 65. Soporte del motor reductor

Fuente: (Arias, 2017).

Esta es la parte don se anclara el motor reductor se le hizo dos agujero en el tubo y se soldó unos tuercas para que los pernos sujeten.



Figura 66. Equipo de tintura

Fuente: (Arias, 2017).

Esta es la maquina armada por completo se la describe de afuera hacia adentro, consta de la banca donde se sostiene toda el equipo, un motor reductor de 24 v , un termómetro que mide de 0°C hasta 200 °C las poleas que mueven los contenedores para la tintura las poleas y una banda, en el interior del tanque están los soportes para los contenedores de tinturas, son 6 abrazaderas de 2 pulgadas de diámetro, soldadas sobre una tubo inoxidable de 1 ¼ utilizado como eje del equipo , también se puso unas férulas sanitaria para que ayude como soporte de los contenedores.

Todo este proceso es la construcción del equipo de laboratorio para tintura de lana, sin antes olvidar las conexiones de energía eléctrica para alimentar al motor.

CAPÍTULO V

5. PRUEBAS DE TINTURA

Una vez terminado la construcción de un equipo de laboratorio para tintura de lana utilizando el dióxido de carbono (CO_2) líquido como solvente se procede a detallar paso a paso el proceso de tinturada de la lana en el equipo las recomendaciones para su funcionamiento de sus diferente elementos que los conforman.

5.1.CAPACIDAD

Este equipo de laboratorio de alta presión fue diseñado y construido para tintura muestras de 10 gramos, una muestra por tintura, las medidas de contenedor de muestras son las siguientes:

Espesor de pared de 4 mm soporta un a presión interna de 2500 psi o 172.41 bar

Altura de 15 cm

Diámetro de 5,08 cm

En cuanto al área del contenedor de muestras se ha calculado con la fórmula de las figuras geométricas, para calcular un cilindro de revolución de la siguiente manera:

$$A = 2 \pi r (h + r)$$

Reemplazando valores tenemos que

El área contenedor es igual a 279.92 cm^2

Luego calculamos el volumen con la siguiente formula:

$$V = \pi r^2 h$$

Reemplazado los valores en la formula tendremos que el volumen del contenedor es igual a 304.03cm^3 haciendo una relación de unidades tenemos convertimos los cm^3 a ml y nos en 304.03 ml

5.2. PREPARACIÓN DEL MATERIAL

5.2.1. LAVADO DE LANA

Como proceso inicial previo a la tintura de lana es hacer lavados que sirve para eliminar impurezas que acompañan a la lana, evitando posibles manchas y tonos no deseados en la tintura, mejorando la adsorción del colorante en la fibra de lana.

Tabla 4 Lavado de Lana

HOJA DE LAVADO					
PRODUCTOS	g/l	g	Kg	\$Kg	SUBTOTAL
Detergente	0.5	0.061	0.000061	1.50	0.000915
Bicarbonato de Sodio	0.2	0.024	0.000024	2.20	0.0000528
TOTAL					0.0001443

Fuente: (Arias, 2017).

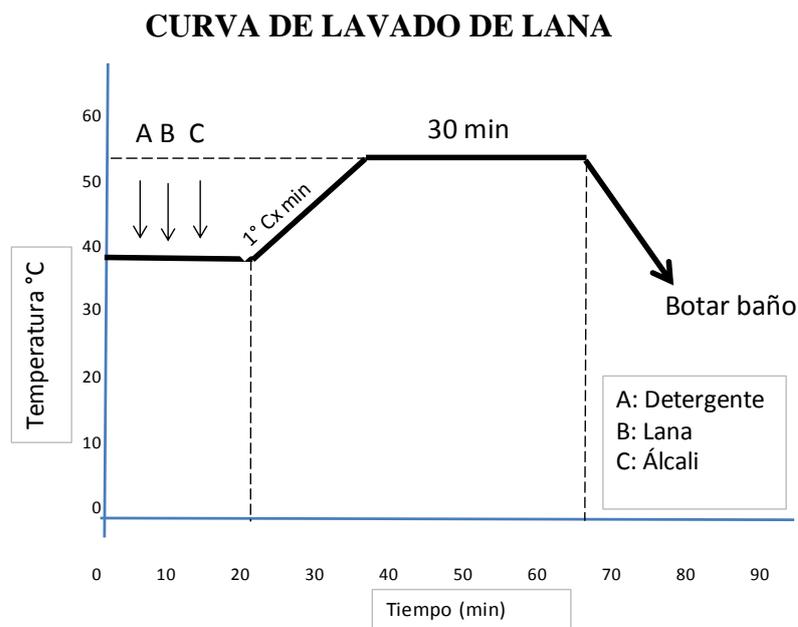


Figura 67. Equipo de tintura

Fuente: (Arias, 2017).

5.3.PREPARACIÓN PARA LA TINTURA

5.3.1. PROCEDIMIENTO GENERAL DE LA TINTURA

Lo primero que hacemos para proceder con la tintura es tener listo el material a tinturar, pesado correctamente. Con anteriores experimentos se determinó el peso aproximado de dióxido de carbono CO₂ sólida (hielo seco) para colocar dentro del contenedor de muestras, pudiendo con posteriores experimentos variar la cantidad y proceso de tintura con este elemento.

La manipulación de estos productos debe ser con las debidas seguridades y cuidado para evitar accidentes, siguiendo los pasos establecidos de acuerdo a las experiencias realizadas:

- Pesar la cantidad de lana para iniciar la tintura.
- Pesar colorantes con relación al peso de material a tinturar y colocar dentro del contenedor de tela de poliéster confeccionado con anterioridad
- Medir el igualante con relación al peso transformado en ml del dióxido de carbono CO₂ sólida (hielo seco), que se convierte en líquido al elevar la temperatura, de acuerdo al porcentaje para el tono a realizar.
- colocar el colorante e igualante dentro de distintos contenedores de tela de poliésteres confeccionados para realizar estas pruebas.
- Pesar la cantidad del dióxido de carbono CO₂ sólido (hielo seco). Esto se debe hacer previo al momento de sellar el contenedor de tintura por ser muy volátil a temperatura ambiente
- Colocar igualante, lana, dióxido de carbono CO₂ sólida (hielo seco) y colorante en este orden, dentro del contenedor de muestras, hermetizar y revisar posibles fugas.
- No poner directamente el contenedor de muestras al contacto con el fuego, para que el aumento de presión se gradual con relación a la temperatura interna del contenedor de muestras.
- Colocar en un contenedor de mayor tamaño que contenga agua o aceite térmico el contenedor de muestras para ayudar a elevar la temperatura interna.
- Este proceso se debe llevar conforme a la curva de tintura establecida como guía para este tipo de tintura.

- Al finalizar el tiempo de tinturado liberar la presión por medio de la válvula colocada en la tapa del contenedor de muestras lentamente hasta que salga todo el dióxido de carbono CO₂ líquido que se encuentra dentro del contenedor de muestras en forma de gas.
- Esto dura más o menos un minuto de forma gradual para poder abrir la tapa del contenedor, de lo contrario es difícil y podría causar un accidente por que se encuentra a una presión interna de 219 bares o 3,175.5 psi, cálculos realizados por medio de los ensayos de subida de las tres variables que intervienen en este experimento por medio del calor.
- Sacar la muestra completamente seca y redactar los resultados visibles.

5.4. PRUEBAS DE TINTURA

Tomaremos como referencia la tabla de esta investigación, diseño y construcción de una máquina para la tintura de tops de lana realizada por Juan Domínguez donde se reflejó porcentajes y peso tanto para colorantes de tonos claros, tonos medios y tonos intensos con porcentajes de referencia, como para auxiliares dependiendo del tono que deseemos realizar:

Tabla 5 Porcentajes de auxiliares

TONO	%COLORANTES	ÁCIDO FÓRMICO %	ELECTROLITO (g/l)	IGUALANTE (g/l)
CLAROS	HASTA 0,5	0,8	5 - 10	1,0
MEDIOS	HASTA 1,5	1,0	10 - 15	1,2
INTENSOS	HASTA 3,0	1,2	15 - 20	1,5

Fuente: (DOMÍNGUEZ TOBAR, 2013)

5.5. TINTURA DE LANA

Los colorantes a utilizar tiene la condición de no necesitar electrolito únicamente se le agrega al principio de la tintura ácido fórmico e igualante para empezar la tintura.

Estas tinturas las realice tomando 2 colores, al 1%, al 2% y al 3% en colorante para tomar como referencia los costos que implica.

La gradiente de la temperatura debe ser de 1 a 1,5 °C, empezando desde 20°C hasta llegar a ebullición durante 60 minutos para observar si el colorante al final de la tintura penetra

uniformemente en la fibra, caso contrario se seguirá con los ensayos, variando los elementos y variables que interviene.

La lana para las muestras es pre tratado, lo que mejora las condiciones de afinidad del colorante con la fibra.

No se incluye el precio del ácido fórmico por que el PH del dióxido de carbono CO₂ según la hoja técnica es de 3,7, medio de tintura con condiciones favorable para estos ensayos.

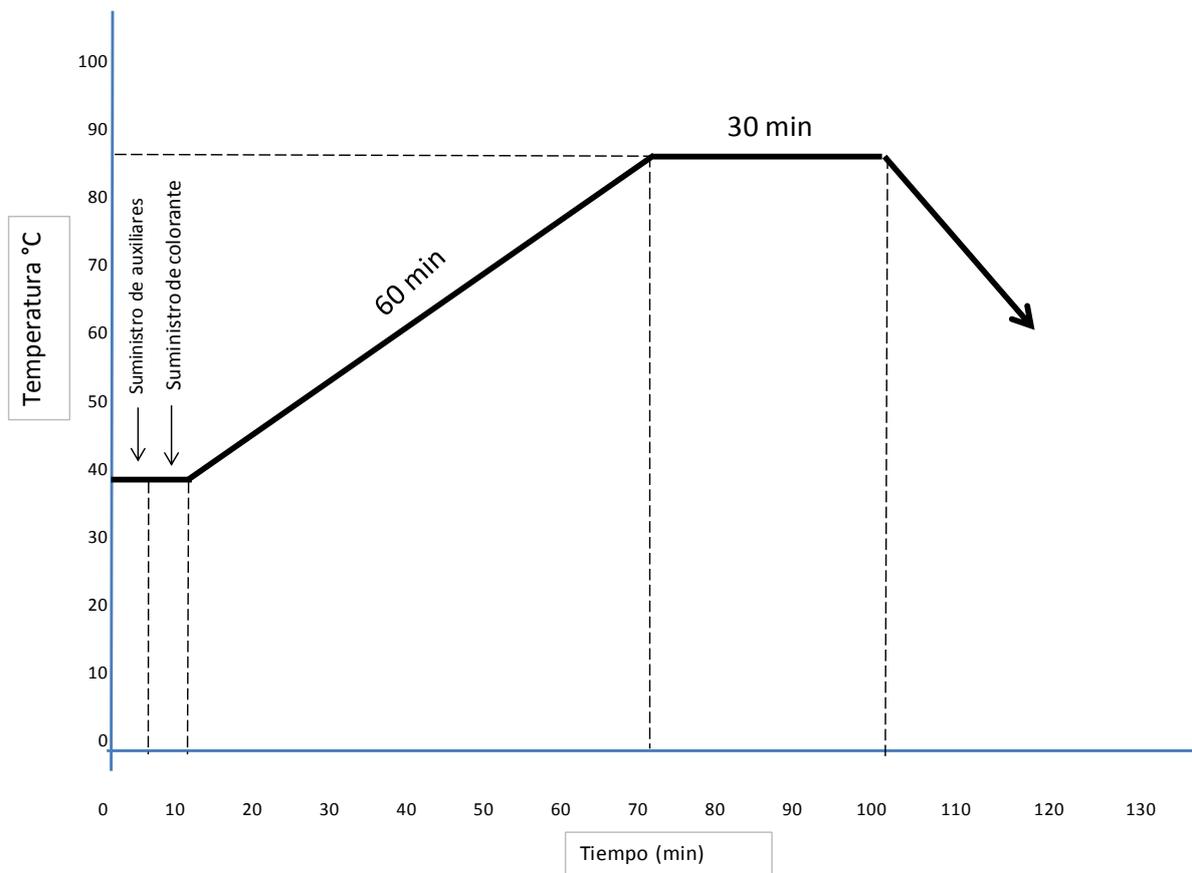


Figura 68. Equipo de tintura

Fuente: (Arias, 2017).

5.5.1. TINTURADO DE LA LANA CON DIÓXIDO DE CARBONO CO₂ LIQUIDO

5.5.1.1. PRUEBAS DE TINTURA

5.5.1.1.1. PRUEBA # 1

COD. RTI1

Tabla 6. Prueba 1



EQUIPO	CERRADO
MATERIAL	LANA (WO) 100%
R/B	1/122 (122 ml.)
PESO	1 gr
COLOR	AMARILLO MT ACIDO

PRODUCTOS	ml.	%	mg.	g.	Kg.	\$/Kg	SUBTOTAL
AMARILLO MT ACIDO		1	100	0.10	0.0001	7.00	0.0007
IGUALANTE ÁCIDO	0.3					2.00	0.0006
TOTAL(\$)							0.0013

Fuente: (Arias, 2017).

• ANÁLISIS DE RESULTADOS

- El colorante mancha los contenedores de poliéster que se confecciono para el colorante y de igualante
- Se encuentra manchado las paredes del contenedor de muestras
- Por la presión interna que ejerce el CO₂ al elevar la temperatura, el empaque de la tapa se deteriora.
- La lana se mancha con un mínimo de colorante
- El agotamiento del colorante utilizando el CO₂ a presión como reemplazo del agua, no llega a agotar por completo
- La concentración de CO₂ es insuficiente, al aumentar la concentración
- No puede comprobar el Ph de baño, solo me basa en la hoja técnica, debería considerarse como uno de los causales para la no subida del colorante a la fibra.

5.5.1.1.2. PRUEBA # 2

COD.RTI2



Tabla 7. Prueba 2

EQUIPO	CERRADO
MATERIAL	LANA (WO) 100%
R/B	1/122 (122 ml.)
PESO	1 gr
COLOR	VERDE GS ACIDO

PRODUCTOS	ml.	%	mg.	g.	Kg.	\$/Kg	SUBTOTAL
VERDE GS ACIDO		1	100	0.10	0.0001	15.00	0.0015
IGUALANTE ÁCIDO	0.3					2.00	0.0006
TOTAL							0.0021

Fuente: (Arias, 2017).

• ANÁLISIS DE RESULTADOS

- El colorante mancha los contenedores de poliéster que se confecciono para el colorante y de igualante
- Se encuentra manchado las paredes del contenedor de muestras
- Por la presión interna que ejerce el CO₂ al elevar la temperatura, el empaque de la tapa se deteriora.
- La lana se mancha con un mínimo de colorante
- El agotamiento del colorante utilizando el CO₂ a presión como reemplazo del agua, no llega a agotar por completo
- La concentración de CO₂ es insuficiente, al aumentar la concentración
- No puede comprobar el Ph de baño, solo me basa en la hoja técnica, debería considerarse como uno de los causales para la no subida del colorante a la fibra.

5.5.1.1.3. PRUEBA #3

COD.RTI3



Tabla 8. Prueba 3

EQUIPO	CERRADO
MATERIAL	LANA (WO) 100%
R/B	1/122 (122 ml.)
PESO	1 gr
COLOR	AZUL 5R ACIDO

PRODUCTOS	ml.	%	mg.	g.	Kg.	\$/Kg	SUBTOTAL
AMARILLO MT ACIDO		2	200	0.20	0.0002	7.00	0.00140
IGUALANTE	0.36					2.00	0.00072
ÁCIDO							
TOTAL							0.00212

Fuente: (Arias, 2017).

• ANÁLISIS DE RESULTADOS

- El colorante mancha los contenedores de poliéster que se confecciono para el colorante y de igualante
- Se encuentra manchado las paredes del contenedor de muestras
- Por la presión interna que ejerce el CO₂ al elevar la temperatura, el empaque de la tapa se deteriora.
- La lana se mancha con un mínimo de colorante
- El agotamiento del colorante utilizando el CO₂ a presión como reemplazo del agua, no llega a agotar por completo
- La concentración de CO₂ es insuficiente, al aumentar la concentración
- No puede comprobar el pH de baño, solo me basa en la hoja técnica, debería considerarse como uno de los causales para la no subida del colorante a la fibra.

5.5.1.1.4. PRUEBA # 4

COD.RTI4

Tabla 9. Prueba 4



EQUIPO	CERRADO
MATERIAL	LANA (WO) 100%
R/B	1/122 (122 ml.)
PESO	1 gr
COLOR	CAFÉ 150 % ACIDO

PRODUCTOS	ml.	%	mg.	g.	Kg.	\$/Kg	SUBTOTAL
CAFÉ 150 % ACIDO		2	200	0.20	0.0002	15.00	0.00300
IGUALANTE ÁCIDO	0.36					2.00	0.00072
TOTAL							0.00372

Fuente: (Arias, 2017).

- **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

- El colorante mancha los contenedores de poliéster que se confecciono para el colorante y de igualante
- Se encuentra manchado las paredes del contenedor de muestras
- Por la presión interna que ejerce el CO₂ al elevar la temperatura, el empaque de la tapa se deteriora.
- La lana se mancha con un mínimo de colorante
- El agotamiento del colorante utilizando el CO₂ a presión como reemplazo del agua, no llega a agotar por completo
- La concentración de CO₂ es insuficiente, al aumentar la concentración
- No puede comprobar el Ph de baño, solo me basa en la hoja técnica, debería considerarse como uno de los causales para la no subida del colorante a la fibra.

5.5.1.1.5. PRUEBA # 5

COD.RTI5

Tabla 10 Prueba 5

EQUIPO	CERRADO
MATERIAL	LANA (WO) 100%
R/B	1/122 (122 ml.)
PESO	1 gr
COLOR	NEGRO MR ACIDO



PRODUCTOS	ml.	%	mg.	g.	Kg.	\$/Kg	SUBTOTAL
NEGRO MR ACIDO		3	300	0.30	0.0003	10.00	0.00300
IGUALANTE ÁCIDO	0.450					3.00	0.00135
TOTAL							0.00435

Fuente: (Arias, 2017).

• ANÁLISIS DE RESULTADOS

- El colorante mancha los contenedores de poliéster que se confecciono para el colorante y de igualante
- Se encuentra manchado las paredes del contenedor de muestras
- Por la presión interna que ejerce el CO₂ al elevar la temperatura, el empaque de la tapa se deteriora.
- La lana se mancha con un mínimo de colorante
- El agotamiento del colorante utilizando el CO₂ a presión como reemplazo del agua, no llega a agotar por completo
- La concentración de CO₂ es insuficiente, al aumentar la concentración
- No puede comprobar el Ph de baño, solo me basa en la hoja técnica, debería considerarse como uno de los causales para la no subida del colorante a la fibra.

5.5.1.1.6. PRUEBA # 6

COD.RTI6

Tabla 11. Prueba 6



EQUIPO	CERRADO
MATERIAL	LANA (WO) 100%
R/B	1/30 (300 ml.)
PESO	10 gr
COLOR	AZUL 5R ACIDO

PRODUCTOS	ml.	%	mg.	g.	Kg.	\$/Kg	SUBTOTAL
AZUL 5R ACIDO		3	300	0.30	0.0003	25.00	0.0075
IGUALANTE	0.45					2.00	0.0009
ÁCIDO							
TOTAL							0.0084

Fuente: (Arias, 2017).

• ANÁLISIS DE RESULTADOS

- El colorante mancha los contenedores de poliéster que se confecciono para el colorante y de igualante
- Se encuentra manchado las paredes del contenedor de muestras
- Por la presión interna que ejerce el CO₂ al elevar la temperatura, el empaque de la tapa se deteriora.
- La lana se mancha con un mínimo de colorante
- El agotamiento del colorante utilizando el CO₂ a presión como reemplazo del agua, no llega a agotar por completo
- La concentración de CO₂ es insuficiente, al aumentar la concentración
- No puede comprobar el Ph de baño, solo me basa en la hoja técnica, debería considerarse como uno de los causales para la no subida del colorante a la fibra.

CAPITULO VI

6. ANÁLISIS DE COSTOS

Este es un equipo alternativo, por el ahorro de agua que pueda producir durante la tintura, los costos de esta investigación son aceptables, por la ayuda que ofrece al ambiente en materia de contaminación, los costos de este equipo se verán reflejados al ponerlo en funcionamiento, y realizar nuevas investigación sobre el tema.

6.1.COSTO DE TINTURA

Para realizar el análisis de costos de tintura se lo realizó en base a 1000 gramos de peso de lana para tener la referencia en un kg.

6.2.COSTOS DE TINTURA TRADICIONAL

Para la realización del presente análisis se toma en cuenta que el Kilo de colorantes artificiales tiene un costo entre 7 y 25 USD por lo que se tomará un valor medio de 15 USD como referencia; además el color que se tomó como referencia es un verde en tono medio. El análisis lo hemos realizado con 1000 gramos de peso de lana.

Tabla 12 *Costo Tintura Tradicional*

EQUIPO	CERRADO
MATERIAL	LANA (WO) 100%
R/B	1/30 (30,000 ml.)
PESO	1000 gr
COLOR	VERDE GS ACIDO

PRODUCTOS	g/l	%	mg.	g.	Kg.	\$/Kg	SUBTOTAL
VERDE GS ACIDO		2	20.000	20	0.02	15.00	0.300
IGUALANTE	1.2			36		3.00	0.108
ÁCIDO FORMICO	1			30		1.80	0.540
TOTAL							0.948

Fuente: (Arias, 2017).

Esto dice que 1kilo de lana para tintura tradicional nos cuesta 0.948 USD.

6.3.COSTOS DE LA TINTURA PROPUESTA

Con los mismos valores hacemos el cálculo de la tintura propuesta

Tabla 13 *Costo de la Tintura Propuesta*

EQUIPO	CERRADO
MATERIAL	LANA (WO) 100%
R/B	1/30 (30,000 ml.)
PESO	1000 gr
COLOR	VERDE GS ACIDO

PRODUCTOS	g/l	%	mg.	g.	Kg.	\$/Kg	SUBTOTAL
VERDE GS ACIDO		2	20.000	20	0.02	15.00	0.300
IGUALANTE	1.2			36		3.00	0.108
ÁCIDO FORMICO						1.80	
TOTAL							0.408

Fuente: (Arias, 2017).

Quitamos el ácido fórmico por que el propio PH de Dióxido de Carbono es de 3.7, lo que significa que el baño inicial es ácido, reduciéndonos el precio al igual si fue del lavado de lana se quitaría el detergente por su densidad que al aumentar la presión, aumenta su capacidad disolvente, sin tomar en cuenta que se eliminaría algunos procesos mecánicos de secado.

Como vemos haciendo la comparación entre tintura tradicional y tintura propuesta, tenemos que la tintura tradicional cuesta 0.948 USD mientras que la tintura propuesta cuesta 0.408

USD casi a mitad de precio, con los mismos parámetros elegidos para las dos tinturas para sin tomar en cuenta la mano de obra y servicios básicos.

6.4. INVERSIÓN

Para especificar la inversión del equipo se tomara en cuenta tres partes principales para su diseño y construcción estas son:

- Material empleado en la construcción.- donde se detalló todas las piezas y parte que se adquiere, dando un costo de 642.34 USD
- Mano de obra contratada.- algunos de estas labores se los pudo realizar sin ningún costo como el armado y la parte eléctrica, hay otros que se debió hacer uso de múltiples personas, con un costo de 500 USD
- Transporte del equipo.- los costos no fueron únicamente de las partes que se adquirió sino también en el transporte de esto, con un valor de 100USD

La inversión total que se realizó en el diseño y construcción de un equipo de laboratorio para tintura de lana utilizando el dióxido de carbono (CO₂) líquido como solvente es de 1.242,34 USD.

6.5. COSTOS DE MAQUINARIA

A continuación se detalla la inversión realizada en el diseño y construcción de un equipo de laboratorio para tintura de lana utilizando el dióxido de carbono (CO₂) líquido como solvente.

Tabla 14 *Materiales*

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	V. TOTAL
1	abrazadera	6	6,85	41,10
2	tub inox 304l sch 40 2"		0,38	18,98
3	hielo seco	3	1,67	5,00
4	contenedor de muestras	2	70,00	140,00
5	oring	2	1,50	3,00
6	Férulas inox	2	4,48	8,96
7	tubo inox			12,06
8	rulimanes	2		7,00
9	retenedores	2		2,00
10	motor reductor	1	16,80	16,80
11	caja de inox	1		200,00
12	hornilla eléctrica	1	22,00	22,00
13	pastillas inox			4,71
14	poleas	2		7,63
15	bandas	1		5,00
16	válvulas	2		79,00
17	termómetro	1		69,10
TOTAL				642,34

Fuente: (Arias, 2017).

6.6.COSTOS DE PROCESO

Para la realización de este proyecto se utilizó lana lavado lista para tinturar.

Al comparar el costo de tintura en 1kg de lana con tintura tradicional y el costo de 1 kg de lana con tintura propuesta tenemos: $0,948 \text{ USD} - 0,408 \text{ USD} = 0,540 \text{ USD}$.

Para el análisis de costo del proceso se ha tomado en cuenta la mano de obra, con el sueldo básico actual de la siguiente manera: preparación del colorante en 1h= 2,13 USD; 1h 30' de tintura= 3,195 USD dándonos un total de: 5,325 USD en Mano de Obra.

De este modo la energía utilizada sería a un costo de $0,1185 \text{ USD el KW/hx4h15}' = 0,049 \text{ USD}$.

El costo total de la tintura propuesta queda de la siguiente manera = Costo De Tintura + Costo De Mano De Obra + Costo De Energía

El costo total de la tintura Tradicional = 0,948 USD+ 2,13 USD+ 0,049 USD.

El costo total de la tintura Tradicional = 3.127 USD

El costo total de la tintura propuesta = 0,408USD+ 2,13 USD+ 0,049 USD.

El costo total de la tintura propuesta = 2.587 USD

Con la tintura tradicional está en una relación de 1 a 2 esto se debe principalmente a los diferentes procesos en los que intervienen, sin tomar en cuenta que con el dióxido de carbono la lana saldría con las mismas condiciones que ingreso a la tintura.

CAPÍTULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

La presente investigación tuvo como objetivo probar que el CO₂ líquido puede ser utilizado como reemplaza del agua que se viene utilizando desde la antigüedad hasta la actualidad para tinturar lana. Esto quiere decir que por primera vez se realizó este tipo de experimentaciones cambiando el agua por el CO₂ líquido como disolvente alternativo al proceso tradicional de la tintura, y se creó un procedimiento general para la tintura, que puede estar sujeto a cambios dependiendo del investigador que desee continuar con esta indagación a nuevas respuestas con respecto a este disolvente.

Para demostrar esto, primero se recurrió a fuentes de consulta e información sobre el tema, encontrando un problema principal de la investigación de CO₂ líquido, como fue la nula o pocas fuentes bibliográficas sobre el tema, no se encuentran documentos en cuanto a estas nuevas tecnologías, la información que se encontró fue en revistas digitales e investigaciones que son celosamente guardados por los investigadores y solo se encuentran los títulos de la información de Universidades en Norte América, países Europeos y algunos de centro y sur América, por lo que se recurrió a patentes relacionadas con el lavado de rapa utilizando este disolvente con resultados interesantes, que reforzó la curiosidad por la investigación de este gas.

Este gas que al estar a presiones superiores a 5.18 bares o 75.11 psi, se vuelve líquido, pero su valor como líquido es cuando llega a su presión crítica que es 73 bares 1,058.5 psi de presión, con características intermedias entre un gas y líquido, con una densidad próxima a la de un líquido que aumentando rápidamente con la presión, características de este gas que se deberían seguir investigando como solución a una tintura tradicional contaminadora que está siendo parte de la reducción de agua para consumo humano.

Se realizaron el diseño y construcción dos equipos para tintura de lana con CO₂ líquido como disolvente con materiales y dibujos de esquemas investigados para alta presión de elaboración artesanal e industrial.

El primer equipo fue construido con piezas y partes utilizadas en hidráulica e hidrodinámica, el equipo en las primera pruebas sin presión ni temperatura funciono correctamente como se esperaba, el problema con este equipo fue la bomba hidráulica de engranes, al momento de la compra omití una característica importante, su funcionamiento es óptimo solo con líquidos y aceites con cierto grado de viscosidad mas no con gas, en consecuencia el retenedor de la bomba no soporto al llegar la presión a 30 bares o 435 psi, se realizaron tres pruebas más cambiando este retenedor y el gas fugaba por el retenedor de la bomba al marcaren el manómetro los 30 bares o 435 psi de presión, sin poder llegar a la presión critica requerida, con un costo aproximado de 1900 USD de inversión aproximadamente, por este mal funcionamiento de construcción se opta por diseñar y construir un nuevo equipo.

El segundo equipo en su mayor parte se construyó con acero inoxidable especialmente las partes que van a estar en contacto con el gas, estos tubos deben soportar altas presión de ruptura, aconsejables para nuestras pruebas, para la confección de la tapa es mejor comprar eje, para nuestro caso eje de 2 ¼ pulgadas y darle forma en el torno, con este diseño y su posterior construcción se logró llegar a hermetizar y sobre pasar la presión critica requerida para los experimentos, consta de un sistema independiente de movimiento, un sistema de ayuda de subida de la temperatura y como consecuencia de la subida de la temperatura sube la presión interna del contenedor, a un costo de 1.242,32 de inversión tomando en cuenta la mano de obra y el transporte, lo importante es que se puede conseguir todos los materiales en nuestro medio de forma fácil, tomando en cuenta las características y el fin de destino del material.

Se realizó varias pruebas en este equipo con los estados manipulables del CO₂, el gas – líquido contenido en los extintores y el sólido (hielo seco), de estos dos se obtuvo un mejor y fácil manejo con el CO₂ solido (hielo seco), obteniendo resultados en la tintura que se pueden reproducir y mejorar, esto se lo hizo siguiendo una curva de tintura normal con variantes como, quitar el ácido fórmico, que ayuda al pH del baño cuando se utiliza agua en la tintura, este gas tiene la particularidad de tener un pH de 3.7 según los catálogos técnicos de Abellinda gas, pero se realiza pruebas con ácido fórmico y sin ácido fórmico, en las pruebas colocando

colorante, ácido fórmico, igualante y lana, el colorante no taca el material a tinturar, sale como ingreso, por esta razón decidí no adjuntar estas pruebas, los resultados sin ácido fórmico fueron más alentadores, porque el colorante subió al material y le dio una apariencia de teñido, que al tocar el material, el colorante está sobre la superficie del material así como en la pared interior del contenedor de muestras, sin llegar a agotar por completo el colorante, lo interesante del proceso fue la salida de la lana completamente seca al liberar la presión interna del contenedor de muestras. Las muestras obtenidas en el equipo siguiendo la curva de tintura tradicional, tiene las características de un proceso de tintura sin movimiento del material que se puede perfeccionar, con investigación.

Según el análisis comparativo de costos realizado, la tintura tradicional cuesta 3.127 USD, mientras que el costo de la tintura propuesta cuesta 2.587 USD, se tendría un ahorro de 0.54 USD, esto se debe a la eliminación de un auxiliar en el proceso propuesto.

La elaboración de la carta de colores con la gama propuesta inicialmente no se realizó por que el equipo no funciona adecuadamente, las mejores muestras obtenidas durante este trabajo se las puso en el trabajo, estas pruebas se las realizo en la medida que el CO₂ sólido permaneciera en ese estado, un kilo de este material dura más o menos unos 3 horas evaporándose.

7.2.RECOMENDACIONES

Se recomienda buscar artículos de las universidades relacionados con investigaciones de este disolvente y apoyarse en patentes registrados para el diseño y construcción de lavado de ropa que son una fuente de consulta que tiene credibilidad.

Promover la investigación en diseño y construcción de maquinaria, apoyándose en herramientas informáticas de simulación para diseño de equipos de alta presión, para su posterior construcción y puesta a prueba. Tomando las debidas precauciones.

Verificar las características y propiedades adecuadas de los materiales a utilizar en la construcción, en lo posible utilizar acero inoxidable para evitar la corrosión de las componentes del equipo, para la elaboración de nuevos contenedores, se debe conseguir tubos con paredes de al menos 4 mm para evitar accidentes, porque el punto de ruptura de este tipo de grosor de pared es 8700 psi o de 601 bares.

Considerar los factores que influyen en el proceso de tintura tradicional, como cantidad de auxiliares, colorante, temperatura, tiempos y aplicarla al nuevo método dando posibles soluciones para obtener una tintura óptima.

Resulta más económica la tintura propuesta, siempre que se mejore la absorción del colorante en la lana, y la no utilización del ácido hace que el costo final de la tintura se reduzca, siendo un ahorro.

Los resultados no fueron tan sólidos como para elaborar una carta de colores, corresponderá seguir realizando pruebas variando la concentración de CO₂ en sus diferentes estados tomando en cuenta que el CO₂ sólido a 20°C. En 122 gr libera una presión interna de los contenedores de 73 bares

GLOSARIO:

- **Ácido:** Es un compuesto que dona un catión hidrógeno (H^+) a otro compuesto (denominado base). Algunos ejemplos comunes incluyen al ácido acético (en el vinagre), y al ácido sulfúrico (usado en baterías de automóvil).
- **Impregnación:** Humedad, absorción, infiltración, saturación
- **PH:** Potencial de Hidrógeno, sirve para medir la acidez o alcalinidad del baño de tintura.
- **Relación de Baño:** Se entiende a la relación existente entre la cantidad de materia prima a teñir y el baño utilizado.
- **Volátil:** Se ha definido como una medida de la facilidad con que una sustancia se evapora. A una temperatura dada, las sustancias con mayor presión de vapor se evaporan más fácilmente que las sustancias con una menor presión de vapor.

BIBLIOGRAFÍA

- INTRODUCCION TEXTIL. (04 de mayo de 2017).
<https://es.slideshare.net/256yaroti/monografia-lana-final-xd>. Obtenido de
<https://es.slideshare.net/256yaroti/monografia-lana-final-xd>:
<https://es.slideshare.net/256yaroti/monografia-lana-final-xd>
- academia. (12 de julio de 2017). <http://www.academia.edu/>. Obtenido de
<http://www.academia.edu/>: <http://www.academia.edu/7567499/Equilibr>
- academic, e. (23 de junio de 2017). <http://www.esacademic.com/>. Obtenido de
<http://www.esacademic.com/>: <http://www.esacademic.com/>
- acuasuruguay. (15 de mayo de 2017). <http://acuasuruguay.com/>. Obtenido de
<http://acuasuruguay.com/>: <http://acuasuruguay.com/>
- afdm. (15 de enero de 2012). <http://afdmnbfdvkasn.blogspot.com/>. Obtenido de
<http://afdmnbfdvkasn.blogspot.com/>: <http://afdmnbfdvkasn.blogspot.com/>
- Aldehídos, Q. O. (12 de MAYO de 2015). <http://www.quimicas.net/2015/05/ejemplos-de-aldehidos.html>. Obtenido de
<http://www.quimicas.net/2015/05/ejemplos-de-aldehidos.html>: <http://www.quimicas.net/2015/05/ejemplos-de-aldehidos.html>
- answers. (23 de junio de 2017). <https://answers.yahoo.com/>. Obtenido de
<https://answers.yahoo.com/>: <https://answers.yahoo.com/question/index>
- answers, a. (20 de junio de 2015). <https://ar.answers.yahoo.com/>. Obtenido de
<https://ar.answers.yahoo.com/>: <https://ar.answers.yahoo.com/question/in>
- arbat. (15 de junio de 2017). <https://0.r.bat.bing.com/>. Obtenido de <https://0.r.bat.bing.com/>:
<https://0.r.bat.bing.com/>
- Asociación Colectiva Para El Desarrollo Rural De Tierra De Campos . (2017, MAYO 05).
http://www.cdrtcamos.es/lanatural/info_lana.htm. Retrieved from
http://www.cdrtcamos.es/lanatural/info_lana.htm:
http://www.cdrtcamos.es/lanatural/info_lana.htm
- brainli. (17 de junio de 2015). <https://brainly.lat/tarea/86155>. Obtenido de
<https://brainly.lat/tarea/86155>: <https://brainly.lat/tarea/86155>
- buenastareas. (14 de junio de 2017). <http://www.buenastareas.com/>. Obtenido de
<http://www.buenastareas.com/>: <http://www.buenastareas.com/>
- Cann, M. C. (15 de mayo de 2017). <http://www.scranton.edu/faculty/cannm/green-chemistry/spanish/generalmodule.shtml>. Obtenido de
[http://www.scranton.edu/faculty/cannm/green-](http://www.scranton.edu/faculty/cannm/green-chemistry/spanish/generalmodule.shtml)

chemistry/spanish/generalmodule.shtml:
<http://www.scranton.edu/faculty/cannm/green-chemistry/spanish/generalmodule.shtml>

carbono., I. L. (25 de mayo de 2017). <http://www.ipcc.ch/index.htm>. Obtenido de <http://www.ipcc.ch/index.htm>: <http://www.ipcc.ch/index.htm>

Castaños, E. (15 de mayo de 2017). <https://lidiakonlaquimica.wordpress.com/2015/08/19/extraccion-con-fluidos-super criticos/>. Obtenido de <https://lidiakonlaquimica.wordpress.com/2015/08/19/extraccion-con-fluidos-super criticos/>: <https://lidiakonlaquimica.wordpress.com/2015/08/19/extraccion-con-fluidos-super criticos/>

cervecero, t. (14 de mayo de 2017). <http://tecnicacervecera.blogspot.com/>. Obtenido de <http://tecnicacervecera.blogspot.com/>: <http://tecnicacervecera.blogspot.com/201>

CHECA, M. (1999). “*Diseño y construcción de una máquina para tintura de géneros textiles artesanales de lana*”. . Ibarra-Ecuador: EITEX, FICA, UTN.

CHILE, P. U. (12 de Julio de 2017). <http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/>. Obtenido de <http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/>: <http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/>

ciencias, a. d. (18 de mayo de 2016). <http://www.areaciencias.com/>. Obtenido de <http://www.areaciencias.com/>: <http://www.areaciencias.com/>

CO2, P. T. (20 de mayo de 2017). http://www.pteco2.es/reportaje.asp?id_rep=8. Obtenido de http://www.pteco2.es/reportaje.asp?id_rep=8: http://www.pteco2.es/reportaje.asp?id_rep=8

CO2, T. d. (22 de Julio de 2017). <http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno08/co2capture/OxiCombust.html>. Obtenido de <http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno08/co2capture/OxiCombust.html>: Tecnologías de Captura y Secuestro de CO2

colegios. (23 de junio de 2015). <http://colegiosfj.com/>. Obtenido de <http://colegiosfj.com/>: <http://colegiosfj.com/>

coursehero. (14 de mayo de 2017). <https://www.coursehero.com/>. Obtenido de <https://www.coursehero.com/>: <https://www.coursehero.com/>

CUASAPAZ, N. J. (2011). “*Elaboración de una guía didáctica virtual para los procesos de tintura del algodón, lana, poliéster y acrílico*”. Ibarra, Ecuador.: Universidad Técnica del Norte.

cuidadoraslaliz. (14 de mayo de 2014). <http://cuidadoraslaliz.blogspot.com/2014>. Obtenido de <http://cuidadoraslaliz.blogspot.com/2014:> <http://cuidadoraslaliz.blogspot.com/2014>

democrito. (12 de mayo de 2017). <https://democrito.info/category/valencia>. Obtenido de <https://democrito.info/category/valencia>: <https://democrito.info/category/valencia>

docplayer. (11 de junio de 2017). <http://docplayer.es/>. Obtenido de <http://docplayer.es/>: <http://docplayer.es/>

DOMÍNGUEZ TOBAR, J. S. (2013). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA LA TINTURA DE TOPS DE LANA*. Ibarra: UTN.

engormix. (18 de junio de 2017). <http://www.engormix.com/>. Obtenido de <http://www.engormix.com/>: <http://www.engormix.com/balanceados/arti>

ensayos, c. (14 de mayo de 2015). <https://www.clubensayos.com/>. Obtenido de <https://www.clubensayos.com/>: <https://www.clubensayos.com/>

esdocs. (15 de mayo de 2017). <http://esdocs.com/>. Obtenido de <http://esdocs.com/>: <http://esdocs.com/>

Español. (23 de junio de 2017). <https://espanol.answers.yahoo.com/>. Obtenido de <https://espanol.answers.yahoo.com/>: <https://espanol.answers.yahoo.com/>

esslideshare. (12 de junio de 2017). <https://es.slideshare.net/>. Obtenido de <https://es.slideshare.net/>: <https://es.slideshare.net/>

estis. (5 de mayo de 2017). <http://www.estis.net/>. Obtenido de <http://www.estis.net/>: <http://www.estis.net/>

flasite. (12 de mayo de 2017). <http://www.flasite.com/>. Obtenido de <http://www.flasite.com/>: <http://www.flasite.com/>

fqig4s1. (13 de mayo de 2009). <http://fqig4s1.blogspot.com/>. Obtenido de <http://fqig4s1.blogspot.com/>: <http://fqig4s1.blogspot.com/>

GARCIA, R. (1989). “*Fibrologia IV*”. México: Editorial ESIT.

gas, l. (6 de julio de 2015). <http://www.linde-gas.ec/>. Obtenido de <http://www.linde-gas.ec/>: <http://www.linde-gas.ec/internet.lg.lg.e>

Green Chemistry. (19 de Mayo de 2017). <http://www.scranton.edu/faculty/cannm/green-chemistry/spanish/generalmodule.shtml>. Obtenido de <http://www.scranton.edu/faculty/cannm/green-chemistry/spanish/generalmodule.shtml>: <http://www.scranton.edu/faculty/cannm/green-chemistry/spanish/generalmodule.shtml>

Industriales, G. (14 de mayo de 2017). <http://www.abellolinde.es/es/index.html>. Obtenido de <http://www.abellolinde.es/es/index.html>: <http://www.abellolinde.es/es/index.html>

infinityack. (13 de mayo de 2017). <http://infinityack.com/>. Obtenido de <http://infinityack.com/>: <http://infinityack.com/>

issuu. (23 de Junio de 2014). https://issuu.com/jesusalonso1/docs/tecnologia_de_la_confeccion_textil. Obtenido de https://issuu.com/jesusalonso1/docs/tecnologia_de_la_confeccion_textil: https://issuu.com/jesusalonso1/docs/tecnologia_de_la_confeccion_textil

leontols. (12 de junio de 2015). <http://leontolstoilaboratorio.blogspot.c>. Obtenido de <http://leontolstoilaboratorio.blogspot.c>: <http://leontolstoilaboratorio.blogspot.c>

linguee. (15 de mayo de 2017). <http://www.linguee.es/>. Obtenido de <http://www.linguee.es/>: <http://www.linguee.es/espanol-ingles/tra>

Lockuán, F. (2012). *LA INDUSTRIA TEXTIL Y SU CONTROL DE CALIDAD, Tintorería V. mejorcaldera*. (12 de junio de 2017). <http://www.mejorcaldera.com/>. Obtenido de <http://www.mejorcaldera.com/>: <http://www.mejorcaldera.com/industrial-d>

Mila, L. (10 de junio de 2011). <http://luzmilabdepazh.blogspot.com/>. Obtenido de <http://luzmilabdepazh.blogspot.com/>: <http://luzmilabdepazh.blogspot.com/2011/>

monografias. (14 de mayo de 2017). <http://www.monografias.com/>. Obtenido de <http://www.monografias.com/>: <http://www.monografias.com/>

mx, d. (19 de mayo de 2015). <http://documents.mx/>. Obtenido de <http://documents.mx/>: <http://documents.mx/>

myslide. (25 de julio de 2015). <http://myslide.es/>. Obtenido de <http://myslide.es/>: <http://myslide.es/education/manual-de-ba>

N, M. (1998). *Guia textil en el acabado I*. Ibarra: Ed. Universitaria UTN.

naturales, c. (10 de junio de 2017). <http://www.areaciencias.com/quimica/fuerzas-de-van-der-waals.html>. Obtenido de <http://www.areaciencias.com/quimica/fuerzas-de-van-der-waals.html>: <http://www.areaciencias.com/quimica/fuerzas-de-van-der-waals.html>

openclima. (15 de Junio de 2017). <https://blog.openclima.com/>. Obtenido de <https://blog.openclima.com/>: <https://blog.openclima.com/>

Organisation, I. W. (24 de mayo de 2017). <http://www.iwto.org/>. Obtenido de <http://www.iwto.org/>: <http://www.iwto.org/>

partnership, P. C. (02 de mayo de 2017). <https://www.undeerc.org/pcor/sequestration/whatisco2.aspx>. Obtenido de <https://www.undeerc.org/pcor/sequestration/whatisco2.aspx>

<https://www.undeerc.org/pcor/sequestration/whatisco2.aspx>:
<https://www.undeerc.org/pcor/sequestration/whatisco2.aspx>
 pic, e. (22 de junio de 2017). <http://electronica-pic.blogspot.com/>. Obtenido de
<http://electronica-pic.blogspot.com/>: <http://electronica-pic.blogspot.com/>
 qmlm. (15 de junio de 2015). <http://qmlm199210.blogspot.com7>. Obtenido de
<http://qmlm199210.blogspot.com/>: <http://qmlm199210.blogspot.com/>
 quimica, b. (22 de marzo de 2016). <http://www.bibliotecaquimica2008.tripod>. Obtenido de
<http://www.bibliotecaquimica2008.tripod>: <http://www.bibliotecaquimica2008.tripod>.
 quimica, f. (16 de junio de 2015). <https://fisico-quimica3ro.wikispaces.com>. Obtenido de
<https://fisico-quimica3ro.wikispaces.com>: <https://fisico-quimica3ro.wikispaces.com>
 quimica, i. (22 de junio de 2017). <http://ingenieriaquimica2009.blogspot.pe>. Obtenido de
<http://ingenieriaquimica2009.blogspot.pe>: <http://ingenieriaquimica2009.blogspot.pe>
 QUIRINO, M. (1989). “*Teoría y Práctica de la Hilatura*”. Barcelona – España: Editorial
 Gustavo Gili S.A.
 rbat. (12 de junio de 2015). <https://151000178.r.bat.bing.com/>. Obtenido de
<https://151000178.r.bat.bing.com/>: <https://151000178.r.bat.bing.com/>
 recursos. (25 de mayo de 2014). <http://recursos-joaquinrodrigo.blogspot>. Obtenido de
<http://recursos-joaquinrodrigo.blogspot>: <http://recursos-joaquinrodrigo.blogspot>.
 reverso, d. (14 de junio de 2017). <http://diccionario.reverso.net/>. Obtenido de
<http://diccionario.reverso.net/>: <http://diccionario.reverso.net/>
 sanches, J. (8 de junio de 2017). <http://elfisicoloco.blogspot.com/2012/11/parametros-del-enlace-covalente.html>. Obtenido de
<http://elfisicoloco.blogspot.com/2012/11/parametros-del-enlace-covalente.html>:
<http://elfisicoloco.blogspot.com/2012/11/parametros-del-enlace-covalente.html>
 scribd. (12 de junio de 2017). <https://www.scribd.com/>. Obtenido de <https://www.scribd.com/>:
<https://www.scribd.com/>
 scribd, e. (14 de mayo de 2017). <https://es.scribd.com/>. Obtenido de <https://es.scribd.com/>:
<https://es.scribd.com/>
 solar, a. (15 de mayo de 2015). <https://academiasolamar.files.wordpress>. Obtenido de
<https://academiasolamar.files.wordpress>: <https://academiasolamar.files.wordpress>.
 taringa. (14 de junio de 2017). <http://www.taringa.net/>. Obtenido de <http://www.taringa.net/>:
<http://www.taringa.net/comunidades/acuar>
 Torres, M. (17 de mayo de 2017). <http://majotorrescocinamolecularyvanguard>. Obtenido de
<http://majotorrescocinamolecularyvanguard>: <http://majotorrescocinamolecularyvanguard>

umag. (14 de junio de 2017). <http://www.umag.cl/>. Obtenido de <http://www.umag.cl/>:
<http://www.umag.cl/>

usfq. (14 de mayo de 2015). <http://www.usfq.edu.ec/>. Obtenido de <http://www.usfq.edu.ec/>:
<http://www.usfq.edu.ec/>

UTN. (15 de junio de 2017). <http://repositorio.utn.edu.ec/>. Obtenido de
<http://repositorio.utn.edu.ec/>: <http://repositorio.utn.edu.ec/>

vago, r. d. (17 de julio de 2015). <http://html.rincondelvago.com/>. Obtenido de
<http://html.rincondelvago.com/>: <http://html.rincondelvago.com/>

VITALISE. (18 de ABRIL de 2015). <http://vitilase.com/sp/vitilago.html>. Obtenido de
<http://vitilase.com/sp/vitilago.html>: <http://vitilase.com/sp/vitilago.html>

winphonometro. (7 de julio de 2015). <https://winphonometro.com/>. Obtenido de
<https://winphonometro.com/>: <https://winphonometro.com/2015/07/micros>

wipedia, e. (14 de junio de 2015). <https://es.m.wikipedia.org/>. Obtenido de
<https://es.m.wikipedia.org/>: <https://es.m.wikipedia.org/wiki/Dipolo>

zhscribd. (12 de junio de 2017). <https://zh.scribd.com/>. Obtenido de <https://zh.scribd.com/>:
<https://zh.scribd.com/>

ANEXOS

Anexo 1. PRIMERA PRUEBA CON EQUIPO DESARMADO



Figura 69: Manómetro presión a 50° C.

Fuente: (Arias, 2017).

Anexo 2. PRIMERA PRUEBA DE TINTURA DE LANA CON CO₂ LÍQUIDO



Figura 70: Muestra Tinturada

Fuente: (Arias, 2017).

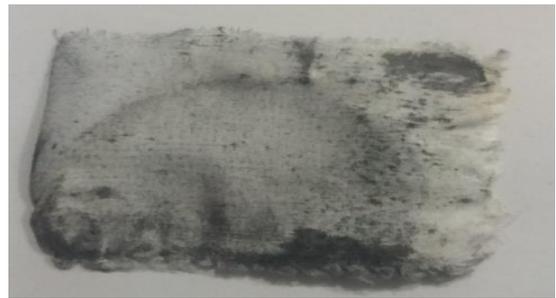


Figura 71: Contenedor de muestras de Tintura

Fuente: (Arias, 2017).



Figura 72: Manchado de paredes

Fuente: (Arias, 2017)

Anexo 3. PRIMER EQUIPO





Figura 73: Vistas de la primera máquina

Fuente: (Arias, 2017).

Anexo 4: TABLA DE VALORES REFERENCIALES DE PRESIÓN

Tablas de Presiones, Pesos y Medidas Tubería Inoxidable																
Diametro Nominal		ced.	Diametro Exterior		Pared Espesor		Presion de Ruptura		Presion Interior de Trabajo		Presion de Aplastamiento		Presion Exterior de Trabajo		Peso Aproximado	
pulg.	mm.		pulg.	mm.	pulg.	mm.	(PSI)	Kg/cm	(PSI)	Kg/cm	(PSI)	Kg/cm	(PSI)	Kg/cm	Lb/pies	Kg/m
1/8"	3.18	10	0.0405	10.287	0.049	1.244	17,070.000	1,200.000	4,270.000	300.000	7,280.000	512.000	1,820.000	128.000	0.184	0.277
		40	0.0405	10.287	0.068	1.727	24,700.000	1,736.000	6,170.000	434.000	10,160.000	714.000	25,040.000	179.000	0.245	0.364
1/4"	0.35	10	0.540	13.716	0.065	1.651	16,980.000	1,194.000	4,240.000	298.000	720.000	506.000	1,800.000	127.000	0.330	0.490
		40	0.540	13.716	0.088	2.235	23,900.000	1,680.000	5,970.000	420.000	9,800.000	689.000	2,450.000	172.000	0.425	0.632
3/8"	9.53	10	0.675	17.145	0.065	1.651	13,300.000	935.000	3,320.000	233.000	5,640.000	396.000	1,410.000	99.000	0.424	630.000
		40	0.65	17.145	0.091	2.311	19,260.000	1,354.000	4,810.000	338.000	8,160.000	574.000	2,040.000	143.000	0.568	0.844
1/2"	12.7	5	0.840	21.336	0.065	1.651	10,510.000	739.000	2,630.000	185.000	4,320.000	304.000	1,080.000	76.000	0.538	0.800
		10			0.083	2.108	13,670.000	961.000	3,420.000	240.000	5,800.000	408.000	1,450.000	102.000	0.671	0.998
		40			0.109	2.768	18,470.000	1,298.000	4,610.000	324.000	7,800.000	548.000	1,950.000	137.000	0.851	1.266
3/4"	19.05	5	1.050	26.670	0.065	1.651	8,300.000	583.000	2,070.000	145.000	3,250.000	228.000	813.000	57.000	0.684	1.062
		10			0.083	2.108	10,750.000	756.000	2,690.000	189.000	4,440.000	312.000	1,110.000	78.000	0.857	1.275
		40			0.113	2.87	15,010.000	1,055.000	3,750.000	264.000	6,360.000	447.000	1,590.000	112.000	1.131	1.682
1"	25.4	5	1.315	33.401	0.065	1.651	6,550.000	460.000	1,640.000	115.000	2,380.000	167.000	595.000	12.000	0.868	1.291
		10			0.109	2.768	11,320.000	796.000	2,830.000	199.000	4,720.000	332.000	1,180.000	83.000	1.404	2.088
		40			0.133	3.378	10,040.000	987.000	3,510.000	6,000.000	6,000.000	422.000	1,500.000	105.000	1.679	2.498
1 1/4"	31.75	5	1.600	42.164	0.065	1.651	5,150.000	362.000	1,290.000	91.000	1,690.000	119.000	422.000	30.000	1.107	1.646
		10			0.109	2.768	8,830.000	621.000	2,210.000	155.000	3,520.000	247.000	881.000	62.000	1.806	2.686
		40			0.145	3.683	11,530.000	811.000	2,880.000	202.000	4,800.000	337.000	1,200.000	84.000	2.273	3.382
1 1/2"	1.900	5	1.900	48.260	0.065	1.651	4,480.000	315.000	1,120.000	79.000	1,375.000	97.000	344.000	24.000	1.274	1.895
		10			0.109	2.768	7,660.000	538.000	1,920.000	135.000	2,960.000	208.000	741.000	52.000	2.085	3.102
		40			0.145	3.683	10,370.000	729.000	2,590.000	182.000	4,280.000	301.000	1,070.000	75.000	2.718	4.044
2"	50.80	5	2.375	60.325	0.065	1.651	3,560.000	250.000	890.000	63.000	936.000	66.000	234.000	16.000	1.604	2.386
		10			0.109	2.768	6,060.000	426.000	1,520.000	107.000	2,150.000	151.000	537.000	38.000	2.638	3.924
		40			0.154	3.911	8,720.000	613.000	2,180.000	153.000	3,440.000	242.000	861.000	61.000	3.653	5.434
2 1/2"	63.50	5	2.875	73.025	0.083	2.108	3,760.000	264.000	940.000	66.000	1,030.000	72.000	257.000	18.000	2.475	3.682
		10			0.120	3.048	5,500.000	387.000	1,380.000	97.000	1,870.000	131.000	468.000	33.000	3.531	5.253
		40			0.203	5.156	9,550.000	671.000	2,390.000	168.000	3,860.000	271.000	966.000	68.000	5.793	8.618
3"	76.20	5	3.500	88.900	0.083	2.108	3,080.000	217.000	770.000	54.000	712.000	50.000	178.000	13.000	3.029	4.506
		10			0.120	3.048	4,490.000	316.000	1,120.000	79.000	1,390.000	98.000	347.000	24.000	4.332	6.445
		40			0.216	5.486	8,270.000	581.000	2,070.000	146.000	3,250.000	228.000	813.000	57.000	7.576	11.271
3 1/2"	88.90	5	4.000	101.600	0.083	2.108	2,690.000	189.000	672.000	47.000	532.000	37.000	133.000	9.000	3.472	5.165
		10			0.120	3.048	3,920.000	276.000	980.000	69.000	1,105.000	78.000	276.000	19.000	4.973	7.398
		40			0.226	5.740	7,540.000	530.000	1,890.000	133.000	2,900.000	204.000	725.000	51.000	9.109	13.552
4"	101.60	5	4.500	114.300	0.083	2.108	2,390.000	168.000	596.000	42.000	382.000	27.000	96.000	7.000	3.915	5.824
		10			0.120	3.048	3,470.000	244.000	867.000	61.000	894.000	63.000	224.000	16.000	5.613	8.351
		40			0.237	6.019	7,000.000	492.000	1,750.000	123.000	2,600.000	183.000	650.000	46.000	10.790	16.053
6"	152.40	5	6.625	168.275	0.109	2.770	2,130.000	150.000	531.000	37.000	270.000	19.000	68.000	5.000	7.585	11.290
		10			0.134	3.400	2,620.000	184.000	655.000	46.000	504.000	35.000	126.000	9.000	9.289	13.826
		40			0.280	7.11	5,580.000	392.000	1,395.000	98.000	1,915.000	135.000	479.000	34.000	18.970	28.234
8"	203.2	5	8.625	219.075	0.109	2.770	1,630.000	114.000	407.000	28.000	122.000	9.000	31.000	2.000	9.914	14.757
		40			0.148	3.77	2,220.000	156.000	555.000	39.000	310.000	22.000	78.000	5.000	13.400	19.946
10"	254	5	10.75	273.05	0.134	3.4	1,605.000	113.000	401.000	28.000	120.000	8.000	30.000	2.000	15.190	22.610
		40			0.165	4.19	1,980.000	139.000	495.000	35.000	220.000	15.000	55.000	4.000	18.700	27.835
12"	304.8	5	12.75	12.75	0.156	3.96	1,575.000	111.000	394.000	28.000	114.000	8.000	29.000	2.000	22.180	33.015
		40			0.180	4.57	1,820.000	128.000	455.000	32.000	173.000	12.000	43.000	3.000	24.200	36.022