

**IMPLEMENTACIÓN DE UN PROCESO QUE UTILICE EL POLIESTIRENO
POST-CONSUMO CONTENIDO EN RESIDUOS SÓLIDOS, PARA OBTENER
AGLOMERADOS A PARTIR DE EMULSIONES DE POLIESTIRENO**

**LEYDY KATHERINE ARDILA PINTO
MAYERLY ADRIANA CASTAÑEDA RINCÓN**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
LABORATORIO DE QUÍMICA INDUSTRIAL
BUCARAMANGA**

2010

**IMPLEMENTACIÓN DE UN PROCESO QUE UTILICE EL POLIESTIRENO
POST-CONSUMO CONTENIDO EN RESIDUOS SÓLIDOS, PARA OBTENER
AGLOMERADOS A PARTIR DE EMULSIONES DE POLIESTIRENO**

**LEYDY KATHERINE ARDILA PINTO
MAYERLY ADRIANA CASTAÑEDA RINCÓN**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Químico

**DIRECTOR
JOSE CARLOS GUTIERREZ GALLEGO
QUÍMICO M.Sc.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
LABORATORIO DE QUÍMICA INDUSTRIAL
BUCARAMANGA**

2010

AGRADECIMIENTOS

Al profesor JOSÉ CARLOS GUTIÉRREZ por sus consejos, paciencia y dirección de la investigación.

A la escuela de química por permitir el desarrollo de la investigación en sus instalaciones.

A la escuela de ingeniería civil por permitir el uso de sus equipos en el desarrollo de la investigación.

Y a todos aquellos que contribuyeron de una u otra forma en el desarrollo de la investigación.

DEDICATORIAS

A DIOS por iluminarme todos los días de mi vida.

A mis padres Flor Elva y William por su amor, paciencia y apoyo incondicional.

A mis hermanos Katherine, Mauricio y Joan por su apoyo y compañía.

*A todas aquellas personas que desde el inicio de mi vida están a mi lado y a aquellas que con el tiempo me acompañaron
y siguen hasta hoy.*

MAYERLY ADRIANA CASTAÑEDA RINCÓN

A Dios por acompañarme en cada instante de mi vida
A mis padres Gerardo y Elizabeth por su amor y apoyo incondicional
A mi hermana Mónica por sus consejos y compañía
A mi Jeffer por su amor, amistad y apoyo

LEYDY KATHERINE ARDILA PUNTO

TABLA CONTENIDO

	PÁG.
INTRODUCCIÓN	21
1. MARCO TEORICO	23
1.1 EL POLIESTIRENO	23
1.1.1 Poliestireno expandido (EPS)	24
1.1.2 Propiedades del poliestireno expandido (EPS)	25
1.1.2.1 Propiedades físicas	25
1.1.2.2 Resistencia Química	26
1.1.2.3 Propiedades biológicas	27
1.2 LECITINA DE SOYA	28
1.3 CASCARILLA DE ARROZ	30
1.4 EMULSIONES	31
1.4.1 Estabilidad de las emulsiones	33
1.4.2 Agentes tensioactivos como emulsificantes	36
1.4.3 Acción de los tensioactivos en la emulsificación	38
1.4.4 Caracterización de emulsiones	39
1.4.5 Número HLB	39
1.4.6 Criterios de selección de emulsionantes	42
1.4.6.1 Estructura Química.	43
1.4.6.2 Solubilidad	43
1.4.6.3 Proporciones en volumen	43
1.4.6.4 Emulsionante iónico o no iónico	43
1.4.7 La regla de Bancroft	44
1.4.8 Las aplicaciones de las emulsiones	44
1.4.9 Características de un buen agente emulsionante y de un agente estabilizador	45

1.5	AGLOMERADO Ó MADERA PLÁSTICA	45
1.6	CARACTERIZACIÓN DE LOS AGLOMERADOS	47
1.6.1	Test de llama	47
1.6.2	Degradación química	48
1.6.3	Resistencia al deterioro por agentes bióticos	48
1.6.4	Densidad	48
1.6.5	Propiedades mecánicas	48
1.6.5.1	Dureza	49
1.6.5.2	Ensayo de compresión	50
1.6.5.3	Ductilidad	51
1.6.5.4	Tenacidad	52
2.	DISEÑO METODOLÓGICO	53
2.1	LIMITE DE SOLUBILIDAD DEL POLIESTIRENO EN XILENO	53
2.2	PREPARACIÓN DE LA EMULSIÓN	53
2.2.1	Preparación de las emulsiones sin usar tensioactivo	53
2.2.2	Preparación de las emulsiones utilizando un tensioactivo	53
2.2.3	Preparación de las emulsiones usando como tensioactivo lecitina de soya y agregando directamente el poliestireno en la preparación de las emulsiones	54
2.3	OBSERVACIÓN DE LA EMULSIÓN POR MEDIO DE UN MICROSCOPIO	54
2.4	PREPARACIÓN DE LOS AGLOMERADOS	54
2.5	CARACTERIZACIÓN DE LOS AGLOMERADOS	55
2.5.1	Test de la llama	55
2.5.2	Degradación química	55
2.5.3	Resistencia al deterioro por agentes bióticos	56
2.5.4	Determinación de la densidad	56
2.5.5	Propiedades mecánicas	56
2.5.5.1	Prueba de dureza.	57
2.5.5.2	Ensayo Compresión	57
2.5.5.3	Ensayo de Impacto	57

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	58
3.1 LIMITE DE LA SOLUBILIDAD DEL POLIESTIRENO EN XILENO	58
3.2 PREPARACIÓN DE LA EMULSIÓN	59
3.2.1 Preparación de la emulsión sin usar tensioactivo	59
3.2.2 Preparación de la emulsión xileno en agua (W/O) usando como tensioactivo Texapón al 70%	59
3.2.3 Preparación de la emulsión agua en xileno (O/W) usando como tensioactivo Texapón al 70%	60
3.2.4 Preparación de la emulsión usando como tensioactivo lecitina de soya	61
3.2.5 Preparación de la emulsión usando como tensioactivo lecitina de soya y agregando directamente el poliestireno en su preparación	61
3.3 OBSERVACIÓN DE LA EMULSIÓN 30 POR MEDIO DE UN MICROSCOPIO	63
3.4 PREPARACIÓN DE LOS AGLOMERADOS	66
3.4.1 Preparación de los aglomerados preliminares	66
3.5 CARACTERIZACIÓN DE LOS AGLOMERADOS	68
3.5.1 Test de la llama	68
3.5.2 Degradación química	69
3.5.3 Resistencia al deterioro por agentes bióticos	72
3.5.4 Determinación de la densidad de los aglomerados	73
3.5.5 Propiedades mecánicas	73
3.5.5.1 Prueba de dureza	73
3.5.5.2 Ensayo de Compresional	74
3.5.5.3 Ensayo de impacto	81
3.6 IMPACTO SOCIAL, TECNOLÓGICO, AMBIENTAL Y ACADÉMICO	82
4. CONCLUSIONES	84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85

LISTA DE FIGURAS

	PÁG.
Figura 1. Estructura y propiedades del poliestireno	23
Figura 2. Estructuras químicas que conforman la lecitina de soya	29
Figura 3. Estructura de la lecitina y actividad emulsionante	30
Figura 4. Esquema de una emulsión	32
Figura 5. Mecanismos que contribuyen a la inestabilidad de las emulsiones	34
Figura 6. Estructura típica de una molécula de agente tensioactivo.	36
Figura 7. Representación esquemática de los diagramas de tracción de materiales frágiles y dúctiles ensayados hasta la fractura	51
Figura 8. Emulsiones xileno en agua sin tensioactivo	59
Figura 9. Emulsiones xileno en agua usando como tensioactivo Texapón 70	60
Figura 10. Emulsiones preparadas usando como tensioactivo lecitina de soya	61
Figura 11. Emulsiones preparadas usando como tensioactivo lecitina de soya y agregando directamente el poliestireno en su preparación	62
Figura 12. Emulsiones 28 y 30 respectivamente, preparadas usando como tensioactivo lecitina de soya y agregando directamente el poliestireno en su preparación	63
Figura 13. Observación microscópica de la emulsión 30 con un objetivo de 4X	63
Figura 14. Observación microscópica de la emulsión 30 con un objetivo de 10X	64
Figura 15. Observación microscópica de la emulsión 30 con un objetivo de 40X	64
Figura 16. Observación microscópica de la emulsión 30 con un objetivo de 100X	64
Figura 17. Esquema de la distribución de los componentes de la emulsión	65
Figura 18. Esquema de la acción del tensioactivo en la emulsión	65
Figura 19. Test de la llama	68
Figura 20. Cambio del aglomerado expuesto a NaOH al 10%	69
Figura 21. Cambio del aglomerado expuesto a CH ₃ COOH al 10%	70

Figura 22. Cambio del aglomerado expuesto a HCl al 10%	70
Figura 23. Cambio del aglomerado expuesto a H ₂ SO ₄ al 10%	70
Figura 24. Cambio del aglomerado expuesto a H ₂ O	71
Figura 25. Cambio del aglomerado expuesto a HNO ₃ al 10%	71
Figura 26. Cambio del aglomerado expuesto al sol y al agua lluvia	72
Figura 27. Probetas utilizadas para prueba mecánica de compresión	74
Figura 28. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria para el aglomerado 48	75
Figura 29. Grafica esfuerzo vs deformación unitaria para el tramo en el cual la gráfica fue recta para el aglomerado 48	75
Figura 30. Grafica esfuerzo vs deformación unitaria para el aglomerado 49	76
Figura 31. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria para el tramo en el cual la gráfica fue recta para el aglomerado 49	76
Figura 32. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria para el aglomerado 51	77
Figura 33. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria para el tramo en el cual la gráfica fue recta para el aglomerado 51	77
Figura 34. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria para el aglomerado 52	78
Figura 35. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria para el tramo en el cual la gráfica fue recta para el aglomerado 52	78
Figura 36. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria para las diferentes probetas	79
Figura 37. Probetas 48, 49, 51 y 52 después de realizada la prueba de compresión	81
Figura 38. Probeta utilizada para prueba mecánica de impacto	81

LISTA DE TABLAS

	PÁG.
Tabla 1. Cuadro resumido de las propiedades químicas del EPS usual en el mercado*	26
Tabla 2. Comparación de la conductividad térmica de la cascarilla de arroz y algunos aislantes comerciales	31
Tabla 3. Valor de HLB según las características de dispersión	41
Tabla 4. Aplicaciones de los tensioactivos en función de su valor HLB	42
Tabla 5. Datos del límite de solubilidad del poliestireno en xileno	58
Tabla 6. Datos de la preparación de los aglomerados	66
Tabla 7. Datos obtenidos en la determinación del comportamiento ante químicos de los aglomerados	69
Tabla 8. Datos obtenidos en la determinación de la densidad de los aglomerados	73
Tabla 9. Dureza de los aglomerados preparados, determinada con un durómetro tipo D	73
Tabla 10. Resultados de esfuerzo ultimo y modulo de elasticidad para las probetas sometidas a compresion	80
Tabla 11. Resultados obtenidos en el ensayo de impacto	81

LISTA DE ANEXOS

	PÁG.
ANEXO A FICHA DE SEGURIDAD DEL XILENO	87
ANEXO B FICHA TECNICA DEL TEXAPON 70	91

ABREVIATURAS

PS: Poliestireno

GPPS: Poliestireno Cristal

HIPS: Poliestireno de alto Impacto

EPS: Poliestireno Expandido

O/W: Aceite en Agua

W/O: Agua en Aceite

HLB: Balance hidrofílico lipofílico

RESUMEN

TITULO: IMPLEMENTACIÓN DE UN PROCESO QUE UTILICE EL POLIESTIRENO POST-CONSUMO CONTENIDO EN RESIDUOS SÓLIDOS, PARA OBTENER AGLOMERADOS A PARTIR DE EMULSIONES DE POLIESTIRENO*

AUTORES: MAYERLY ADRIANA CASTAÑEDA RINCON
LEYDY KATHERINE ARDILA PINTO**

Palabras claves: poliestireno expandido, emulsión, aglomerado

Uno de los materiales de mayor consumo en la actualidad es el poliestireno expandido ya que se utiliza para la fabricación de una gran variedad de productos industriales. Esto conlleva a una problemática ambiental ya que como muchos otros polímeros, el poliestireno no es biodegradable y de esta forma se acumula en los sitios de disposición final de desechos. En busca de soluciones a este problema, en este trabajo se decidió darle un empleo útil al poliestireno post-consumo empleándolo en la preparación de emulsiones xileno-agua-tensioactivo. Antes de comenzar con la preparación de la emulsión se experimento hasta encontrar el mejor tensioactivo para el tipo de emulsiones que se deseaba preparar, escogiéndose la lecitina de soya por ser un emulsionante natural, biodegradable y de fácil emulsificación. Durante la preparación de la emulsión se llevaron a cabo diversos ensayos variando las proporciones de los componentes de esta, hasta que la emulsión preparada fue estable, disminuyendo al máximo la cantidad de xileno y tensioactivo con el fin de obtener un proceso rentable y ecológico. Posteriormente, dicha emulsión fue usada como un adhesivo en la elaboración de un material compuesto aglomerado, estudiándose la cantidad de poliestireno que debía ser adicionado en la preparación de la emulsión, el tipo de carga (cascarilla de arroz o aserrín), el tiempo de secado y la variación de la temperatura durante el proceso de horneado, para que el material obtenido presentara características similares (densidad, dureza, capacidad ignífuga, resistencia al agua, a ácidos, al ataque bioquímico y a la intemperie) a los que actualmente se encuentran en el mercado.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ciencias, Escuela de Química, Director GUTIERREZ José Carlos

ABSTRAC

TITLE: IMPLEMENTATION OF A PROCESS TO USE THE CONTENT POLYSTYRENE IN POST-CONSUMER SOLID WASTE TO OBTAIN PATENT FROM POLYSTYRENE EMULSIONS.

AUTHOR: MAYERLY ADRIANA CASTAÑEDA RINCÓN
LEYDY KATHERINE ARDILA PINTO**

KEY WORDS: polystyrene foam, emulsion, particle board

Expanded polystyrene is one of the most consumed materials today because it is used for the manufacture of a wide variety of industrial products. This leads to an environmental problem because like many other polymers, polystyrene is not biodegradable and thus it accumulates at sites of waste disposal. In search of solutions to this problem, this paper decided to give a useful utilization to the post-consumer polystyrene using it in the preparation of emulsions xylene-water-surfactant. Before beginning with the preparation of the emulsion experiment until finding the best tensioactive for the type of emulsions that was desired to prepare, choosing the lecitina of soya for being a natural, biodegradable surfactant and of easy emulsification. During the preparation of the emulsion several tests were carried out varying the proportions of the components of this, until the prepared emulsion was stable, minimizing the amount of xylene and surfactant to obtain a profitable and ecological process. Subsequently, the emulsion was used as an adhesive in the preparation of composite material agglomerate, studying the amount of polystyrene that should be added in the preparation of the emulsion, the type of cargo (rice husks or sawdust), the drying time and the variation of temperature during the baking process, so that the material obtained with similar characteristics (density, hardness, fireproof ability, resistance to water, acids, and biochemical attack in the open) that are currently in market.

* Degree Project

** Faculty of Science , School of Chemical , Director GUTIERREZ José Carlos

INTRODUCCIÓN

Es difícil imaginar la vida moderna sin plásticos y es indiscutible que el avance en la tecnología de dichos materiales ha traído innumerables beneficios a la humanidad. Esos avances tecnológicos han vuelto la vida moderna mucho más confortable, dado que se han reemplazado materiales tradicionales como madera, vidrio, gomas y fibras naturales por polímeros sintéticos, más resistentes y versátiles. Por otra parte, la mayoría de los plásticos han sido diseñados para ser resistentes a todo tipo de degradación. Resulta evidente que a la hora de deshacerse de ellos, los ecosistemas resultan seriamente dañados. **(1)**

Los materiales plásticos encuentran aplicación en todas las áreas de producción y consumo de la sociedad. Uno de los materiales de mayor consumo es el poliestireno debido a la facilidad que tiene este material de ser combinado y mezclado con una multitud de aditivos y modificadores dando los productos adecuados para la fabricación de una gran variedad de objetos industriales, con lo que crece la demanda en el mercado y a su vez se incrementa la cantidad para disposición final del material.

Se han planteado varias soluciones para el manejo de desechos sólidos de polímeros, como la incineración, deposición bajo tierra, reciclaje y polímeros degradables. El reciclaje de polímeros no es una solución permanente debido a que este proceso consume una gran cantidad de energía térmica y el número de veces que un material puede ser reciclado es limitado y por otra parte, la incineración de polímeros libera gases tóxicos, los cuales pueden presentar un grave problema para la salud. Debido a esta problemática surge la necesidad de desarrollar un estudio basado en el reciclaje del poliestireno, que permita, en lugar

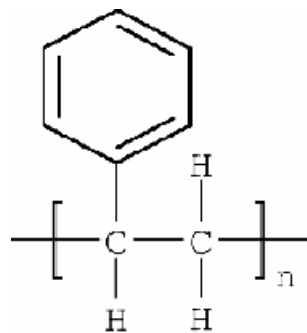
de producir grandes cantidades de desperdicio lograr tener una fuente de inversión.

Por lo tanto la utilización del poliestireno post-consumo y la cascarilla de arroz para la fabricación de nuevos productos (madera plástica) es un significativo tema de investigación para la industria de los tableros aglomerados.

1. MARCO TEORICO

1.1 EL POLIESTIRENO

Figura 1. Estructura y propiedades del poliestireno



Poli(1- feniletileno)
Homopolimero de etenilbenceno
(C₈H₈)_x
Masa molecular: 10000 - 300000 g/mol
Punto de fusion: 240 °C
Punto de inflamación: 345 - 360°C
Temperatura de autoignición: 427°C
Densidad relativa (agua = 1): 1.04 - 1.13 g/cm³

El poliestireno (PS) es un polímero lineal, siendo un producto comercial atáctico y por tanto amorfo. Como la mayoría de los polímeros, el PS es relativamente inerte al ataque químico. Es bastante resistente a los álcalis, haluros de ácido, a los agentes oxidantes y reductores. El PS se convierte a temperaturas elevadas en una mezcla de compuestos de bajo peso molecular, siendo aproximadamente la mitad de ellos estireno. El olor característico del monómero sirve de identificación para el polímero. Por otro lado el poliestireno expandido es fácilmente atacado por una gran variedad de disolventes. Su estabilidad al envejecimiento atmosférico es mala; al ser expuesto se vuelve amarillo y se cuarteo **(2)**.

- Mecanismos de reacción: el mecanismo de reacción del PS se da por la polimerización en cadena de radicales libres, para lo cual es necesario un iniciador que genere gran cantidad de radicales a la temperatura de operación.
- Clases de poliestireno:

Se distinguen varios tipos de poliestireno con propiedades diferentes que permiten a su vez la producción de una diversidad de artículos para usos variados.

Existen dos tipos básicos de poliestireno:

- Poliestireno de uso general o poliestireno cristal (GPPS)
- Poliestireno de alto impacto (HIPS)

A partir del poliestireno de uso general se obtienen otras variedades de PS como el expandido (EPS) **(2)**.

1.1.1 Poliestireno expandido (EPS)

Este material más conocido como “icopor”, “corcho blanco”, “poliespan” o “porexpan”, es un material plástico, generalmente de color blanco, compuesto esencialmente de aire (hasta un 98%) y se utiliza por un lado en la construcción como aislante térmico y acústico y como material de aligeramiento de estructuras diversas; por otro lado, para el embasado y embalado de diversos productos y mercancías, además de multitud de aplicaciones diversas desde los cascos de ciclistas y motociclistas, así como de envases especiales para el transporte de órganos destinados al trasplante.

En el proceso de expansión del EPS, el agente expansor, generalmente es el pentano, esta disperso en la matriz de PS y sufre una expansión al cambiar de fase debido a un aumento de la temperatura. El PS que rodea a cada una de las micelas de pentano no lo deja salir fácilmente y en cambio sufre un aumento de volumen para compensar la presión interna del gas formado, lo que conlleva a que se formen las celdas en la matriz del EPS, cuyo tamaño es de alrededor de 0.2 a 2 micrómetros. Este proceso debe llevarse a cabo a una temperatura que permita el

proceso expansivo que debe ser mayor a la temperatura de transición vítrea del PS que contiene el agente expansor.

1.1.2 Propiedades del poliestireno expandido (EPS)

1.1.2.1 Propiedades físicas

- **Densidad**

Los productos fabricados con poliestireno expandido se muestran como materiales espumados de gran ligereza. Dependiendo de la aplicación del EPS, sus densidades varían entre 10 kg/m^3 hasta los 50 kg/m^3 . **(3)** y **(4)**

- **Comportamiento ante el agua**

Debido a su amplia aplicación en los campos del embalaje y la construcción el comportamiento del EPS ante el agua es un tema importante.

El EPS es un material hidrofóbico ya que su fase plástica está compuesta de átomos de carbono e hidrógeno en ausencia de grupos polares. No tiene capilaridad alguna y aún sumergido en agua sus niveles de adsorción son mínimos, después de 28 días en ensayo su adsorción de agua se ubica entre el 1 y 3% **(3)**, **(4)** y **(5)**.

- **Estabilidad frente a la temperatura**

El EPS sufre alteraciones en sus características por la acción de temperatura. A excepción de las variaciones típicas por contracción, el EPS mantiene sus propiedades a temperaturas consideradas de frío extremo.

Por el otro lado a temperaturas elevadas ANAPE (2003) expresa que el límite superior para aplicaciones “flash” o de corto plazo es de 100°C y de 80°C para usos continuados y con el material sometido a una carga de 20 KPa.

- **Comportamiento al fuego**

Auto extingüible (no propaga llama): contiene agente ignífugo – Carga combustible despreciable.

1.1.2.2 Resistencia Química: El poliestireno es un polímero no polar por lo cual será atacado por solventes que muestren esta característica.

El EPS sufre de forma muy notoria el ataque de disolventes orgánicos tradicionales como la acetona. Sin embargo el EPS muestra una notoria resistencia a ser atacado por cualquier medio acuoso básico o ácido **(3) y (5)**.

Tabla 1. Cuadro resumido de las propiedades químicas del EPS usual en el mercado*

SUSTANCIA ACTIVA	ESTABILIDAD
Solución salina	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Jabones y soluciones de tensioactivos	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Lejías	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Ácidos diluidos	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Ácido clorhídrico (al 35%), ácido nítrico (al 50%)	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Ácidos concentrados (sin agua) al 100%	No estable: El EPS se contrae o se disuelve
Soluciones alcalinas	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada

SUSTANCIA ACTIVA	ESTABILIDAD
Disolventes orgánicos (acetona, ésteres,..)	No estable: El EPS se contrae o se disuelve
Hidrocarburos alifáticos saturados	No estable: El EPS se contrae o se disuelve
Aceites de parafina, vaselina	Relativamente estable: en una acción prolongada, el EPS puede contraerse o ser atacada su superficie
Aceite de diesel	No estable: El EPS se contrae o se disuelve
Carburantes	No estable: El EPS se contrae o se disuelve
Alcoholes (metanol, etanol)	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Aceites de silicona	Relativamente estable: en una acción prolongada, el EPS puede contraerse o ser atacada su superficie

1.1.2.3 Propiedades biológicas: El EPS es un material que no se pudre, no enmohece y no se descompone. Tampoco tiene valor nutritivo alguno que fomente el desarrollo de microorganismos. Sin embargo en muchas de sus aplicaciones la estructura resulta impregnada de residuos por lo cual puede convertirse en portador de microorganismos aunque no participe del proceso biológico (3).

1.2 LECITINA DE SOYA

La lecitina es el único emulsionante natural de uso comercial.

La estructura molecular es un fosfátido formado por un diglicérido (que puede contener los ácidos esteárico, palmítico y oleico) y la base nitrogenada colina unida al glicerol por un grupo fosfato.

La forma más común de obtención de lecitina para aplicación industrial es como subproducto de la refinación del aceite, principalmente, de soja que contiene aproximadamente un 2-3% de lecitina. También se puede obtener a partir del huevo, pero el precio es tan elevado que no se utiliza habitualmente en la industria.

Los productos comerciales conocidos como "lecitina cruda" contienen un 50-60% de fosfolípidos, de interés para aplicación tecnológica diversa. Si esta lecitina se somete a un proceso de purificación posterior a su extracción, para eliminar impurezas, se consigue 90-95% de purificación. A tal concentración tiene interés para fines dietéticos y tienen función tecnológica, aunque es más difícil incorporarla al alimento.

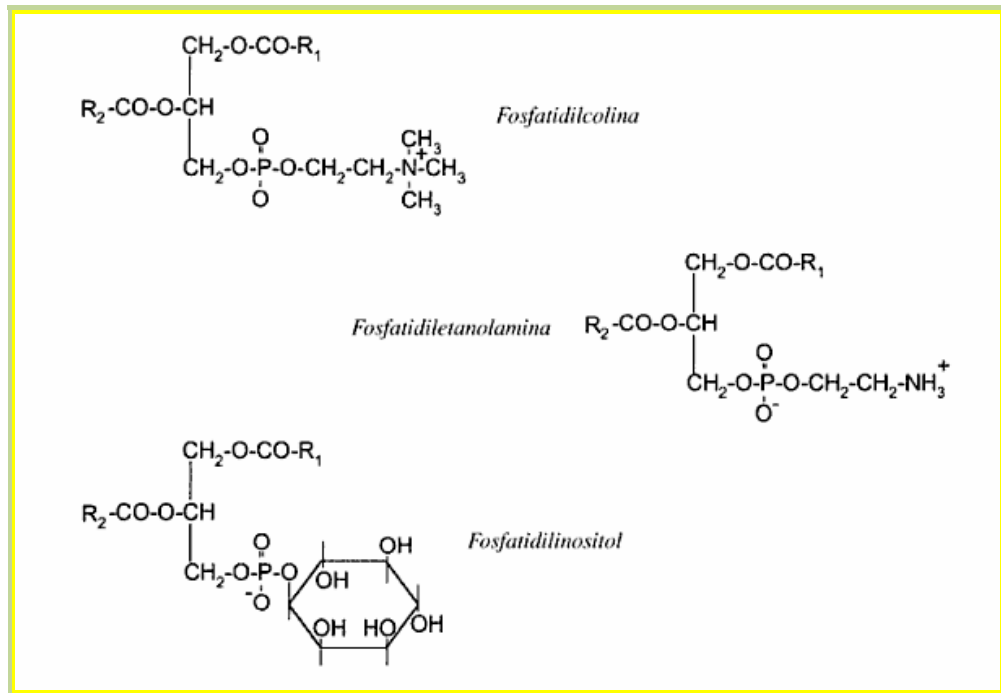
Como característica general la lecitina es insoluble en agua, aunque se hidrata y forma emulsiones debido a su carácter dipolar. **(6)**

Su comportamiento depende de la proporción que contenga en fosfatidilcolina, fosfatidiletanolamina, fosfatidilinositol que son glicerofosfolípidos que se encuentran en una lecitina bruta de soja y que presentan diferentes capacidades emulsionantes:

- Fosfatidilcolina: básicamente estabiliza emulsiones tipo O/W.

- Fosfatidiletanolamina: básicamente estabiliza emulsiones tipo W/O.
- Fosfatidilinositol: básicamente estabiliza emulsiones tipo W/O.

Figura 2. Estructuras químicas que conforman la lecitina de soya



* Fuente: ANAPE. El EPS. Propiedades químicas del poliestireno expandido. En línea.

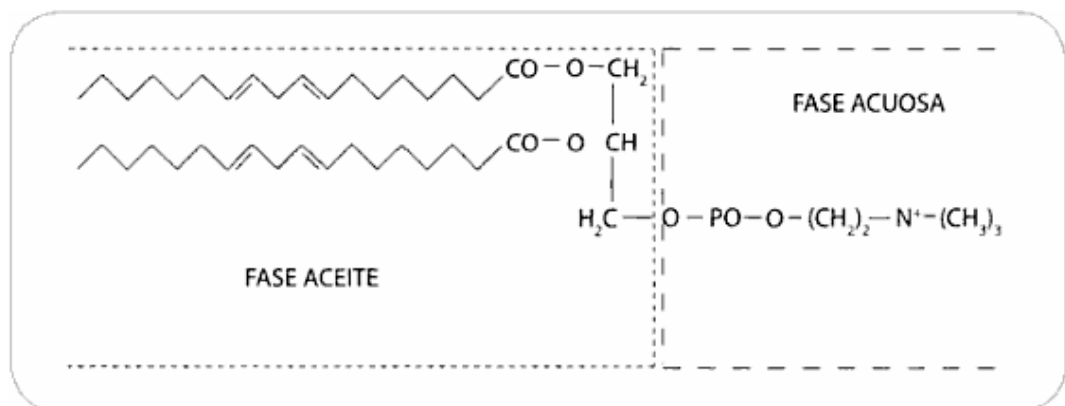
Existen metodos para la separación de los glicerofosfolípidos que componen la molécula de lecitina:

- Separación de las distintas fracciones con alcohol.
- Tratamiento con enzimas específicas (fosfolipasas).
- Hidrólisis ácida.
- Acetilación.
- Hidroxilación. **(6)**

La estructura molecular de la lecitina tiene carácter anfifílico, es decir presenta una parte de su molécula con carácter apolar e hidrofóbico, correspondiente a las

cadenas hidrocarbonadas de los ácidos grasos, y otra parte polar e hidrófila, correspondiente al ácido fosfórico y el resto orgánico. Esta disposición molecular es altamente favorable para que este compuesto establezca emulsiones, orientando su parte polar hacia la fase acuosa, su parte apolar hacia la fase grasa de la emulsión (ver figura 3). (7)

Figura 3. Estructura de la lecitina y actividad emulsionante



1.3 CASCARILLA DE ARROZ

La cascarilla de arroz es una fibra corta que recubre naturalmente el grano para protegerlo del ambiente, su longitud varía entre 5 y 11 mm según la especie considerada, es de estructura ondulada y apariencia superficial irregular, su estructura presenta un volumen poroso del 54%, cavidades que permanecerán cerradas en tanto no se someta a un proceso de combustión, su coeficiente de conductividad térmica permite presumir su utilidad como componente principal de sistemas de aislamiento térmico, tal y como se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 2. Comparación de la conductividad térmica de la cascarilla de arroz y algunos aislantes comerciales

Material	K (W/m*k)
Lana mineral	0.0303
Poliestireno expandido	0.0330
Cascarilla de arroz	0.0360
Fibra de vidrio	0.0380
Corcho aglomerado	0.0450

Esta fibra presenta un comportamiento ignifugo, es decir que no inicia fácilmente la combustión y no produce llama mientras se quema. Es probable que este aspecto, así como su alta estabilidad bioquímica, se deba a que es la fibra vegetal con mayor contenido de minerales, así como también a su alta concentración de silicio (90-97% SiO₂). La transformación de las propiedades físico-químicas de la cascarilla comienza por encima de los 750°C, lo cual le garantiza un amplio rango de estabilidad térmica. (8)

1.4 EMULSIONES

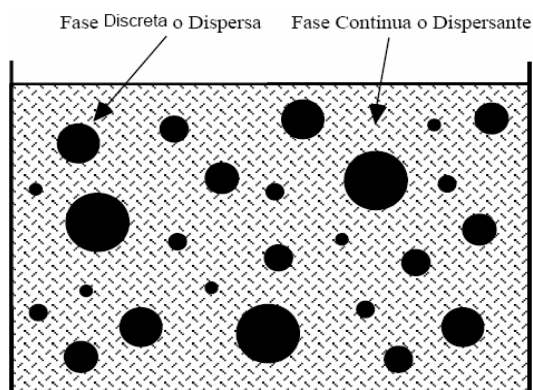
Las emulsiones son mezclas de componentes poco o nada miscibles, por lo que deben introducirse en su formulación sustancias que faciliten la dispersión de sus componentes de forma íntima y mantengan durante un cierto tiempo estable la emulsión. Tales sustancias se denominan emulsionantes o emulgentes. Su selección debe permitir conseguir emulsiones de las propiedades requeridas durante el tiempo deseado.

La selección de emulsionantes suele hacerse de forma empírica o intuitiva, basándose en la experiencia previa y realizándose posteriormente experimentación para probar si el producto seleccionado es satisfactorio. El

conocimiento de los mecanismos por los que actúa una emulsión puede ayudar a su selección de forma más rápida y eficaz, ahorrándose tiempo y dinero. **(9)**

Las emulsiones son sistemas formados por dos fases parcial o totalmente inmiscibles, una es denominada fase continua o dispersante y la otra la fase discreta o dispersa (ver figura 4).

Figura 4. Esquema de una emulsión



Generalmente el tamaño de la fase discreta tiene alguna dimensión lineal entre un nanómetro y una micra, son estos tamaños tan pequeños los que le dan a la emulsión sus importantes propiedades **(10)**.

En la mayoría de las emulsiones una de las fases es acuosa y la otra es un aceite polar. Las emulsiones con el aceite como fase dispersa se conocen como emulsiones de aceite en agua (*oil-in-water*, o/w) y las emulsiones con agua como fase dispersa se conocen como emulsiones de agua en aceite (*water-in-oil*, w/o). El tipo de emulsión que se tiende a formar depende fundamentalmente de los volúmenes relativos de las dos fases presentes y del balance entre las propiedades hidrófilas e hidrófobas del agente emulsificante. Generalmente se suele cumplir la regla de Bancroft **(11)**: la fase continua es aquella la cual solubiliza al agente emulsificante. También es posible la transformación de una emulsión O/W a W/O o viceversa.

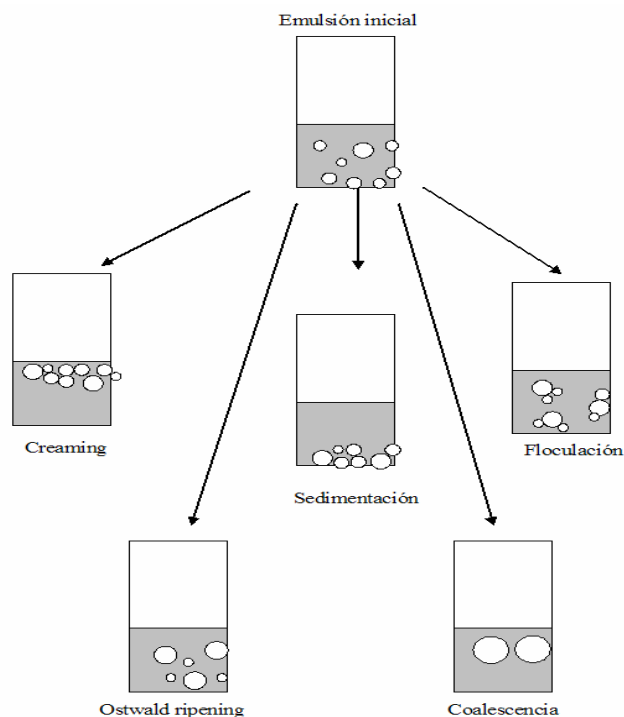
1.4.1 Estabilidad de las emulsiones

Las emulsiones son termodinámicamente inestables. En una emulsión la energía libre asociada a la superficie incrementa la energía libre total del sistema. Por tanto la emulsión tiende a romperse espontáneamente reduciéndose de este modo el área interfacial.

La emulsión se puede estabilizar mediante la introducción de agentes tensioactivos. Su acumulación en la interface aceite-agua reduce su tensión interfacial y, por tanto, la energía libre superficial del sistema es menor.

Una emulsión puede mantenerse estable durante un cierto tiempo, la disminución de temperatura mejora de forma considerable la estabilidad de las emulsiones al frenar el movimiento browniano de las partículas que las componen. En la figura 5 se resumen algunos de los posibles mecanismos de rotura espontánea de una emulsión: “creaming” o sedimentación inversa, sedimentación, floculación, coalescencia, y engrosamiento de gotas (Ostwald ripening), que pueden ocurrir simultánea o secuencialmente y a velocidades muy variables y dependientes de muy diversos factores. **(9)**

Figura 5. Mecanismos que contribuyen a la inestabilidad de las emulsiones



A continuación se explican cada uno de los mecanismos de inestabilidad de las emulsiones:

- “*Creaming*”/*sedimentación*. Se trata de un proceso causado por la acción de la gravedad y produce un gradiente vertical de concentración de las gotas sin variar la distribución del tamaño de las mismas. Para las emulsiones o/w, las gotas de aceite son menos densas que la fase continua y acuosa y por lo tanto principalmente ocurre el “*creaming*”.
- La *floculación* es la adhesión de las gotas sin fusionarse y no existe una variación en la distribución de tamaño de gotas. El proceso de la *floculación* está controlado por un equilibrio global entre las fuerzas de atracción electrostáticas de van der Waals, y repulsivas de tipo estéricas y de hidratación.

- *Coalescencia* es la fusión de gotas para crear unas gotas más grandes con la eliminación de parte de la interfase líquido/líquido. Este cambio irreversible requeriría un aporte extra de energía para restablecer la distribución de tamaño de partícula original. A pesar de que el proceso de inestabilidad debido a la coalescencia no se comprende en su totalidad, se cree que está relacionado con la curvatura preferida y con la rigidez de la capa de tensioactivo que estabiliza la emulsión.
- *Engrosamiento de gotas (Ostwald ripening)*. Se debe al crecimiento de las gotas más grandes a costa de las más pequeñas hasta que éstas últimas prácticamente desaparecen. Este proceso ocurre a una velocidad que es función de la solubilidad de la fase dispersa en la fase continua y se debe a que la presión interna de las gotas (presión de Laplace) es mayor en las gotas más pequeñas. **(12)**

En general, el complejo proceso de la inestabilidad de las emulsiones suele ocurrir mediante la combinación de los cuatro posibles procesos de inestabilidad que pueden suceder simultáneamente a diferentes velocidades. De hecho, la mayoría de las veces, dos de los procesos anteriormente citados se suelen acoplar. Por ejemplo, las velocidades de flotación en las emulsiones diluidas son más rápidas en sistemas floculados que en los no-floculados debido al aumento del tamaño de partícula flotante en el primer caso. **(9)**

La estabilidad de las emulsiones vendrá determinada especialmente por la cinética de los procesos de floculación y de coalescencia. Los principales parámetros involucrados son:

- La distribución del tamaño de gotas
- La temperatura
- La viscosidad de la fase continua y su variación con la temperatura
- La naturaleza de la película interfacial

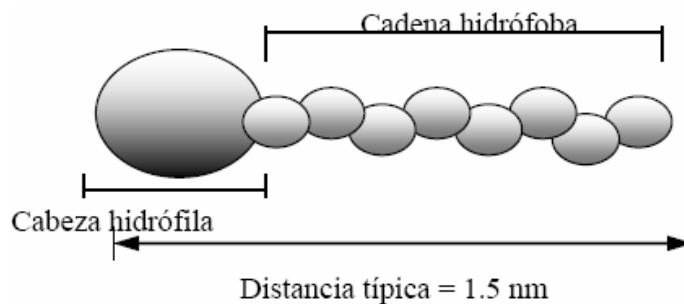
- La existencia de barreras eléctricas o estéricas superficiales

La estabilización de una emulsión puede lograrse mediante tres tipos de especies químicas; partículas solidas, o polímeros de peso molecular alto (como por ejemplo almidón o polialcoholes) que aumentan la viscosidad de la fase continua y compuestos anfifílicos de peso molecular medio o bajo llamados tensioactivos. (9)

1.4.2 Agentes tensioactivos como emulsificantes

Los agente tensioactivos, son moléculas que pueden adsorber en las interfaces, formar agregados y auto asociarse en soluciones acuosas (13). Estas moléculas están caracterizadas por la posesión de dos partes de naturaleza opuesta, una polar y otra apolar. La parte polar o hidrófila de la molécula puede llevar una carga positiva o negativa, y es esta parte la que define al agente tensioactivo como catiónico o aniónico respectivamente. Otros agentes tensioactivos en cambio, no muestran carga iónica (no-iónicos). La parte apolar o hidrófoba de la molécula generalmente suele ser una cadena longitudinal de hidrocarburos. La Figura 6 muestra un esquema de una molécula de agente tensioactivo típico. (12)

Figura 6. Estructura típica de una molécula de agente tensioactivo.



Clases de agentes tensioactivos:

Los agentes tensioactivos se pueden clasificar en función de la naturaleza iónica de la cabeza:

i) Aniónicos: se trata de los agentes tensioactivos que presentan la cabeza hidrófila con carga negativa. Todos ellos poseen un contra-ion positivo que suele ser el Na^+ .

A este tipo pertenecen los detergentes sintéticos como los alquil benceno sulfatos, los jabones (sales de sodio de ácidos grasos), los agentes espumantes como el lauril sulfato, los humectantes del tipo sulfosuccinato, los dispersantes del tipo lignosulfatos, etc.

ii) No-iónicos: En disolución acuosa no originan iones. Poseen grupos funcionales hidrófilos (tipo alcohol, fenol, éter o amida) con elevada afinidad por el agua, lo que los hace solubles en esta. El grupo hidrófobo es generalmente un radical alquilo o alquil benceno y a veces una estructura de origen natural como un ácido graso, sobre todo cuando se requiere una baja toxicidad, algunos de estos son productos de condensación del óxido de etileno con materiales fenólicos o grasos o los alquilpoliglucósidos. Son compatibles con todos los tipos de tensioactivos. En general presentan bajo poder espumante y pueden ser productos líquidos o pastosos. En muchas aplicaciones se añaden cotensioactivos (alcoholes, ácidos y aminas de cadena corta) para mejorar su actuación.

iii) Catiónicos: Tienen grupos funcionales que se ionizan en disolución acuosa originando iones con carga positiva y responsables de la actividad superficial. El contra ión resultante, un anión, es generalmente del tipo halogenuro. Los tensioactivos Catiónicos son principalmente compuestos nitrogenados del tipo sal de amonio.

Presentan la ventaja que son compatibles con los tensioactivos no iónicos y anfotéricos y la desventaja de ser incompatibles, excepto casos especiales, con los tensioactivos aniónicos. Así mismo, su capacidad detergiva y su biodegradabilidad son bajas. Se suelen usar como agentes emulsionantes a pH inferiores a 7.

iv) Anfotéricos: Combinan en una misma molécula los caracteres aniónicos y Catiónicos. Poseen grupos funcionales que pueden ionizarse en disolución acuosa confiriendo al compuesto el carácter aniónicos o catiónicos, según las condiciones del medio: ciertos anfóteros son insensibles al pH, otros son de tipo catiónicos a pH ácido y de tipo aniónicos a pH alcalino. Pertenecen a este grupo los aminoácidos y los fosfolípidos. Son compatibles con todos los tipos de tensioactivos. **(14)**

1.4.3 Acción de los tensioactivos en la emulsificación

La capacidad de estabilización de un tensioactivo depende tanto de la naturaleza del mismo como del tipo de emulsión sobre la que actúe. Una medida de la acción estabilizadora de un tensioactivo viene dada por la magnitud de su balance Hidrofílico - Lipofílico (HLB), que es un concepto que evalúa la fuerza relativa de dos extremos hidrofílicos y lipofílicos de su molécula.

En el caso de las emulsiones O/W con tensioactivos iónicos, su poder estabilizador viene dado fundamentalmente por la disminución de la velocidad del proceso de floculación. En cambio las emulsiones W/O no ven modificada su cinética de floculación por la presencia de tensioactivos: al ser la fase continua orgánica las moléculas de tensioactivo en la interfase están orientadas con su grupo lipofílico hacia el exterior de la gotita, con lo que no se reduce el potencial de repulsión ni, por tanto, la velocidad de floculación.

Una viscosidad interfacial alta dificultara la coalescencia. Este caso ocurre cuando se forma un cristal líquido en la superficie de las gotas, por ejemplo cuando se usa lecitina en determinadas emulsiones O/W o en el caso de una emulsión O/W estabilizada con algún tensioactivo oxietilenado. (9)

1.4.4 Caracterización de emulsiones

La capacidad emulsionante de un determinado tensioactivo no es sencilla de definir, y se han dedicado grandes esfuerzos a la invención de algún criterio simple que permitiera comparar distintos emulsionantes entre sí y así poder cuantificar sus respectivas capacidades emulsionantes.

La constatación de que los tensioactivos permiten estabilizar emulsiones en base a su estructura con un extremo anfifílico y otro anfifático inspiró la idea de caracterizar su capacidad emulsionante mediante un índice que compara los pesos relativos de ambos extremos de la molécula, o, al menos, relacionara la capacidad emulsionante con otros parámetros conocidos. El **Balance Hidrofílico – Lipofílico** (“Hydrophile – Lipophile Balance”, HLB) es un concepto introducido por Clayton (1943). Observó que para una aplicación particular y una temperatura dada, en una serie homologa de tensioactivos – por ejemplo los alquil-aril-éteres – hay uno específico que actúa de forma óptica. Para esta aplicación se considera que este tensioactivo es el que esta balanceado, es decir, compensa sus “fuerzas” Hidrofílica y Lipofílica. (9)

1.4.5 Número HLB

El método HLB o método del numero HLB (N_{HLB}) en su versión original consiste en asignar a cada tensioactivo un número determinado mediante un laborioso trabajo experimental (Griffin, 1949) o bien mediante aproximaciones empíricas (Griffin,

1954). El valor del numero HLB indica las características emulsionantes de la molécula considerada.

Se suele definir el numero HLB como sigue:

$$N_{HLB} = \frac{H}{H + L} \times 20$$

Donde H y L son las masas moleculares de los grupos hidrofílico y lipofílico de la molécula, respectivamente. El valor del número HLB variara, pues, entre 0 y 20. Los emulsionantes con un HLB de 10, según la definición, estarán equilibradamente distribuidos entre las dos fases presentes. La ecuación anterior es solo aplicable a tensioactivos no iónicos. Se dispone de ecuaciones empíricas que proporcionan el valor del numero HLB para distintas familias de tensioactivos a partir de medidas analíticas disponibles con facilidad, como el **índice de saponificación** o el **índice de acidez**.

Tales ecuaciones tienen una restringida aplicabilidad: no pueden usarse para tensioactivos iónicos, ni para no iónicos que contengan grupos hidrofílicos con oxido de propileno, butileno, nitrógeno ni azufre. Estos tensioactivos dan valores de HLB que están muy por debajo del que tendrían en base a su comportamiento real. Se han propuesto factores de corrección como el de Heusch (1973).

La determinación experimental del numero HLB de un tensioactivo desconocido consiste en mezclarlo en proporciones conocidas con uno cuyo número HLB se conozca y ver su eficacia emulsionante sobre un aceite conocido. Mediante la simple regla de actividad de Griffin se calcula el numero HLB desconocido.

Un criterio simple, muy poco preciso, pero útil, consiste en observar las características de dispersión del tensioactivo en agua, y del aspecto de la dispersión deducir el valor del número HLB. Así:

Tabla 3. Valor de HLB según las características de dispersión

Características de la dispersión	HLB
No se dispersa	Entre 1 y 4
Dispersión muy mala y poco estable	Entre 3 y 6
Dispersión lechosa después de vigorosa agitación	Entre 6 y 8
Dispersión lechosa estable	Entre 8 y 10
Dispersión traslúcida	Entre 10 y 13
Disolución transparente	Superior a 13

El valor del número HLB indica aproximadamente la capacidad emulsionante del tensioactivo, y de, hecho, entre la información técnico – comercial suministrada por los fabricantes de tensioactivos se suele precisar el valor de HLB de sus productos. Existen tablas muy simplificadas que indican cual es el valor de HLB que debe tener un tensioactivo para una aplicación concreta (tabla 4). No obstante, tales valores son sólo aproximados, pues la eficacia emulsionante depende no sólo del tensioactivo, sino de las características concretas de la interfase en la que se absorbe. El tensioactivo que estabiliza la emulsión es el que se encuentra absorbido en la interfase y su concentración dependerá, entre otros factores, de su solubilidad en las fases presentes. Por ello se han publicado también tablas que concretan los valores requeridos de HLB para la emulsificación de un tipo de aceite concreto.

Tabla 4. Aplicaciones de los tensioactivos en función de su valor HLB

HLB	Aplicación
3-6	Emulsiones W/O
7-9	Agentes humectantes
8-18	Emulsiones O/W
13-15	detergentes
15-18	solubilizadores

Como se ha comentado anteriormente, el HLB de un tensioactivo no iónico varia considerablemente con la temperatura, ya que la interacción entre el agua y un grupo hidrofílico, o del aceite y un grupo lipofílico cambian con la temperatura. Para efectos de comparación los valores de HLB se determinan o calculan siempre a 25°C. **(9)**

1.4.6 Criterios de selección de emulsionantes

Los factores que más comúnmente condicionan la selección de un emulsionante son los siguientes:

- Naturaleza química y concentración de las materias a emulsionar
- Fuerza iónica de la mezcla a emulsionar
- Temperatura de trabajo, y temperaturas a las que puede estar sometida la mezcla emulsionada antes de su empleo
- Características específicas requeridas del emulsionante:
 - Solubilidad
 - Toxicidad y potencial irritante
 - Características organolépticas
- Precio **(9)**

1.4.6.1 Estructura Química: En ausencia de otros criterios, puede hacerse una primera selección de emulsionantes cuyos tipos químicos sean similares a los de las materias a emulsionar (ej.: los compuestos aromáticos se emulsionaran con tensioactivos con grupos aromáticos).

1.4.6.2 Solubilidad: El emulsionante debe ser poco soluble en la fase interna, pero soluble – en términos relativos – en la fase externa (regla de Bancroft). Por otra parte como la variable que determina la capacidad de emulsificación es la concentración de tensioactivo en la interfase, son normalmente más eficaces por unidad de masa los tensioactivos que, satisfaciendo la regla anterior sean relativamente poco solubles – en términos absolutos – en la fase externa.

1.4.6.3 Proporciones en volumen: En términos generales, un exceso de aceite tiende a dar emulsiones W/O, que requerirá emulsionantes solubles en la fase orgánica. Si hay exceso de agua, se forman normalmente emulsiones O/W, que requerirán emulsionantes solubles en agua. Este criterio tiene muchísimas excepciones.

1.4.6.4 Emulsionante iónico o no iónico: Las emulsiones W/O se suelen preparar con emulsionantes no iónicos, ya que los iónicos no se muestran efectivos: al estar en el interior de las gotas las partes polares de las moléculas, estas no inducen repulsión entre gotas.

Las emulsiones O/W pueden prepararse con ambos tipos de tensioactivos.

Las mezclas de tensioactivos no iónicos, son por lo común, más efectivas que un único tensioactivo.

Las mezclas de un tensioactivo no iónico y otro aniónico han demostrado ser muy efectivas en muchos casos: con proporciones másicas de 40-50% de aniónico en

emulsiones O/W se obtiene una interfase flexible (por el no iónico) y estable por el iónico. **(9)**

1.4.7 La regla de Bancroft

Bancroft en 1930 fue el primer investigador que comprendió que la estructura de una emulsión, obtenida usando un tensioactivo, depende en gran medida de la naturaleza de dicho tensioactivo. Bancroft estableció una regla empírica en donde el líquido en el cual la solubilidad del tensioactivo es mayor actúa como fase continua de la emulsión. La regla de Bancroft muestra como la formación y la estabilidad de las emulsiones está estrechamente conectada con la elección del emulsionante. **(14)**

1.4.8 Las aplicaciones de las emulsiones

Las aplicaciones de las emulsiones en sus distintas formas son extremadamente variadas en el campo industrial y tecnológico. Las emulsiones no solo mejoran, simplifican o abaratan métodos convencionales sino que en muchas ocasiones posibilitan el desarrollo de nuevas tecnologías. Los emulsionantes empleados son de particular interés ya que sus efectos son conseguidos con pequeñas cantidades de los mismos. De todos modos, es frecuente que sea necesaria la adición de agentes humectantes, solubilizadores espesantes o agentes que impidan la degradación química o microbiológica. **(15)**

En la formulación de sistemas en emulsión. Normalmente se distingue entre dos tipos de ingredientes: por un lado el “agente emulsionante” y, por otro, el “estabilizador”.

1.4.9 Características de un buen agente emulsionante y de un agente estabilizador

Para que un polímero o (una molécula pequeña) sea efectiva como agente emulsionante debe poseer actividad interfacial, esto es, debe tener la capacidad de disminuir la tensión en la interfase agua-fase oleosa, de manera sustancial a la vez que rápida. Hablando de un modo general, cuanto menor es la tensión interfacial mayor es la extensión sobre la cual las gotas pueden ser dispersadas durante una agitación intensa o en flujo turbulento. Además, para que una molécula tenga actividad superficial, esta debe tener carácter anfifílico.

Los procesos fisicoquímicos implicados en la prevención de la agregación o coalescencia de las gotas son los clásicos mecanismos de estabilidad coloidal de estabilización estérica y estabilización electrostática. Para que un biopolímero sea más efectivo en la estabilización de partículas dispersas o gotas de emulsión, debería mostrar las siguientes cuatro características:

- Fuerte adsorción (grado sustancial de carácter hidrofílico).
- Recubrimiento completo de la superficie (presencia de suficiente polímero para saturar completamente la superficie).
- formación de una gruesa capa de estabilización estérica (el polímero es predominantemente hidrofílico y de un alto peso molecular).
- Formación de una capa eléctricamente cargada estabilizante (la presencia de grupos cargados en el polímero es indispensable).

1.5 AGLOMERADO Ó MADERA PLÁSTICA

La madera plástica es un producto de características físicas muy similares a la madera natural, pero además resistente a la corrosión, agua, ácido, al ataque

bioquímico y a la intemperie. Puede cortarse con serrucho, segueta y sierra eléctrica.

Ayuda en el proceso de conservación de la naturaleza porque puede sustituir en muchas aplicaciones donde no se justifica sacrificar un invaluable recurso como es la madera natural.

El rápido crecimiento que viene presentando este tipo de materiales se explica mediante las ventajas que estos ofrecen en términos de costos, durabilidad e impacto ambiental. Algunas de estas ventajas son:

- Abundancia y bajo costo de la materia prima. Los materiales plásticos utilizados en este tipo de compuestos pueden provenir de un proceso de reciclaje, lo cual disminuye su costo.
- Bajo impacto ambiental. La utilización de este tipo de materiales promueve el reciclaje, hace uso de materiales biodegradables (en el caso de las fibras naturales) y evita la tala de bosques en la medida en que estos materiales se utilizan como reemplazo de la madera en algunas de sus aplicaciones.
- Baja densidad. La baja densidad, característica primordial de los productos espumados, permite diseñar componentes ligeros y de buena rigidez como los paneles tipo sándwich o estructuras en coextrusión. Muchos perfiles de madera plástica espumada son coextruidos con una capa no espumada exterior sobre un corazón espumado, ahorrando costos y disminuyendo peso sin sacrificar en mayor medida las capacidades estructurales del perfil.
- Apariencia y procesabilidad de la madera. La superficie de los productos de madera plástica se puede tratar como la madera: se le puede pegar un acabado en chapa, recubrir con barnices, clavar, atornillar, taladrar, cepillar.

También se pueden formar artículos similares a los encontrados con los productos plásticos tradicionales.

- Durabilidad. Los compuestos de madera plástica requieren menor mantenimiento que las maderas comunes, ya que no se ven afectados ni por la humedad ni por los insectos.

Lo anterior los hace apropiados para aplicaciones en las cuales los productos se someten a condiciones ambientales severas.

- Bajo nivel de abrasión de las fibras. Las fibras naturales poseen la ventaja de ser menos abrasivas que otros tipos de refuerzo basados en componentes minerales, promoviendo mayor duración de los equipos.
- Rigidez y estabilidad dimensional. Estas dos propiedades se verán incrementadas mediante la adición del refuerzo, siempre y cuando se promueva una buena adhesión en la interfaz matriz / refuerzo. **(16)**

1.6 CARACTERIZACIÓN DE LOS AGLOMERADOS

1.6.1 Test de llama

Este test nos permite observar el comportamiento del material ante la llama, consiste en tomar una pequeña cantidad de material con unas pinzas o espátula y someterlo a una llama, para esto se puede utilizar el mechero bunsen con la entrada del gas al mínimo, se puede analizar la inflamabilidad del material dentro y fuera de la llama, si se enciende, así como la formación de vapores.

1.6.2 Degradación química

En este caso se estudia el efecto que tienen diversos agentes químicos (ácidos, bases, entre otros) al entrar en contacto con los aglomerados sobre sus propiedades físicas y químicas.

1.6.3 Resistencia al deterioro por agentes bióticos

Los agentes bióticos del deterioro son aquellos organismos que pueden atacar a un determinado material alterando de esta forma sus características, entre ellos se incluyen: hongos, bacterias, insectos y perforadores marinos. Algunos de estos organismos utilizan el material como fuente de alimento, mientras que otros lo utilizan para el abrigo.

1.6.4 Densidad

El método más intuitivo para calcular la densidad de un sólido es calcular su masa, su volumen y calcular el cociente entre ellos. Se puede calcular el volumen del sólido a partir de sus dimensiones si se trata de cuerpos geométricos conocidos. Obteniéndose la densidad de cada uno de los sólidos problema como cociente entre sus respectivas masas y los volúmenes calculados a partir de las dimensiones de los cuerpos.

1.6.5 Propiedades mecánicas

Un modelo de resistencia de materiales establece una relación entre la fuerza aplicada, también llamadas cargas o acciones y los esfuerzos y desplazamientos inducidos por ellas. Típicamente las implicaciones geométricas y las restricciones impuestas sobre el modo de aplicación de las cargas hacen que el campo de deformaciones y tensiones sean sencillos de calcular.

1.6.5.1 Dureza: La dureza da una medida de la resistencia de los materiales a la deformación plástica localizada, como puede ser la resistencia a ser rayados por otro material más duro, o a que un penetrador o indentador genere una huella superficial cuando se aplica de forma controlada una carga. Hoy en día los ensayos de dureza consisten en la medida de la profundidad o tamaño de la huella generada por un indentador. Difieren entre sí en función de la geometría del indentador y de las cargas aplicadas.

- **Principio de funcionamiento del durómetro tipo D:**

La medición de la dureza se basa en el siguiente principio: Un cuerpo penetrador es presionado continuamente en el material a medir con una fuerza determinada. Se mide la deformación en el punto de presión y de esta manera se obtiene el valor de la dureza del material.

La dureza de penetración es inversamente proporcional a la penetración y depende del módulo de elasticidad y de las propiedades viscoelásticas del material. La forma del penetrador, la fuerza aplicada sobre él y la duración de su aplicación influyen sobre los resultados obtenidos.

Así, para diferentes tipos de material existen diferentes escalas con diversas condiciones de carga y penetradores que se utilizarán dependiendo de la muestra a ensayar.

1.6.5.2 Ensayo de compresión: Es un ensayo mecánico esfuerzo-deformación, en este, normalmente se deforma una probeta del material de dimensiones conocidas hasta la rotura con una fuerza de compresión que aumenta gradualmente, la probeta se contrae a lo largo de la dirección de la fuerza. Los ensayos de compresión se utilizan cuando se desea conocer el comportamiento del material bajo deformaciones permanentes grandes (o sea, plásticas) (17). A partir de este ensayo se pueden calcular los valores del esfuerzo del material (σ):

$$\sigma = \frac{P}{A_i}$$

Donde P es la fuerza aplicada o carga (Kg.-f o lb.-f) y así A_i es el área inicial, la cual es el área de la sección transversal o perpendicular antes de cargar la probeta (cm^2 o in^2).

Otro dato importante obtenido es la deformación unitaria (ξ)

$$\xi = \frac{\delta}{L_i}$$

Donde δ es el acortamiento de la probeta, el cual se obtiene midiendo el desplazamiento medido con el deformímetro o extensómetro.

L_i , es la longitud inicial, el largo de la probeta antes de someter la carga.

La resistencia máxima a la rotura: con este ensayo se calculan la resistencia máxima a la rotura (σ_{max}) y el modulo de elasticidad o modulo de Young (E) aplicando las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A_i}$$

Donde P_{\max} es la carga en la cual la probeta falló.

$$E = \frac{(P_{Lp} - L_i)}{A_i - \delta_{Lp}}$$

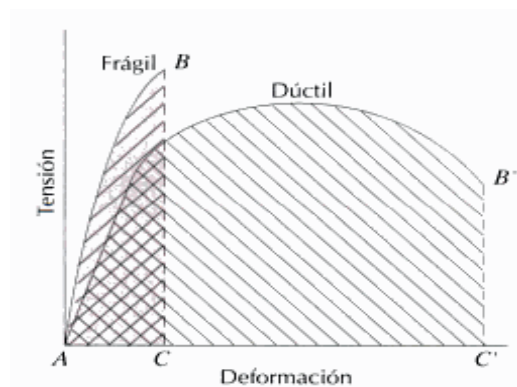
Donde el subíndice Lp indica el valor de este dato en el límite de proporcionalidad, este es el punto donde termina la proporcionalidad entre esfuerzo y deformación.

1.6.5.3 Ductilidad: La ductilidad es otra importante propiedad mecánica. Es una medida del grado de deformación plástica que puede ser soportada hasta la fractura. Un material que experimenta poca o ninguna deformación plástica se denomina *frágil*. El diagrama tensión deformación para materiales dúctiles y para materiales frágiles se ilustra esquemáticamente en la figura 7.

Como materiales frágiles pueden considerarse aquellos que tienen una deformación a la fractura menor que aproximadamente 5%.

Por consiguiente, a partir de ensayos de tensión-deformación se pueden determinar importantes propiedades mecánicas. (17)

Figura 7. Representación esquemática de los diagramas de tracción de materiales frágiles y dúctiles ensayados hasta la fractura



1.6.5.4 Tenacidad: La tenacidad de un material es un término mecánico que se utiliza en varios contextos; en sentido amplio, es una medida de la capacidad de un material de absorber energía antes de la fractura. La geometría de la probeta así como la manera con que se aplica la carga son importantes en la determinación de la tenacidad. En el caso de condiciones de carga dinámicas (alta velocidad de deformación) y cuando una entalla (o sea un concentrador de tensiones) está presente, la tenacidad a la entalla es evaluada utilizando diversos ensayos de impacto. Además, la tenacidad de fractura es una propiedad que nos indica la resistencia a la fractura de un material cuando existe una grieta.

Para que un material sea tenaz, debe poseer tanto alta resistencia como ductilidad y a menudo los materiales dúctiles son más tenaces que los frágiles. **(17)**

2. DISEÑO METODOLÓGICO

2.1 LIMITE DE SOLUBILIDAD DEL POLIESTIRENO EN XILENO

Al poliestireno se le determinó el límite de solubilidad, tomando muestras de este previamente pesadas y sumergiéndolas en vasos con 8 mL de xileno a temperatura ambiente, esto se realizó hasta el momento en que se observaron residuos de poliestireno en la mezcla.

2.2 PREPARACIÓN DE LA EMULSIÓN

2.2.1 Preparación de las emulsiones sin usar tensioactivo

A 50 mL de agua se adicionó una cantidad de xileno previamente medido, mediante agitación constante en un batidor Hamilton Beach Scovill. La cantidad del xileno se varió en cada uno de los ensayos mientras que la cantidad de agua permaneció constante.

2.2.2 Preparación de las emulsiones utilizando un tensioactivo

Mediante la variación de las cantidades de los dos solventes (xileno-agua) y del tensioactivo se buscaba la proporción adecuada para formar una emulsión estable.

2.2.3 Preparación de las emulsiones usando como tensioactivo lecitina de soya y agregando directamente el poliestireno en la preparación de las emulsiones

El poliestireno previamente pesado se disolvió en un volumen de xileno conocido, a esta mezcla se le adicionaba un volumen medido de lecitina de soya y se agitaba en el batidor, cuando la mezcla fue homogénea se adicionaba lentamente (sin dejar de agitar) una cantidad de agua hasta formar la emulsión. Las cantidades de los componentes de la emulsión fueron variadas hasta encontrar las proporciones en las que la emulsión era estable y se disminuyó al máximo la cantidad de xileno y tensioactivo en la emulsión. Así mismo, se varió la cantidad de poliestireno en la emulsión.

2.3 OBSERVACIÓN DE LA EMULSIÓN POR MEDIO DE UN MICROSCOPIO

Las observaciones se realizaron haciendo un extendido de 45° a la emulsión 30 sobre un portaobjetos, utilizando objetivos de 4X, 10X, 40X y 100X (para los 3 primeros objetivos se utilizó como medio de refracción el aire y para el último aceite de inmersión). Para esta prueba se utilizó un microscopio binocular con un poder de resolución de micras, facilitado por la escuela de biología.

2.4 PREPARACIÓN DE LOS AGLOMERADOS

A la emulsión preparada anteriormente se le adicionó la carga (cascarilla de arroz y aserrín cada uno por separado) en diferentes proporciones. Posteriormente estas mezclas fueron llevadas a un molde en donde fueron prensadas en una prensa Carver Laboratory Press Model C Serie 22576-514 Made in USA a una presión de toneladas/cm², las proporciones emulsión-carga fueron variadas hasta

que al prensar la mezcla no hubo pérdida de la emulsión. A continuación las mezclas prensadas fueron llevadas a la estufa, variándose el tiempo y la temperatura de horneado. Así mismo, se varió la emulsión y el tipo de carga utilizadas en la elaboración del aglomerado hasta que el producto obtenido presentó una buena apariencia física. A continuación, se prepararon los aglomerados para su caracterización los cuales fueron obtenidos de la misma forma y con la misma proporción emulsión-fibras.

2.5 CARACTERIZACIÓN DE LOS AGLOMERADOS

En esta etapa se caracterizó el producto, obteniendo datos importantes acerca de sus propiedades, las pruebas realizadas fueron:

2.5.1 Test de la llama

El aglomerado se tomó con unas pinzas y se colocó directamente al contacto con la llama.

2.5.2 Degradación química

Los aglomerados fueron puestos en contacto con diversas sustancias químicas, empleando 50 mL de cada solución a temperatura ambiente (25°C) durante 7 días. Las sustancias utilizadas fueron:

- NaOH
- H₂SO₄
- HNO₃
- HCl
- CH₃COOH

- H₂O

Cada uno de estas soluciones tenía una concentración de 10% P/V.

2.5.3 Resistencia al deterioro por agentes bióticos

Al aglomerado se le determinó la resistencia al deterioro por agentes bióticos, tomando una muestra de este y enterrándolo en la tierra dejándolo expuesto al agua lluvia y al sol, observando los cambios presentados a través del tiempo.

2.5.4 Determinación de la densidad

Se determinó la densidad de los aglomerados utilizando algunas muestras previamente pesadas y tomando sus dimensiones con la ayuda de un pie de rey, en base a estas y el peso de las muestras, se calculó la densidad por medio de la siguiente fórmula.

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

2.5.5 Propiedades mecánicas

Además de las pruebas anteriormente descritas, se sometió el aglomerado a pruebas de dureza, de resistencia a la compresión, e impacto. Estas pruebas fueron asesoradas y realizadas en el laboratorio de materiales de la escuela de ingeniería civil de la Universidad Industrial de Santander.

2.5.5.1 Prueba de dureza: Con el fin de determinar el porcentaje de dureza de los aglomerados se utilizó un durómetro tipo D que es usado para medir materiales de alto grado de dureza.

El durómetro tipo D fue presionado continuamente en las probetas. Midiéndose la deformación en el punto de presión y de esta manera se obtuvo el valor de la dureza del material. Para esta prueba se utilizaron tres probetas rectangulares.

2.5.5.2 Ensayo Compresión: La prueba de resistencia a la compresión fue realizada por triplicado en el equipo MTS 810 Material Test System, usando probetas de 7 cm de alto y 4.2 de diámetro. Este ensayo se realizó el fin de hallar el valor de su modulo de elasticidad y el esfuerzo ultimo soportado por el material.

2.5.5.3 Ensayo de Impacto: El ensayo de impacto fue realizado por triplicado en el equipo de ensayos TREBEL, usando probetas de 9.8 cm de largo, 1.9 cm de ancho y 1.2 cm de alto. Con el fin de estudiar la tenacidad del material.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 LIMITE DE LA SOLUBILIDAD DEL POLIESTIRENO EN XILENO

Tabla 5. Datos del límite de solubilidad del poliestireno en xileno

No. muestra	Masa poliestireno (g)	Volumen de xileno (mL)
1	0.1	8
2	0.2	8
3	0.4	8
4	0.5	8
5	0.6	8
6	0.7	8
7	0.8	8
8	0.9	8

Cuando la cantidad de poliestireno disuelto era baja (0.1, 0.2, 0.4 g) se formaban burbujas de aire en la solución. A medida que aumentaba la cantidad de poliestireno, la mezcla aumentaba su viscosidad y su disolución se hacía más lenta, hasta que en 0.9g permanecían residuos de poliestireno sin disolver. El límite de solubilidad del poliestireno en el xileno es 0.1125g/mL.

3.2 PREPARACIÓN DE LA EMULSIÓN

3.2.1 Preparación de la emulsión sin usar tensioactivo

Al mezclar el xileno y el agua en el agitador, se observaron dos fases en cada una de las muestras preparadas sin importar la proporción en la cual se mezclaran los solventes. Esto se debe a la naturaleza polar del agua y apolar del xileno, teniendo la necesidad de utilizar un tensioactivo que permitiera mezclar los dos solventes.

Figura 8. Emulsiones xileno en agua sin tensioactivo



3.2.2 Preparación de la emulsión xileno en agua (W/O) usando como tensioactivo Texapón al 70%

Al efectuar la mezcla de los dos solventes con un tensioactivo de tipo iónico (Texapón al 70%), se obtenían inicialmente mezclas de tipo lechoso con abundante espuma las cuales se desestabilizaban rápidamente. A continuación se pueden apreciar fotografías de unas de las emulsiones preparadas:

Figura 9. Emulsiones xileno en agua usando como tensioactivo Texapón 70



Al analizar las mezclas obtenidas se puede deducir que al aumentar la cantidad de xileno en dichas mezclas, aumenta su apariencia lechosa.

Después de estudiar los resultados obtenidos en esta fase del proceso, se decidió invertir la fase de la emulsión es decir pasar de emulsiones xileno en agua a emulsiones de agua en xileno, esto con el fin de examinar si de esta forma la emulsión obtenida sí era estable.

3.2.3 Preparación de la emulsión agua en xileno (O/W) usando como tensioactivo Texapón al 70%

Al efectuar la mezcla agua-xileno-tensioactivo variando la cantidad de Texapón se obtuvieron mezclas muy similares a las descritas en las emulsiones xileno en agua con la diferencia de que en estas al desestabilizarse la emulsión, la cantidad de la fase oleosa era mayor, lo cual era de esperarse puesto que el xileno es la fase continua en estas emulsiones. Ya que las emulsiones preparadas con texapón al 70%, fueron inestables, se vio la necesidad de utilizar otro tensioactivo para la preparación de la emulsión.

3.2.4 Preparación de la emulsión usando como tensioactivo lecitina de soya

Al variar las proporciones de los componentes de la emulsión se observó que las mezclas obtenidas presentan dos fases una menos densa de color amarillo que es en la que se encuentra la lecitina de soya disuelta en xileno y una más densa de tipo lechoso en la que se encuentra el agua con una pequeña cantidad de xileno emulsificado. A continuación se muestran unas fotografías de unas de las emulsiones preparadas:

Figura 10. Emulsiones preparadas usando como tensioactivo lecitina de soya



Después de realizar las anteriores pruebas sin obtener un resultado satisfactorio se decidió agregar el poliestireno durante la preparación de la emulsión y así observar si las emulsiones preparadas de esta forma sí eran estables.

3.2.5 Preparación de la emulsión usando como tensioactivo lecitina de soya y agregando directamente el poliestireno en su preparación

Se prepararon tres emulsiones: 25, 26 y 27. La emulsión 25 fue estable, obteniéndose una mezcla de color nácar (este color es ocasionado por una alta cantidad de tensioactivo en la emulsión) con una viscosidad aceptable. Debido a la coloración de la emulsión se decidió disminuir la cantidad de lecitina, preparándose de esta forma la emulsión 26 con un volumen menor de tensioactivo

la cual también fue estable. Con el fin de estudiar hasta qué punto se podía disminuir la cantidad de lecitina de soya se preparó la emulsión 27 obteniéndose una mezcla inestable ya que se observaron algunas gotas de agua dentro de la emulsión descartándose de esta forma la emulsión 27 y eligiendo la 26 para preparar los aglomerados por ser esta la más estable y la que tenía menos cantidad de tensioactivo. A continuación, se muestran unas fotografías de las emulsiones anteriormente descritas:

Figura 11. Emulsiones preparadas usando como tensioactivo lecitina de soya y agregando directamente el poliestireno en su preparación



Con el fin de encontrar la proporción adecuada de poliestireno que debía llevar la emulsión, se fue aumentando la cantidad de éste partiendo de la emulsión 26, obteniéndose las emulsiones 28, 29 y 30 (figura 12), esto se realizó con el fin de obtener una adhesión matriz-carga optima. De esta forma, se observo que al aumentar la cantidad de poliestireno en cada una de las emulsiones aumentaba la viscosidad de éstas, esto fue determinado por medio de la observación teniendo en cuenta que la viscosidad es la resistencia a fluir de un líquido.

Figura 12. Emulsiones 28 y 30 respectivamente, preparadas usando como tensioactivo lecitina de soya y agregando directamente el poliestireno en su preparación



3.3 OBSERVACIÓN DE LA EMULSIÓN 30 POR MEDIO DE UN MICROSCOPIO

Figura 13. Observación microscópica de la emulsión 30 con un objetivo de 4X

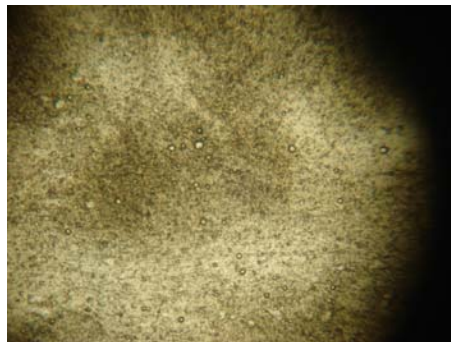


Figura 14. Observación microscópica de la emulsión 30 con un objetivo de 10X

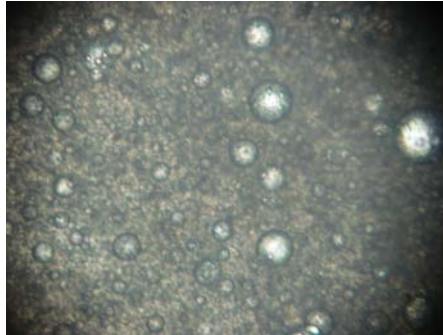


Figura 15. Observación microscópica de la emulsión 30 con un objetivo de 40X



Figura 16. Observación microscópica de la emulsión 30 con un objetivo de 100X



En las figuras anteriores se aprecia, que a medida que aumenta el poder de resolución con que observamos la emulsión, se puede apreciar mejor el tamaño y forma de las micelas, observándose una distribución uniforme entre los componentes de la emulsión. A continuación se muestran dos esquemas de la distribución de las micelas en la emulsión preparada.

Figura 17. Esquema de la distribución de los componentes de la emulsión

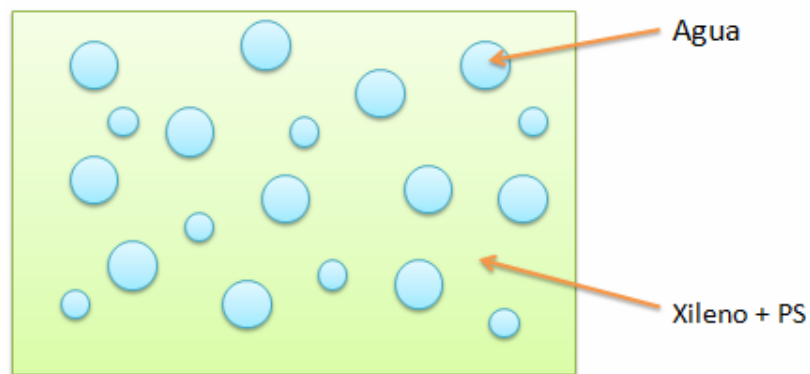
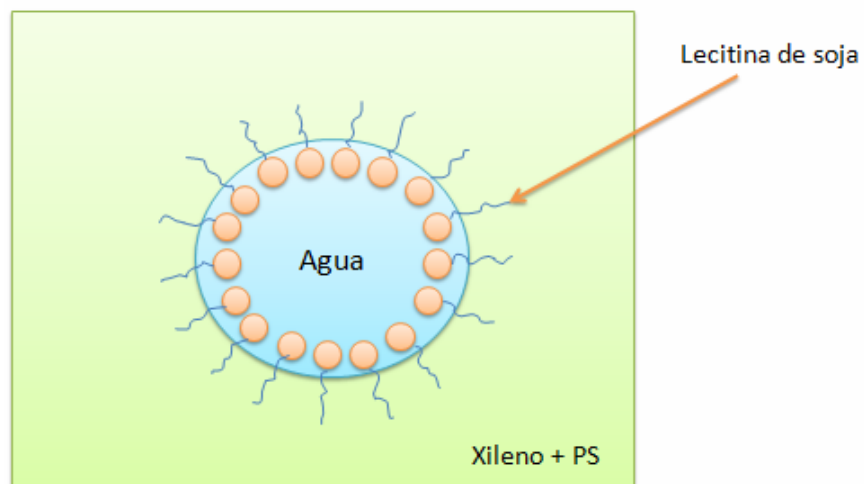


Figura 18. Esquema de la acción del tensioactivo en la emulsión



La acción del tensioactivo (lecitina de soja) en la emulsión es reducir la tensión interfacial entre los componentes de esta, orientando su parte polar hacia la fase acuosa y su parte apolar hacia la fase grasa de la emulsión facilitando la




dispersión de sus componentes de forma íntima y manteniendo durante un cierto tiempo estable la emulsión.




3.4 PREPARACIÓN DE LOS AGLOMERADOS

Con el fin de reducir al mínimo las pérdidas de emulsión en la preparación de los aglomerados se realizaron algunas pruebas hasta encontrar la proporción adecuada emulsión-carga que se debían utilizar al prensar.

3.4.1 Preparación de los aglomerados preliminares

Tabla 6. Datos de la preparación de los aglomerados

Emulsión	Tipo de carga	Imagen
28	Cascarilla (1mm)	
29	Cascarilla (2mm)	
29	Cascarilla (2mm)	

Emulsión	Tipo de carga	Imagen
29	Cascarilla (1mm)	
29	Aserrín (1mm)	
30	Cascarilla (1mm)	

La relación en que se mezclaron la emulsión y la cascarilla fue 61.5% y 38.5% respectivamente. En el caso del aserrín la relación fue 73% de emulsión y 27% de aserrín.

Después de examinar por medio de observación los aglomerados obtenidos con los datos de la tabla anterior se escogió la emulsión 30 como la emulsión de partida para preparar los aglomerados, ya que esta era la que poseía mayor cantidad de poliestireno y es este el encargado de unir las fibras (cascarilla de arroz o aserrín) en el aglomerado. El producto obtenido a partir de esta emulsión fue el que presentó mejor apariencia física puesto que los demás eran muy sensibles al tacto y se desmoronaban fácilmente. Por otra parte, la fibra escogida fue la cascarilla de arroz debido a que al utilizar como carga el aserrín era necesario aumentar considerablemente el volumen de la emulsión ya que el aserrín absorbía gran cantidad de esta (60% de la emulsión), esto se debe a su propiedad higroscópica (absorbe humedad). Así mismo, durante la elaboración de

los aglomerados se encontró que el proceso de secado se debía llevar a cabo controlando tanto el tiempo como la temperatura puesto que los cambios bruscos producían deformaciones en el material.

3.5 CARACTERIZACIÓN DE LOS AGLOMERADOS

Los aglomerados utilizados para realizar las pruebas de caracterización fueron preparados de la misma forma y con las mismas proporciones emulsión-cascarilla.

3.5.1 Test de la llama

Figura 19. Test de la llama



Al exponer el aglomerado a la llama directa se observó que el material obtenido es de difícil combustión. Presentó una llama amarilla brillante, en el extremo superior del aglomerado se observó que la llama era de color azul brillante y éste siguió prendido hasta que su llama se autoextinguió y se convirtió en cenizas.

3.5.2 Degradación química

Tabla 7. Datos obtenidos en la determinación del comportamiento ante químicos de los aglomerados

Solución al 10% P/V	Masa muestra inicial(g)	Masa muestra final (g)	Diferencia de masas (g)
NaOH	17.5	34.0	16.5
CH ₃ COOH	18.0	30.0	12.0
HCl	18.0	32.3	14.3
H ₂ SO ₄	16.0	29.3	13.3
H ₂ O	16.5	35.5	19.0
HNO ₃	17.0	26.0	9.00

A continuación se muestran las fotografías que manifiestan los cambios ocurridos a los aglomerados y los solventes con el paso de los días:

- NaOH

Figura 20. Cambio del aglomerado expuesto a NaOH al 10%



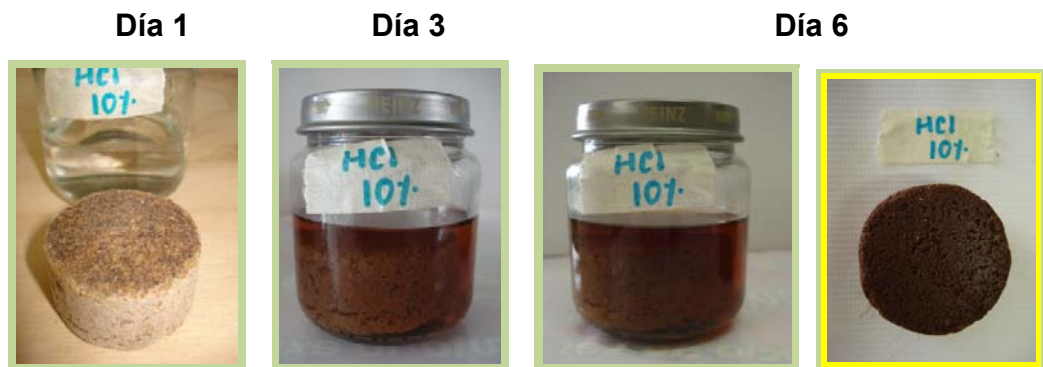
- CH_3COOH

Figura 21. Cambio del aglomerado expuesto a CH_3COOH al 10%



- HCl

Figura 22. Cambio del aglomerado expuesto a HCl al 10%



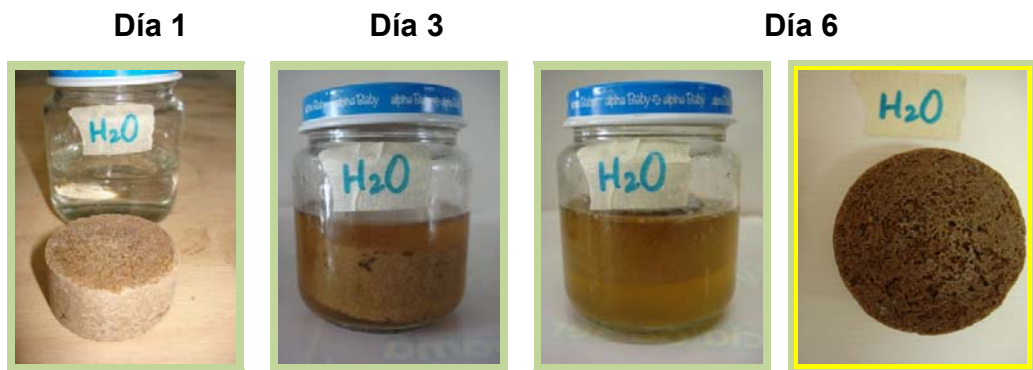
- H_2SO_4

Figura 23. Cambio del aglomerado expuesto a H_2SO_4 al 10%



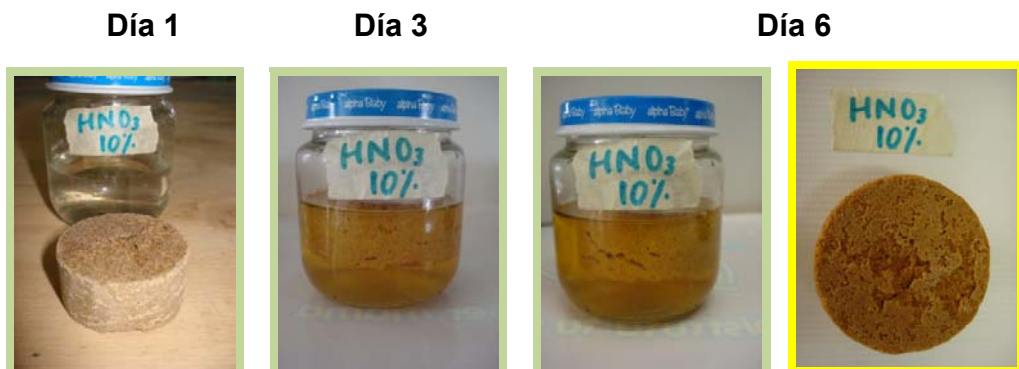
- H_2O

Figura 24. Cambio del aglomerado expuesto a H_2O



- HNO_3

Figura 25. Cambio del aglomerado expuesto a HNO_3 al 10%



Inicialmente, se adicionó la cascarilla y el poliestireno por separado a los solventes utilizados en esta prueba para estudiar su comportamiento y lo que se observó fue: que las soluciones en las que se encontraba la cascarilla tomaron una coloración amarilla (en diferentes intensidades dependiendo del solvente) debida a la decoloración de esta. En algunas se presenta oscurecimiento que se puede atribuir a oxidación y reacciones internas en las que intervienen los compuestos solubilizados. Por otra parte como se reporta en la literatura (referencias **(3)** y **(5)**), estos solventes no afectan el poliestireno. Así mismo, al realizar esta prueba a los

aglomerados previamente preparados se observó que a medida que pasaban los días los aglomerados tomaban una coloración característica (ocasionada por las reacciones internas entre las sustancias químicas usadas y los componentes del aglomerado) que dependía del solvente en el que se encontraran, por otra parte los aglomerados no se deformaron ni perdieron sus características observables a simple vista, esto se debe a la presencia del poliestireno en los aglomerados ya que los ácidos y bases diluidos no lo afectan.

De esta forma, se puede decir que la resistencia de los aglomerados en los solventes utilizados es una combinación entre las resistencias del poliestireno y la de la cascarilla de arroz en los mismos solventes.

3.5.3 Resistencia al deterioro por agentes bióticos

Figura 26. Cambio del aglomerado expuesto al sol y al agua lluvia



Al analizar el aspecto físico del aglomerado a través del tiempo en que se realizó la prueba, se observó que no tuvo ningún cambio físico apreciable a simple vista. Esto podría deberse a que el poliestireno no posee valor nutritivo alguno que fomente el desarrollo de microorganismos y a su vez, la cascarilla de arroz no presenta propiedades nutritivas significativas ya que tiene un bajo contenido de celulosa (40% aproximadamente) y además, posee un alto contenido en sílice (de 12 a 16 %) lo que hace que su tasa de descomposición sea lenta. Esto conlleva a que el producto obtenido posea resistencia a los factores bióticos.

3.5.4 Determinación de la densidad de los aglomerados

Para la determinación de la densidad se utilizaron aglomerados con forma cilíndrica, esto con el fin de facilitar la medida de sus dimensiones.

Tabla 8. Datos obtenidos en la determinación de la densidad de los aglomerados

Muestra	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Radio (cm)	Volumen (cm³)	Masa (g)	Densidad (Kg/m³)
26	1.9	4.2	2.1	26.32	19	720
35	2.1	4.2	2.1	29.09	21	720
30	2.0	4.2	2.1	27.70	20	720

La densidad de los aglomerados preparados es muy similar a los existentes actualmente en el mercado los cuales se encuentran en un rango de 630-740 Kg/m³. Por otra parte la baja densidad de los aglomerados es debida a que tanto la cascarilla de arroz como el poliestireno expandido tienen una baja densidad, otorgándole dicha propiedad al producto.

3.5.5 Propiedades mecánicas

3.5.5.1 Prueba de dureza

Tabla 9. Dureza de los aglomerados preparados, determinada con un durómetro tipo D

Muestra	% de Dureza
38	55
39	55
43	55

La dureza es la resistencia que opone el material al desgaste, rayado, clavado, etc. Cuanto más duro es, mayor resistencia opone. Una dureza del 55% indica que el material obtenido presenta una resistencia media a la penetración o rayado indicando que se trata de un material con facilidad de trabajo con distintas herramientas.

3.5.5.2 Ensayo de Compresión: Con los datos obtenidos en la prueba de compresión se trazo una grafica esfuerzo (σ) Vs deformación unitaria o desplazamiento (ϵ) para cada una de las probetas, con la cual se determino el esfuerzo ultimo que soporto el material (σ_u), así mismo a partir de la curva se tomo el rango en el cual la grafica era recta y de esta forma se determino la pendiente que es el modulo de elasticidad a compresión (E) del material. En la figura 27 se pueden observar las probetas usadas en la prueba, correspondientes a los aglomerados 48, 49, 51 y 52 preparados con la misma proporción emulsión-cascarilla.

Figura 27. Probetas utilizadas para prueba mecánica de compresión



- Probeta 48

Figura 28. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria para el aglomerado 48

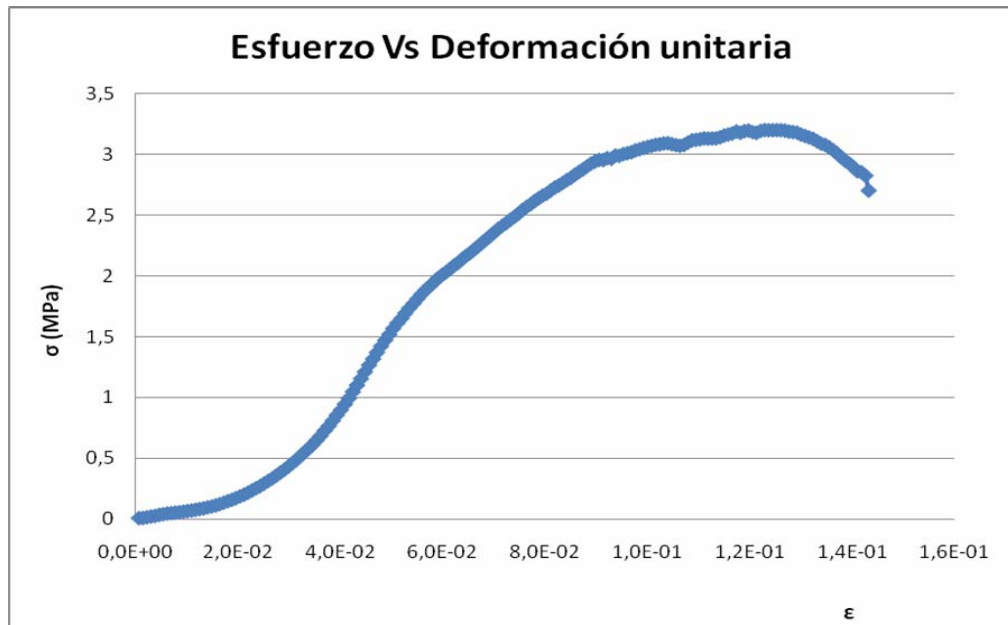
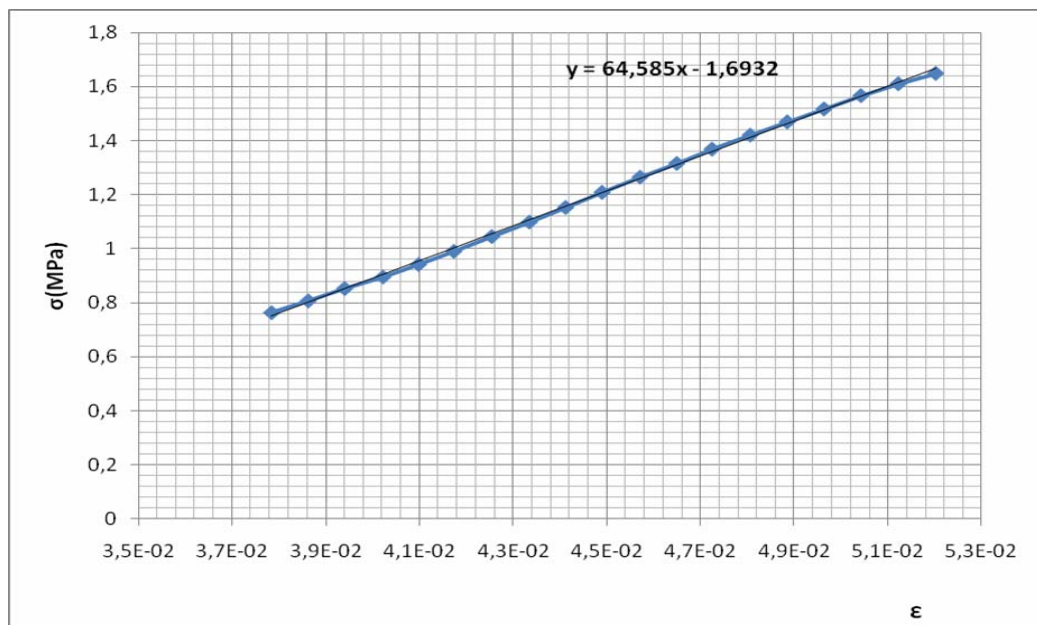


Figura 29. Grafica esfuerzo vs deformación unitaria para el tramo en el cual la gráfica fue recta para el aglomerado 48



$\sigma_u = 3.25 \text{ MPa}$

$E = 64.6 \text{ MPa}$

- **Probeta 49**

Figura 30. Grafica esfuerzo vs deformación unitaria para el aglomerado 49

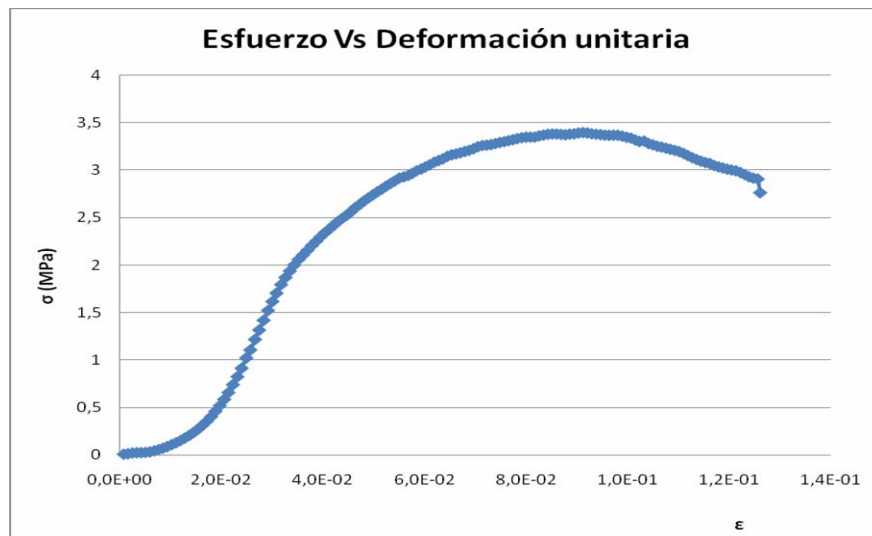
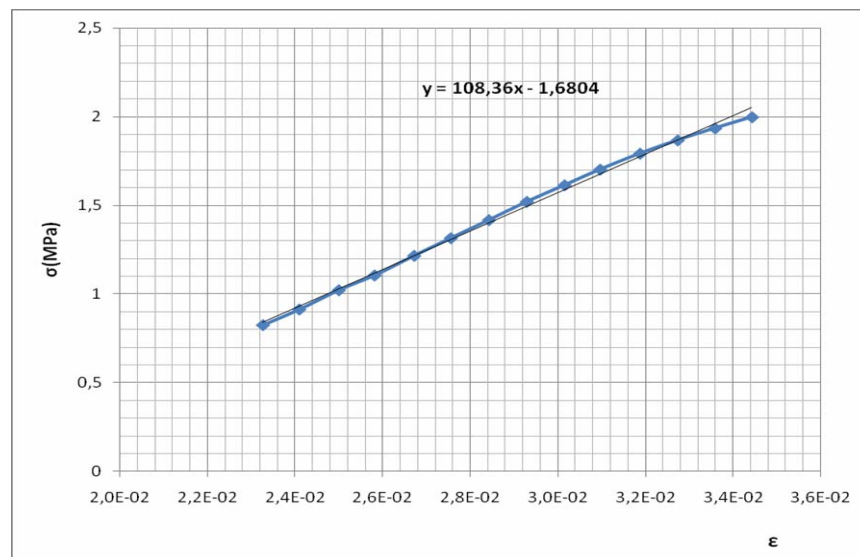


Figura 31. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria para el tramo en el cual la gráfica fue recta para el aglomerado 49



$\sigma_u = 3.4 \text{ MPa}$
 $E = 108.4 \text{ MPa}$

- **Probeta 51**

Figura 32. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria para el aglomerado 51

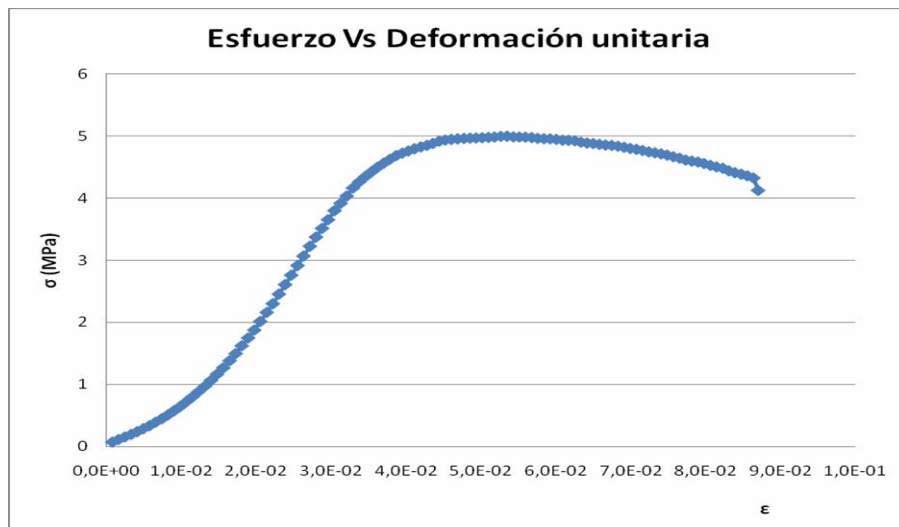
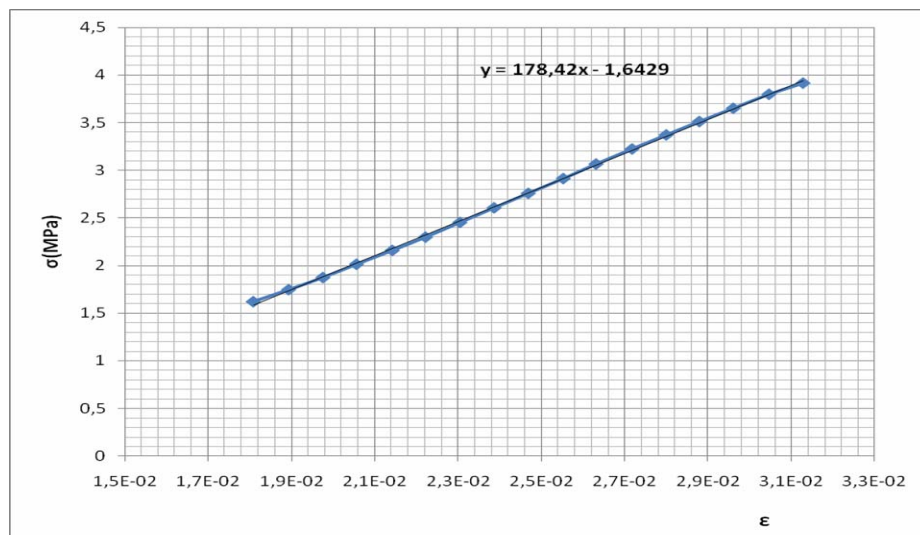


Figura 33. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria para el tramo en el cual la gráfica fue recta para el aglomerado 51



$\sigma_u = 5.0 \text{ MPa}$
 $E = 178.4 \text{ MPa}$

- **Probeta 52**

Figura 34. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria para el aglomerado 52

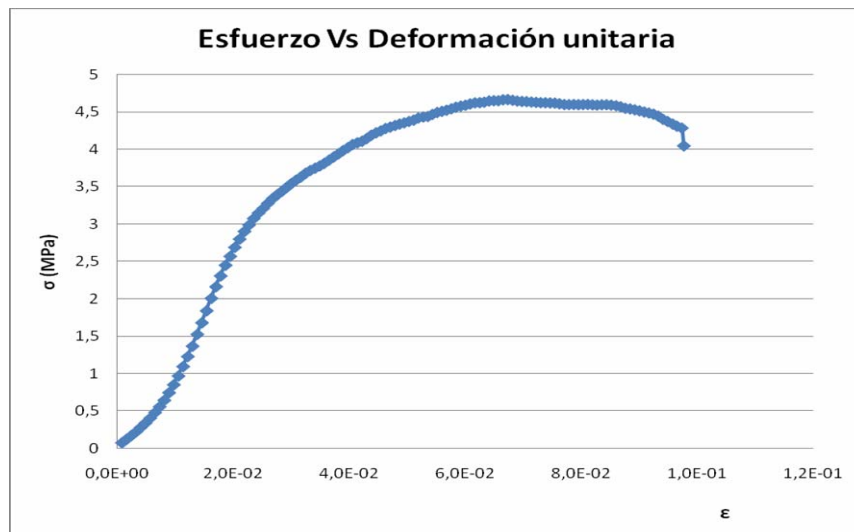
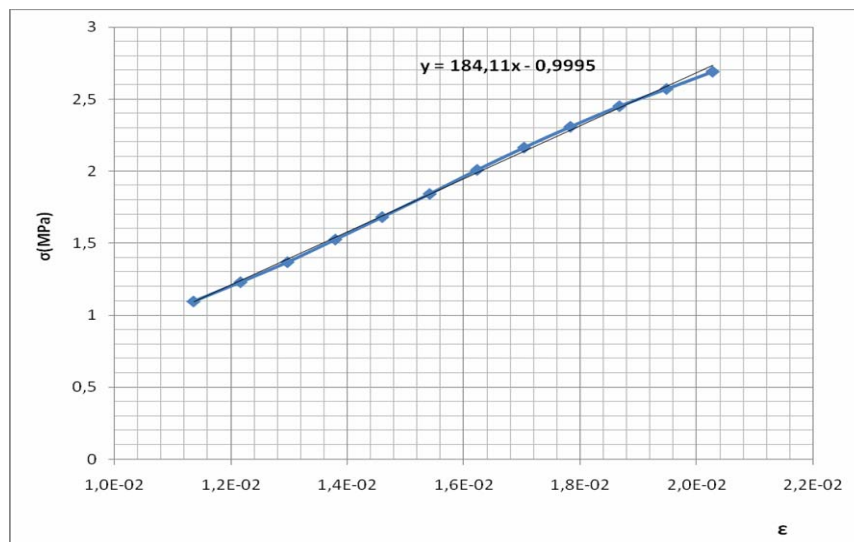


Figura 35. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria para el tramo en el cual la gráfica fue recta para el aglomerado 52

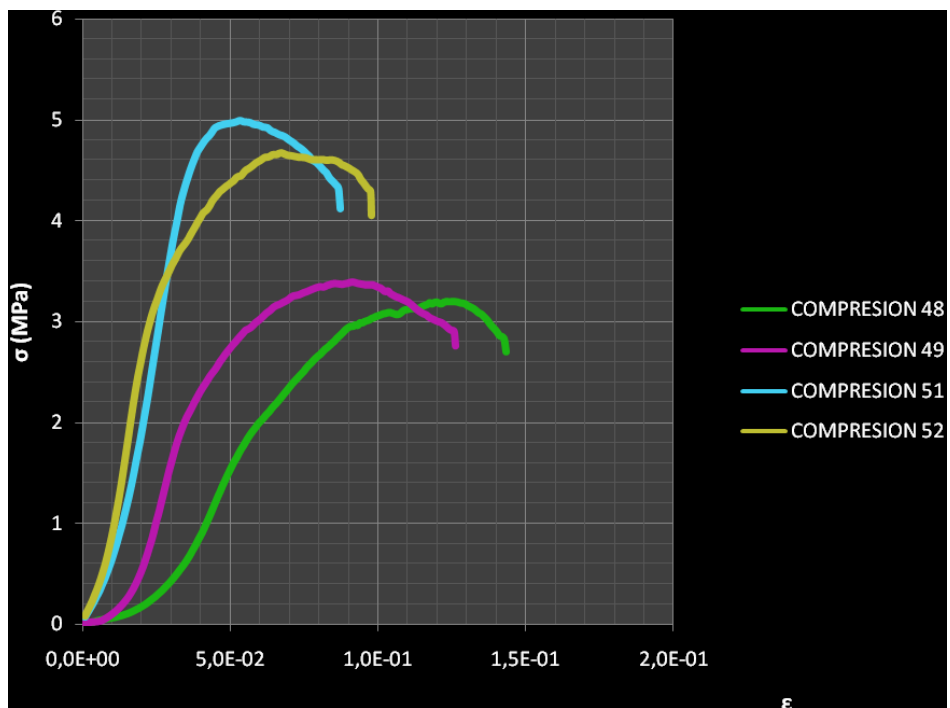


$$\sigma_u = 4.7 \text{ MPa}$$

$$E = 154.1 \text{ MPa}$$

En la siguiente gráfica se puede observar una comparación del comportamiento a compresión de las cuatro probetas:

Figura 36. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria para las diferentes probetas



En la gráfica anterior se observa que en cada una de las curvas se presenta un rango en el cual el esfuerzo es proporcional a la deformación, es decir el material presenta una deformación elástica. Después de este rango se empieza a notar una cierta curvatura que indica el comienzo de una deformación plástica, la cual aumenta más rápidamente al aumentar la carga. Por otra parte, el punto máximo (esfuerzo último) de cada una de las gráficas indica la resistencia que presenta el material a la compresión y la falla se presenta a un esfuerzo menor.

En la tabla 11 se presentan el esfuerzo ultimo y el modulo de elasticidad de cada probeta:

Tabla 10. Resultados de esfuerzo ultimo y modulo de elasticidad para las probetas sometidas a compresion

Probeta	Esfuerzo ultimo (σ_u) (MPa)	Modulo de elasticidad (E) (MPa)
48	3.3	64.6
49	3.4	108.4
51	5.0	178.4
52	4.7	154.1

El comportamiento de las cuatro probetas utilizadas para esta prueba varió considerablemente entre cada una de ellas, esto es ocasionado por el compactamiento que presentaban, a mayor compactamiento, mayor resistencia a la compresion es asi como la probeta 51 presento mayor resistencia por ser ésta la mas compacta y la 48 la de menor resistencia por ser la menos compacta. La diferencia en el compactamiento de cada una de las probetas se debe a que las probetas 51 y 52 fueron horneadas con un peso encima a diferencia de las probetas 48 y 49 que se hornearon sin peso. A continuacion se muestran imágenes de las probetas después del ensayo de compresión:

Figura 37. Probetas 48, 49, 51 y 52 después de realizada la prueba de compresión



3.5.5.3 Ensayo de impacto: En esta prueba se determino la energía absorbida por el material en el momento de la falla, y el esfuerzo. A continuación se muestra una de las probetas usadas en este ensayo:

Figura 38. Probeta utilizada para prueba mecánica de impacto



En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos en la prueba:

Tabla 11. Resultados obtenidos en el ensayo de impacto

muestra	Energía (J)	Esfuerzo (J/m ²)
Aire	2.45	245
42	5.88	392
53	5.88	441
47	6.86	392
34	4.90	539

Las diferencias en las energías de las probetas pueden deberse a que las estructuras de las mismas no es uniforme ya que a pesar de que en todas se siguió el mismo procedimiento, el hecho de que este se realice de forma manual introduce variantes que en los métodos automatizados se minimizan en los productos comerciales.

Según los resultados de las pruebas mecánicas realizadas al material se puede decir que es un material con dureza media, con una baja resistencia a la compresión pero que presenta un comportamiento dúctil, es decir presenta grandes deformaciones antes de su rotura, al aumentar la compactación en su elaboración, aumenta su resistencia pero pierde gradualmente ductilidad.

Después de estudiar las propiedades de los aglomerados obtenidos, se puede decir que cada una de las materias primas utilizadas para la elaboración de estos aporta una característica en particular al aglomerado. La cáscara da un bajo peso y aumento en su resistencia mecánica por el cruzamiento de fibras, dependiendo de su cantidad y tamaño de partícula, además, proporciona resistencia térmica; el poliestireno aporta baja conductividad térmica y la emulsión cohesividad al aglomerado.

3.6 IMPACTO SOCIAL, TECNOLÓGICO, AMBIENTAL Y ACADÉMICO

Con este trabajo se quiere contribuir brindando un impacto ambiental favorable para la sociedad preservando el equilibrio natural y manteniendo un ambiente limpio y sano, además de disminuir la contaminación, economizar energía, ahorrar recursos, y alargar la vida útil de los materiales. Contribuyendo en gran medida, a la reducción de un desecho de difícil biodegradación como lo es la cascarilla de arroz y el poliestireno y disminuyendo la tala de árboles cuya madera se destina para la fabricación de tableros aglomerados que son utilizados para la fabricación

de espacios exteriores e interiores tales como puertas, muebles, repisas, pisos, marcos para ventanas, acabados, etc.

En cuanto a la parte académica se hace un aporte investigativo el cual permite continuar con trabajos de investigación para la producción de aglomerados a partir de poliestireno post-consumo mejorando sus propiedades físicas y químicas, puesto que estos materiales presentan grandes aplicaciones así como bajos costos de inversión en su producción.

En la parte tecnológica se pretende fomentar la introducción de nuevos materiales sintéticos con mejores propiedades que sean de utilidad en la industria de los tableros aglomerados y permitan reemplazar los productos que actualmente se fabrican a partir de materias primas naturales tales como la madera.

4. CONCLUSIONES

- La adición del poliestireno en la etapa de elaboración de la emulsión es fundamental ya que este actúa como un agente estabilizante.
- Las proporciones emulsión-carga, la presión aplicada, y el proceso de secado influyen tanto en la apariencia física como en las propiedades mecánicas del material obtenido.
- Debido a la baja conductividad térmica que presenta tanto la cascarilla de arroz como el poliestireno, es muy probable que el producto obtenido posea dicha propiedad.
- Es posible que los aglomerados de la cascarilla de arroz ofrezcan la posibilidad de aislar acústicamente recintos, ya que esta es una aplicación empírica que en los últimos años se le ha venido dando a dicha fibra.
- Según los resultados de las pruebas mecánicas se puede concluir que el material obtenido no puede ser utilizado en un sistema estructural, pero si puede ser utilizado para la construcción de elementos no estructurales, tales como puertas, marcos para ventanas, algunas partes de muebles, acabados, repisas, y también para otros usos en el medio de la construcción como por ejemplo el aligeramiento de placas de concreto, debido a su baja densidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Química sustentable. Centro de Publicaciones Universidad Nacional del Litoral. Editorial Norma Numelan. 2004, p. 104-105.
- (2) F. W. Billmeyer. Ciencia de los polímeros. Editorial Reverté. Barcelona. 1975, p. 350-400.
- (3) El poliestireno expandido y el medio ambiente. Madrid: ANAPE. p: 10. Boletín 10: 3. 2003.
- (4) Aplicaciones de Envasado y Embalado en EPS. [En línea]. URL <<http://anape.es>>. [Visita del 11 de agosto del 2003].
- (5) Asociación Argentina de Poliestireno Expandido (AAPE). Productos y aplicaciones. Aislamiento Térmico. [En línea]. URL <http://www.aape.com.ar/Productos/pya03.htm> [visita del 7 de agosto del 2003].
- (6) N. Cubero, A. Monferrer y J. Villalta. Tecnología de alimentos. Aditivos alimentarios. Ediciones Mundi Prensa. 2002, p. 184 y 185.
- (7) V. M. Rodríguez Rivera, E. S. Magro (coordinadores). Bases de la alimentación humana. Editorial Netbiblo. España. 2008, p. 206 y 207.
- (8) C. Cadena, A. Bula Silvera. Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales. Ingeniería & desarrollo. Universidad del Norte. 12:8-9. 2002
- (9) C. Mans, Selección de emulsionantes. Catedratic d'Enginyeria Química. Universitat de Barcelona. NPQ 306/88, p. 9 – 13.
- (10) R. Rodríguez Talavera, V. Castaño Meneses, y M. Martínez Madrid. Emulsiones asfálticas. Instituto Mexicano del Transporte. Documento técnico No. 23. 2001, p. 15 -17, 18-20.
- (11) W.C. Griffin, J. Society Cosmetic Chemists. 1946. Vol. 1, p. 311
- (12) I. Aranberri, B.P. Binks, J.H. Clint, P.D.I. Fletcher. Elaboración y caracterización de emulsiones estabilizadas por polímeros y agentes

- tesioactivos. Revista Iberoamericana de Polímeros. 2006. Vol. 7. Edición 3, p. 211-231.
- (13)** I. Katime, J.R. Quintana, M. Villacampa. Revista Iberoamericana de Polímeros. 2003. Vol. 4, p. 123
- (14)** A. Fernández Arteaga. Preparación, Caracterización y estabilidad de emulsiones y microemulsiones O/W. Editorial de la Universidad de granada. Granada. 2006.
- (15)** R. Heusch, A. Bayer y G. Leverkusen. Emulsions in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry (Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA). 2002. vol. A9, p. 297-333
- (16)** O. F. Delgado, J. A Medina. Extrusión de perfiles espumados de madera plástica. Colombia. Universidad de los Andes, p. 56-57
- (17)** W. D. Callister. Introducción a la ciencia e ingeniería de materiales 1. Editorial Reveté. Barcelona, España. 2007, p. 117, 129, 132.

ANEXOS

ANEXO A FICHA DE SEGURIDAD DEL XILENO

Nombre químico: Xileno

Número CAS: 1330-20-7

Formula química: $C_6H_4(CH_3)_2$

Familia química: Hidrocarburos aromáticos

IDENTIFICACION DE LOS PELIGROS

Clasificación del riesgo del producto químico:

a) Peligro para la salud:

Inhalación: Irritación de vías respiratorias, náuseas, dolor de cabeza y depresión del sistema nervioso central.

Ingestión: Irritación gastrointestinal, fatiga, pérdida de conciencia, náusea y vómito.

Piel: El contacto repetido y prolongado puede ocasionar dermatitis. Se absorbe a través de la piel presentando efectos narcóticos.

Ojos: Enrojecimiento, irritación. Se han reportado vacuolas corneales.

Efectos crónicos: Repetido o prolongado contacto produce dermatitis. Efectos neurológicos: dolor de cabeza, insomnio, agitación, temblores, pérdida de la concentración y de la memoria a corto tiempo. Efectos al hígado y riñones: se han reportado daños al riñón, pero no se han concluido los estudios.

Teratogenicidad: Se observa un incremento de abortos espontáneos y problemas congénitos.

b) Peligro medio ambiente: Contaminación del agua.

c) Peligro especial: El mayor peligro es su inflamabilidad

PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación: Trasladar al aire fresco. Si no respira administrar respiración artificial. Si respira con dificultad suministrar oxígeno. Mantener la víctima abrigada y en reposo. Buscar atención médica inmediatamente.

Ingestión: Lavar la boca con agua. Si está consciente, suministrar abundante agua. No inducir el vómito, si este se presenta inclinar la víctima hacia adelante. Buscar atención médica inmediatamente. Si esta inconsciente no dar a beber nada.

Piel: Retirar la ropa y calzado contaminados. Lavar la zona afectada con abundante agua y jabón, mínimo durante quince minutos. Si la irritación persiste repetir el lavado. Buscar atención médica.

Ojos: Lavar con abundante agua, mínimo durante quince minutos. Levantar y separar los párpados para asegurar la remoción del químico. Si la irritación persiste repetir el lavado. Buscar atención médica.

RIESGOS DE INCENDIO Y/O EXPLOSIÓN

Punto de inflamación (°C): (27(m-,p-); 32(o-))

Temperatura de autoignición (°C): 463.9

Límites de inflamabilidad (%V/V): 3.65-3.7

Peligros de incendio y/o explosión:

Altamente inflamable y explosivo. Volátil. Emite vapores más pesados que el aire que pueden viajar hacia una fuente de ignición y regresar en llamas. Forma mezclas inflamables con el aire.

Productos de la combustión:

Dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrocarburos y aldehídos.

Precauciones para evitar incendio y/o explosión:

Mantener retirado de las zonas donde exista riesgo de fuego y en recipientes bien tapados. Proveer de buena ventilación a nivel del piso. No fumar en los sitios de trabajo. Conectar a tierra los recipientes para evitar descargas electrostáticas. Los equipos eléctricos, de iluminación y ventilación deben ser a prueba de explosiones.

Procedimientos en caso de incendio y/o explosión:

Evacuar o aislar el área de peligro. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Estar a favor del viento. Usar equipo de protección personal.

Agentes extintores del fuego:

Polvo químico seco, espuma, dióxido de carbono y agua en forma de neblina.

ALMACENAMIENTO Y MANIPULACIÓN

Almacenamiento: Lugares ventilados, frescos y secos. Lejos de fuentes de calor e ignición.

Separado de materiales incompatibles. Rotular los recipientes adecuadamente y mantenerlos bien cerrados.

Manipulación: Usar siempre protección personal así sea corta la exposición o la actividad que realice con el producto. Mantener estrictas normas de higiene, no fumar, ni comer en el sitio de trabajo. Usar las menores cantidades posibles.

Conocer en dónde está el equipo para la atención de emergencias. Leer las instrucciones de la etiqueta antes de usar el producto. Rotular los recipientes adecuadamente.

EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL/CONTROL EXPOSICION

Uso Normal: Gafas de seguridad, careta, guantes y delantal de caucho. Respirador con filtro para vapores orgánicos.

Control de Emergencias:

Equipo de respiración autónomo (SCBA) y ropa de protección TOTAL.

Controles de Ingeniería:

Ventilación local y general, para asegurar que la concentración no exceda los límites de exposición ocupacional o se mantenga lo más baja posible.

Considerar la posibilidad de encerrar el proceso. Garantizar el control de las condiciones del proceso. Suministrar aire de reemplazo continuamente para suplir el aire removido. Disponer de duchas y estaciones lavaojos.

PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Apariencia: Líquido incoloro con olor aromático.

Gravedad Específica (Agua=1): 0.86-0.87 / 20°C

Punto de Ebullición (°C): 138 - 144

Punto de Fusión (°C): -25

Densidad Relativa del Vapor (Aire=1): 3.65-3.7

Presión de Vapor (mm Hg): 6.0 / 20°C

Viscosidad (cp): 0.620-0.810 /20°C

pH: N.A.

Solubilidad: Insoluble en agua. Soluble en alcohol, éter y otros compuestos orgánicos.

ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad: Estable bajo condiciones normales.

Incompatibilidades o materiales a evitar: Agua: No Aire: No Otras: Agentes oxidantes.

ANEXO B FICHA TECNICA DEL TEXAPON 70

Nombre: Texapón 70

Otras designaciones: Lauril éter sulfato de sodio

PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

PROPIEDADES FISICAS:

Aspecto: Es un producto pastoso, transvasable, desde claro como el agua hasta amarillento.

Olor: Ligeramente débil al alcohol.

Miscibilidad: Es compatible con todos los tensoactivos básicos y aditivos.

Temperatura de Ebullición (°C): $2 > 100$

Temperatura de Fusión (°C): >20

Temperatura de Inflamación (°C): 200

Temperatura de Autoignición: N/D

Densidad Relativa: 1.05 aprox.

Densidad de Vapor (aire = 1): >200 °C

Peso Molecular: N/D

Estado físico (color y olor): Líquido amarillento característico

Velocidad de Evaporación (BuAc=1): N/D

Solubilidad en Agua: Soluble

Presión de Vapor en Agua (mmHg a 20°C): N/D

% de Volatilidad: N/D

Limites de flamabilidad o explosividad

Inferior: N/D

Superior: 1.0 aprox.

ALMACENAMIENTO

Envases: El TEXAPON N70 debe protegerse contra la congelación a temperaturas normales y en recipientes originales debidamente cerrados. Se puede conservar hasta tres años.

PELIGROS

No es tóxico, no irrita la piel y no es inflamable.

PROPIEDADES Y APLICACIÓN

Es una materia prima de alta concentración para la industria cosmética y se emplea en la elaboración de artículos cosméticos portadores de sustancias tensoactivas como shampoo, geles de baño, etc.