

INFORME SEMESTRE DE INDUSTRIA EN NEW STETIC S.A.

DESARROLLO A ESCALA PILOTO DE UNA NUEVA FORMULACIÓN DE ACRÍLICO DE ALTO IMPACTO PARA APLICACIÓN DENTAL EN LA EMPRESA COLOMBIANA NEW STETIC S.A.

POR

CAROLINA PERILLA SÁNCHEZ

ELÍAS DE JESÚS GÓMEZ MACÍAS

Asesor Interno

HENRY ALBERTO RODRIGUEZ

Asesor Externo

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA

MEDELLÍN

2018

Contenido

1. RESUMEN	3
2. LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS	4
3. INTRODUCCIÓN	4
4. OBJETIVOS.....	5
4.1. Objetivo general	5
4.2. Objetivos específicos	5
5. MARCO TEÓRICO	6
5.1. Polimerización.....	7
6. METODOLOGÍA	9
6.1. Procedimiento experimental	11
6.1.1. Reactor piloto.....	11
6.1.2. Reactor laboratorio	12
6.1.3. Placas	14
6.2. Ensayos de caracterización.....	16
7. RESULTADOS Y ANÁLISIS	17
7.1. Concentración de modificador de impacto y condiciones de reacción	17
7.2. Análisis de viabilidad económica	26
8. CONCLUSIONES	27
9. REFERENCIAS	¡Error! Marcador no definido.

1. RESUMEN

New Stetic es una empresa la cual cuenta con una gran variedad de líneas de producción y comercialización tales como los dientes acrílicos, resinas acrílicas, anestésicos, aleaciones, algodones, entre otros productos. Una de sus líneas más fuertes se encuentra concentrada en la producción, la investigación y el desarrollo de nuevas resinas acrílicas que permitan ser competitivas y ofrezcan beneficios innovadores para los consumidores. Las líneas de producción de este tipo de acrílico comprenden el acrílico alto impacto, el autopolimerizable y el termopolimerizable, siendo el primero de estos uno de los productos con gran importancia para la empresa por el beneficio económico que trae su distribución y venta ("New Stetic", s/f).

Por medio de la reformulación y caracterización del material se desea aumentar el valor de la propiedad de tenacidad de fractura, y así mismo desplazar el modificador de impacto usado actualmente y un copolímero por un nuevo modificador de impacto el cual traiga beneficios monetarios para la empresa y mejore las propiedades mecánicas del producto.

Mediante la realización de una serie de reacciones y toma de decisiones, se encontró que el modificador de impacto que permite mejorar las propiedades del acrílico y desplazar el copolímero es el A y la concentración que mejora la propiedad de tenacidad a la fractura es del X%. Además de esto se logró comprobar que la adición de un polímero sintético P durante la solvatación ayudaba en gran medida a darle estabilidad a la reacción y a que los tamaños de partícula del polímero resultante fueran mucho más uniformes.

Al realizar la viabilidad técnica y económica del producto, se encontró que con la nueva formulación, en caso de lograr estabilizar el producto, se lograría producir el acrílico de alto impacto aproximadamente a un tercio del precio al que se produce actualmente.

Palabras claves: *Acrílico, modificador de impacto, tenacidad de fractura, solvatación, copolímero.*

2. LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

Tabla 1. Lista de símbolos y abreviaturas.

Abreviatura	Término
EMA	Etil metacrilato
MMA	Metilmetacrilato
PMMA	Polimetilmetacrilato.
SS	Sin solvatar
Solv	Solvatado
P	Polímerosintético
A	Modificador de impactoseleccionado
X	Concentración establecida para el modificador de impacto

3. INTRODUCCIÓN

Las resinas acrílicas fueron sintetizadas y comercializadas por primera vez a mediados del siglo XX, como una necesidad de reemplazar a los silicatos usados en la restauración oral puesto que estos materiales tenían grandes desventajas, como el desgaste al poco tiempo de ser instaladas o localizadas en los pacientes, entre otras. En el caso de las resinas, se contaba con coloraciones similares a las dentales, eran fáciles de manipular, de bajo costo e insolubles en fluidos orales, por tanto desde ese entonces se viene trabajando e investigando constantemente para la mejora de las propiedades mecánicas y problemas derivados de la polimerización (Universidad Central de Venezuela. Facultad de Odontología. & PEREIRA S, 2008).

Las resinas usadas para dispositivos médicos son polímeros a base de polimetacrilato de metilo (PMMA), el cual se puede generar por métodos de polimerización por emulsión y suspensión. Para mejorar las características o modificar algunas propiedades de dichas resinas como la resistencia al impacto y a altas temperaturas, la estabilidad, flexibilidad, dureza, entre otras, es posible usar distintos monómeros o modificadores, es decir, el metil metacrilato el cual es el monómero más utilizado, puede ser copolimerizado con metil acrilato, etil acrilato, estireno, o acrilonitrilo, o puede ser mezclados con modificadores de impacto como goma, vinil u otros (Vinny R. Sastri, 2010).

El tipo de curado de las resinas puede clasificarlas en resinas de termocurado, autocurado y fotocurado, las primeras pueden tener usos tales como la confección de bases de prótesis, rebasado y reparación de prótesis, bases y placas de ortodoncia, dientes artificiales y mantenedores de espacio (Alisson, 2013). El acrílico de alto impacto es una resina de termocurado, el cual presenta mejora en cuanto a las propiedades mecánicas, especialmente en la resistencia al impacto, que es la energía requerida para fracturar un material bajo la fuerza del impacto. Estos acrílicos deben tener la capacidad de ser moldeados en formas complejas bajo la acción de calor y presión, por lo que deben ser fáciles de manipular, además deben mostrar la suficiente translucidez para que confiera la apariencia natural de los tejidos bucales, y proporcionar las capacidades y características esenciales y necesarias para ser usados en la cavidad bucal (*Resinas acrílicas termopolimerizables de alto impacto veracril/opticryl*, 2010).

Por lo anterior, el objetivo de este proyecto fue mediante la incorporación de nuevas formulaciones de modificadores de impacto, mejorar las propiedades mecánicas de las resinas acrílicas de alto impacto elaboradas en New Stetic S.A., y lograr desplazar el copolímero utilizado actualmente, el cual aumenta considerablemente el valor del producto. Finalmente se realizará un estudio de viabilidad técnica y económica del producto.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Formular acrílicos de alto impacto para uso en aplicación dental que cumplan las especificaciones de la norma ISO 20795-1:2013 Dentistry base polymers Part 1: denture base polymers, mediante el uso de copolímeros de base acrílica con la finalidad de mejorar sus propiedades de resistencia al impacto.

4.2. Objetivos específicos

4.2.1. Establecer la concentración del modificador de impacto y las condiciones de proceso adecuadas para la obtención del producto a escala piloto.

4.2.2. Caracterizar las formulaciones coloreadas y sin colorear con base a la norma ISO 20795-1:2013, con el fin de verificar que las resinas sean aptas para el uso en aplicación dental.

4.2.3. Elaborar y aplicar un protocolo de estabilidad acelerada del producto para verificar que este es apto para su aplicación, y que sus condiciones permanecen en el tiempo.

4.2.4. Evaluar acorde a los resultados el costo final del producto, y así establecer su viabilidad económica.

5. MARCO TEÓRICO

Los polímeros de MMA han tenido gran éxito en el campo de la odontología, puesto que son relativamente fáciles de procesar, y dado que estos materiales aportan las propiedades mecánicas para ser usados en la restauración oral. Una de las principales aplicaciones es la realización de bases de dentadura, que suelen ser elaboradas usando acrílico termopolimerizable (*Resinas acrílicas termopolimerizables de alto impacto veracril/opticryl*, 2010).

Las propiedades mecánicas de dichas bases de dentadura pueden ser mejoradas con la incorporación de resinas acrílicas de alto impacto, las cuales se encuentran compuestas actualmente a base de butadieno-estireno o comúnmente caucho, el cual funciona como modificador de impacto, este es mezclado con MMA de manera que el caucho se una muy bien a la matriz de acrílico termopolimerizado (Alisson, 2013). La función principal de los modificadores es absorber y disipar la energía que se propaga por el material al recibir un impacto. Dichos modificadores suelen ser elastómeros y adicionarse en una composición de hasta el 20%.

Mejorar la resistencia al impacto es el rol u objetivo principal de un importante número de aditivos, los cuales compensan la fragilidad inherente del material, o aparición de dicha fragilidad a bajas temperaturas, sensibilidad de la muesca, y propagación de grietas. Por lo general, se trata de introducir un componente que normalmente es un material elastómero, el cual tiene la capacidad de absorber la energía de un impacto y disiparlo. Para que estos modificadores puedan cumplir la función deseada de prevenir la propagación de grietas a través del elastómero, es necesario que tengan una buena adhesión con el polímero y cohesión entre sus partículas.

Algunos de los modificadores de impacto pueden ser de tipo ABS (copolímeros estirenos), MBS (metacrilato butadieno-estireno), acrílicos, entre otros, los cuales se adicionan al monómero para crear un nuevo material que asegure que sus propiedades mecánicas sean superiores o mejores que las de cada uno en particular (Plastics, 2004).

Por otro lado, es de gran importancia tener cuidado durante las reacciones, puesto que de esto pueden depender las características del producto terminado.

5.1. Polimerización

Las reacciones de polimerización son un proceso mediante el cual unos compuestos de bajo peso molecular (monómeros), forman enlaces entre sí para dar lugar a cadenas de peso molecular mayor ("Polimerización | Tecnología de los Plásticos", 2013)

Existen varios tipos de sistemas de polimerización como se muestra en la tabla a continuación.

Tabla 2. Tipos de sistemas de polimerización.

Sistemas homogéneos	Sistemas heterogéneos
Polimerización en bloque Polimerización en Solución	Polimerización en suspensión Polimerización en emulsión Polimerización en precipitación

Las reacciones realizadas en el proyecto fueron de polimerización en suspensión, por lo que la polimerización tiene lugar dentro de las partículas que se encuentran en suspensión. Una vez ocurre la reacción, las partículas esféricas de polímero se separan, puesto que son poco solubles en el medio de dispersión, esto gracias también a un agente tensoactivo que debe ser adicionado para que se de esta precipitación.

Para las reacciones se tenían como medio de suspensión agua y CMC. En este tipo de polimerización, el monómero y el iniciador se dispersan en el medio de reacción, el cual se mencionó anteriormente.

La coalescencia de las gotas se puede evitar usando polímeros hidrosolubles, los cuales son agentes de estabilización o suspensión que no forman micelas como el alcohol polivinílico, metilcelulosa, entre otros.

Estos procesos se caracterizan por tener un buen control de temperatura y por la facilidad para extraer el polímero una vez ha terminado la reacción, sin embargo el tamaño de partícula es un factor difícil de controlar, y resultan ser muy sensibles al sistema de agitación, puesto que según la dinámica empleada puede variar en gran medida el tamaño de las partículas (SISTEMAS Y TÉCNICAS DE POLIMERIZACIÓN, 2017)

Este proceso de polimerización en suspensión se encuentra resumido brevemente en la siguiente figura.

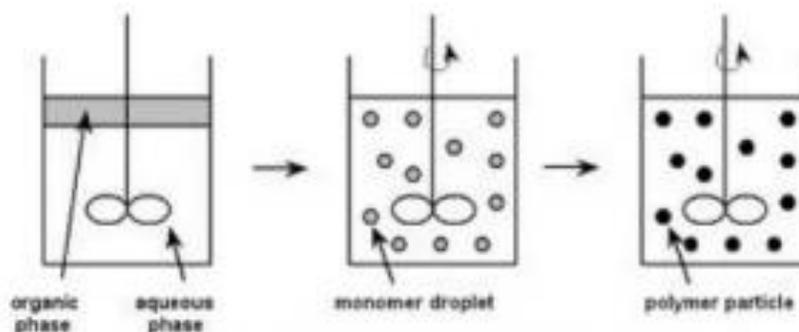


Figura 1. Polimerización en suspensión.

Las reacciones de polimerización se caracterizan por transcurrir a través de tres etapas, iniciación, propagación y terminación.

5.1.1. Etapas de reacción

En la etapa inicial se forman los monómeros activados y esta puede ser inducida por calor, agentes químicos, o por radiación, en el caso en el que sea iniciada por un iniciador radicalario, es llamada polimerización radicalaria o de radicales libres, si el iniciador es un catión se denomina catiónica, y si es un anión, aniónica.

En las polimerizaciones iniciales que competen a este proyecto, la etapa de iniciación emplea como iniciador el peróxido de benzoilo (BPO). Esta sustancia se encarga de fraccionar un enlace, generando dos radicales libres como se ilustra a continuación (Ohtani et al., 2017).

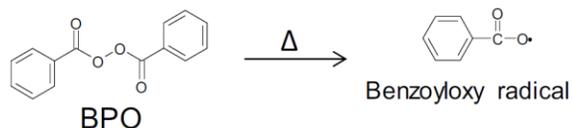


Figura 2. Manera en la que actúa el iniciador de la reacción (BPO)

Seguidamente, el radical libre ataca el doble enlace del monómero presente, formando un monómero de radical libre.

En otra etapa del proyecto se utilizaron como iniciadores el B, C Y D, iniciadores los cuales se activan a distintas temperaturas y por tanto exigen una curva de reacción un poco más larga.

En la segunda etapa o de propagación, el radical o monómero activado que se formó en la etapa anterior, se comienza a adherir a los monómeros, por lo que al final de esta etapa se obtiene una cadena activada.

Finalmente, en la etapa de terminación se obtiene el polímero, y se pierde la actividad de las cadenas que se formaron durante la etapa de propagación. Los posibles mecanismos por los que ocurre son el apareamiento, desproporción y transferencia de cadena (Liera, 2017).

6. METODOLOGÍA

La metodología se basó en sintetizar una formulación base o inicial en el reactor piloto, variando la concentración del modificador de impacto previamente evaluado y seleccionado, seguido de esto se decidió realizar una serie de placas para analizar qué estaba ocurriendo con la solvatación que se realiza antes de la reacción y comprobar si la adición de P lograba estabilizar la solvatación y posteriormente la reacción, basado en estos resultados, se realizaron 17 reacciones en el reactor a escala laboratorio y finalmente se tomaron los mejores resultados de estas reacciones y se intentaron replicar 3 de ellos en el reactor piloto. Este mapa de toma de decisiones se puede observar en la siguiente figura, donde al lado izquierdo se encuentra resumido el total de ensayos que se hicieron, y al lado derecho el paso a paso u orden cronológico de estos mismos.

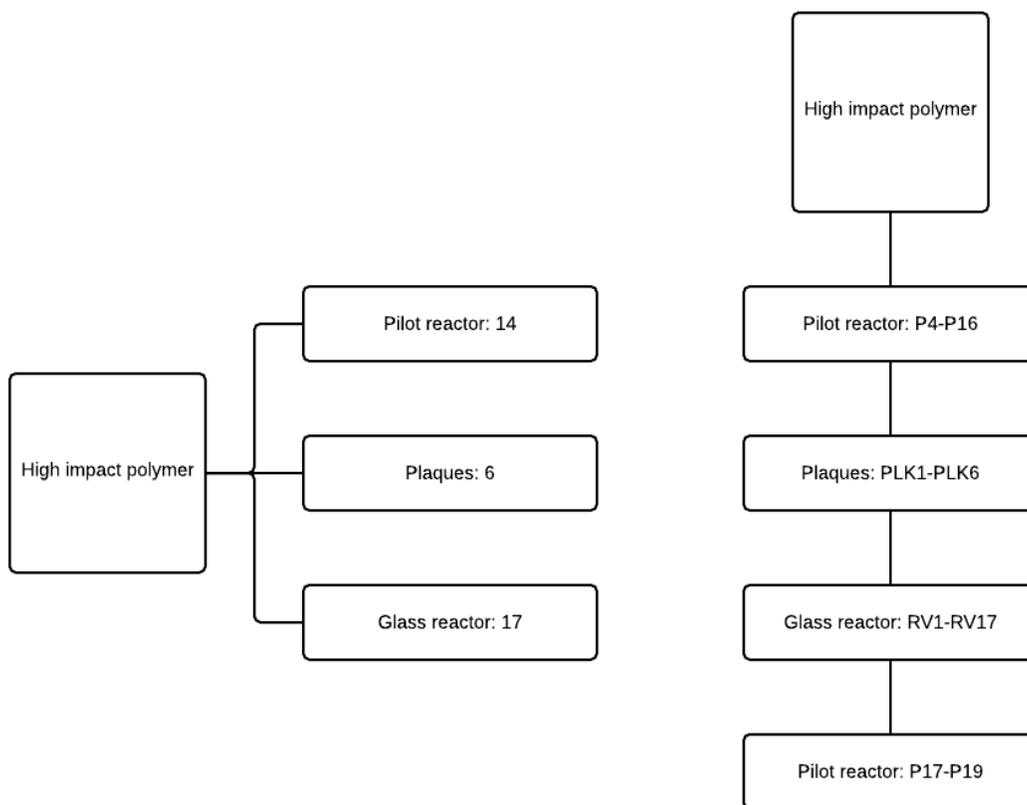


Figura 3. Mapa de toma de decisiones del proyecto.

A continuación se muestra un mapa o algoritmo de metodología más específico, el cual se siguió paso a paso con cada reacción realizada.

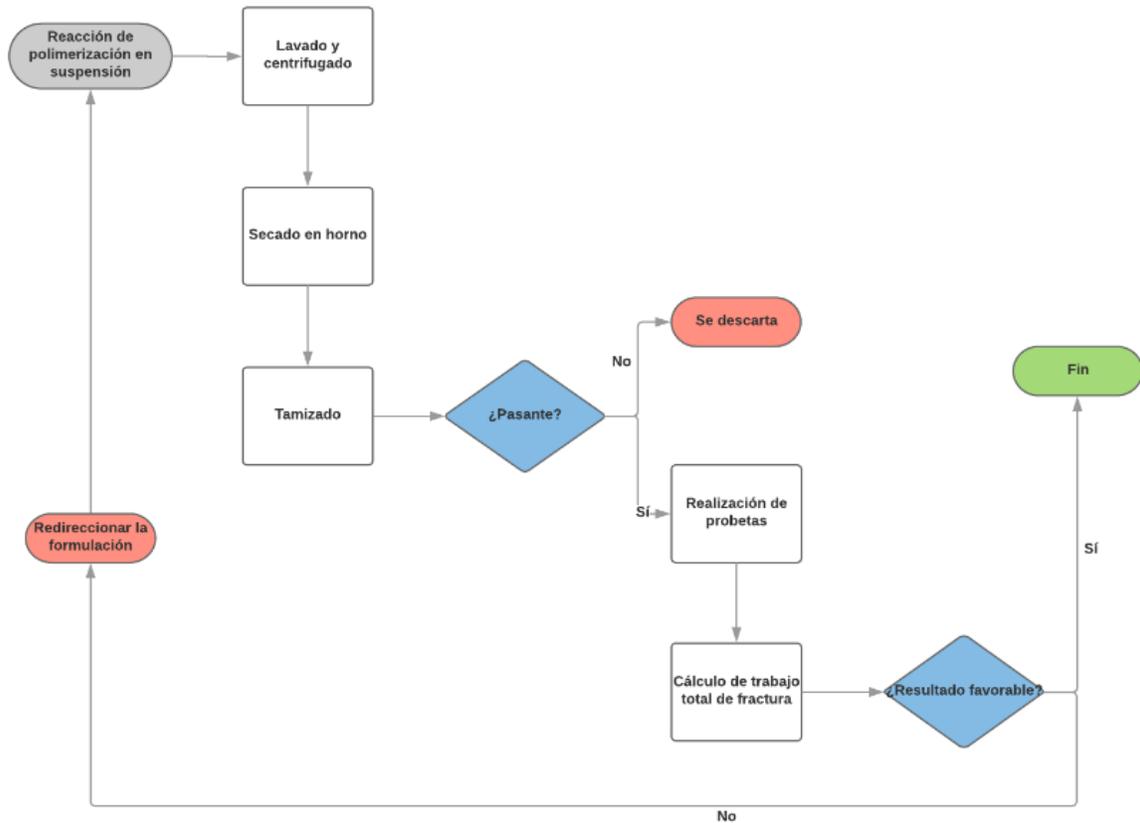


Figura 4. Algoritmo de la metodología para las reacciones.

6.1. Procedimiento experimental

Para poder seguir esta metodología se debió seguir un procedimiento experimental el cual será descrito a continuación para cada uno de los reactores y para la realización de las placas.

6.1.1. Reactor piloto

Cómo se mencionó anteriormente todas las reacciones fueron de polimerización en suspensión, en las cuales se usó como medio agua y un agente de suspensión.

En la siguiente figura se observa el reactor piloto de la empresa New Stetic S.A., donde se realizó una gran parte de las reacciones del proyecto. Este reactor contaba con una capacidad de 50 litros, una chaqueta con un medio de calentamiento y de enfriamiento, un agitador mecánico, un

condensador, y control de temperatura y presión, las cuales se podían leer en un panel que se encontraba cercano al reactor.



Figura 5. Reactor piloto (capacidad de 50L) de la empresa New Stetic S.A.

Una vez terminada la curva de reacción, se descargaba el producto y el polímero obtenido se llevaba a una felpa donde se lavaba y posteriormente se centrifugaba, seguidamente el sólido obtenido se llevaba a un horno de secado a determinada temperatura durante 10 horas. Por último el polímero se debía tamizar con una malla establecida, donde el pasante era el polímero sintetizado y el retenido era desechado, pues el tamaño de partícula era mayor al requerido.

6.1.2. Reactor laboratorio

Para las reacciones realizadas en este reactor se utilizaron las mismas materias primas y procedimiento que para el reactor piloto. Este reactor, como se observa en la siguiente figura, era de aproximadamente 1 litro, contaba con una plancha como medio de calentamiento y agitación, por lo que la agitación era magnética. Contaba únicamente con control de temperatura, y el medio de enfriamiento era manual.



Figura 6. Reactor del laboratorio (capacidad 1L) en la empresa New Stetic S.A.

Una vez terminada la curva de reacción, se descargaba el producto y el polímero obtenido se llevaba a una tela que hacía el papel de filtro donde se lavaba como se observa en la siguiente figura.

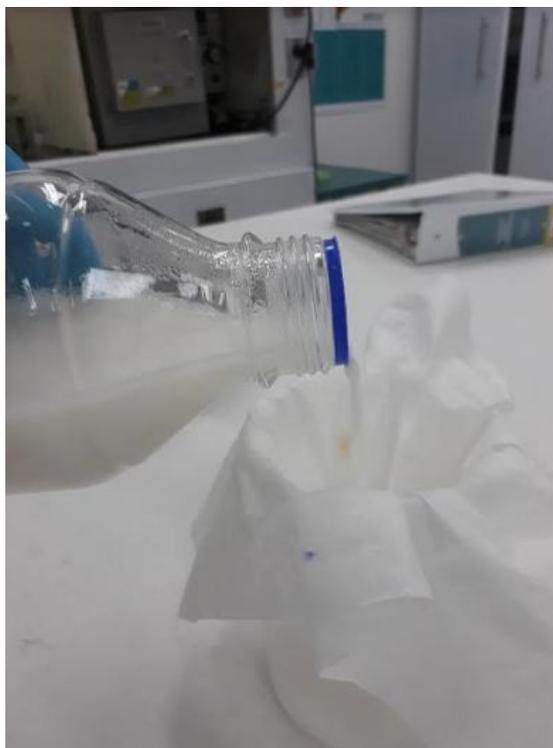


Figura 7. Lavado manual para el proceso en el laboratorio.

Seguido de esto se centrifugaba de una manera manual presionando la tela que funcionaba como filtro, seguidamente el sólido obtenido se llevaba a un horno de secado a la misma temperatura que el piloto durante 10 horas. Por último el polímero se debía tamizar con una malla, donde el pasante era el polímero sintetizado y el retenido era desechado, pues el tamaño de partícula era mayor al requerido.

6.1.3. Placas

Para la realización de las placas se utilizó la solvatación (MMA+Modificador de impacto+ P a distintas concentraciones), la cual se mezclaba con tres iniciadores a distintas concentraciones y un regulador de picos térmicos. Esta mezcla se ponía en medio de 2 placas de vidrio y se vertía en un molde dado por un cordón de silicona como se observa en la siguiente figura.

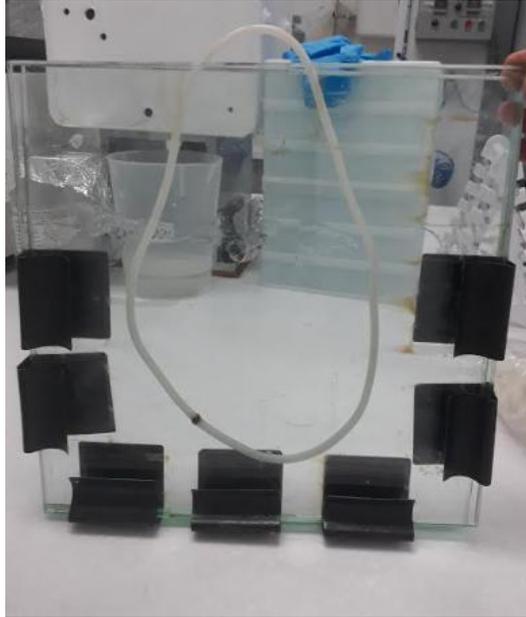


Figura 8. Proceso inicial para la realización de las placas.

Seguido de esto, se terminaba de sellar la placa y se llevaba al horno donde seguía una curva de temperatura de aproximadamente durante 8 horas y media.

Como resultado final se obtenían las placas como se muestra en la figura a continuación.



Figura 9. Placas de solvatación a distintas concentraciones de modificador de impacto.

6.2. Ensayos de caracterización

Una vez se obtenía el polímero tanto del reactor de vidrio como del piloto, se debían realizar ensayos de caracterización con base a la norma ISO 20795-1:2013, mediante los cuales se determinó el tiempo de trabajo, el trabajo total de fractura y el factor máximo ($K_{m\acute{a}x}$). Para cada formulación se hallaron estos valores y se comparaban con los parámetros de aceptación para así verificar si el resultado era favorable o si se debía realizar una reformulación. En la siguiente tabla es posible observar dichos parámetros.

Tabla 3. Criterios de aceptación para los parámetros evaluados.

Parámetros	Acrílico termopolimerizable
Tiempo de trabajo [minutos]	3' – 7'
$K_{max}[MPa.m^{1/2}]$	>1.9
Trabajo total de fractura [J/m^2]	>900

Cabe resaltar que dado que de la realización de las placas no salía un polímero o “polvo”, no era posible realizar las probetas de la manera convencional, por lo que se debían cortar las probetas directamente de la placa siguiendo un modelo, y es por esto que no fue posible tomarles un tiempo de trabajo, y que solamente se obtuvieron resultados del área bajo la curva al fallarlas, el cual es un parámetro que está directamente relacionado con el trabajo total de fractura y da un indicio de la magnitud del valor que daría este último.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

7.1. Concentración de modificador de impacto y condiciones de reacción

Como antecedente, se tenía que de tres posibles modificadores de impacto, el A fue el que dio mejores resultados, por lo que se comenzó a probar con este modificador de impacto a distintas concentraciones.

Inicialmente se realizaron las pruebas en el reactor piloto, donde se hicieron nueve reacciones con una primera formulación, en las cuales el parámetro que se variaba era el porcentaje de modificador de impacto, a continuación, se muestran las reacciones más importantes, las cuales se analizarán posteriormente.

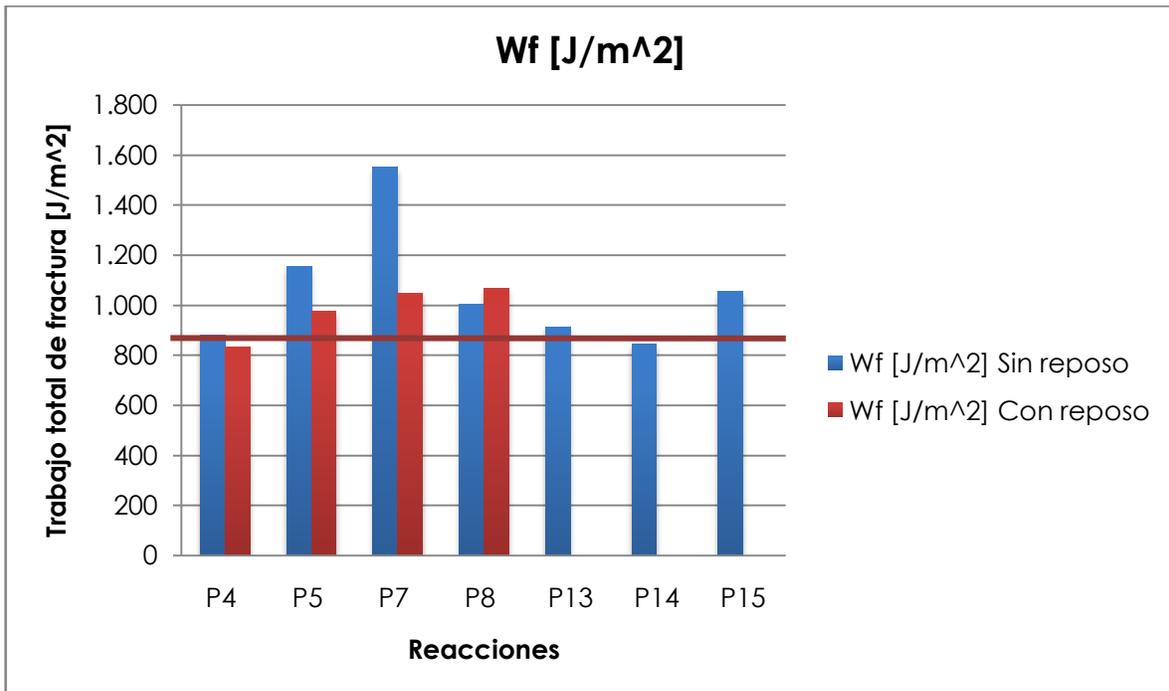


Figura 10. Reacciones relevantes para la toma de decisiones realizadas en el reactor piloto con una primera formulación.

Como es posible observar, el parámetro evaluado W_f (trabajo total de fractura) presenta valores muy cercanos al del criterio de evaluación mencionado anteriormente, y además se evidencia que cuando se dejan reposando las probetas por unos días, estos valores disminuyen considerablemente, afectando así la estabilidad del producto.

Al no obtener resultados favorables se decidió realizar una serie de pruebas que no involucraban reacciones, sino que intervenían al momento de la realización de las probetas. Estos ensayos tampoco mostraron resultados significativos y por tanto fueron descartados.

Los ensayos realizados fueron los siguientes:

- Se le adicionó modificador de impacto a 3 lotes, P7 y P8 que fueron lotes del reactor piloto y a un lote de producción que no había cumplido con las especificaciones.
- Se tamizó el modificador de impacto por la misma malla del polímero y se le adicionó nuevamente a los lotes P7 y P8 al momento de realizar las probetas.
- Se le adicionó PEMA a los lotes mencionados anteriormente en porcentajes de 85:15 y 70:30.

Seguido de estas pruebas, se observó en el estereomicroscopio los polímeros obtenidos en el reactor piloto y estos fueron comparados con un polímero patrón o de referencia como se muestra a continuación.

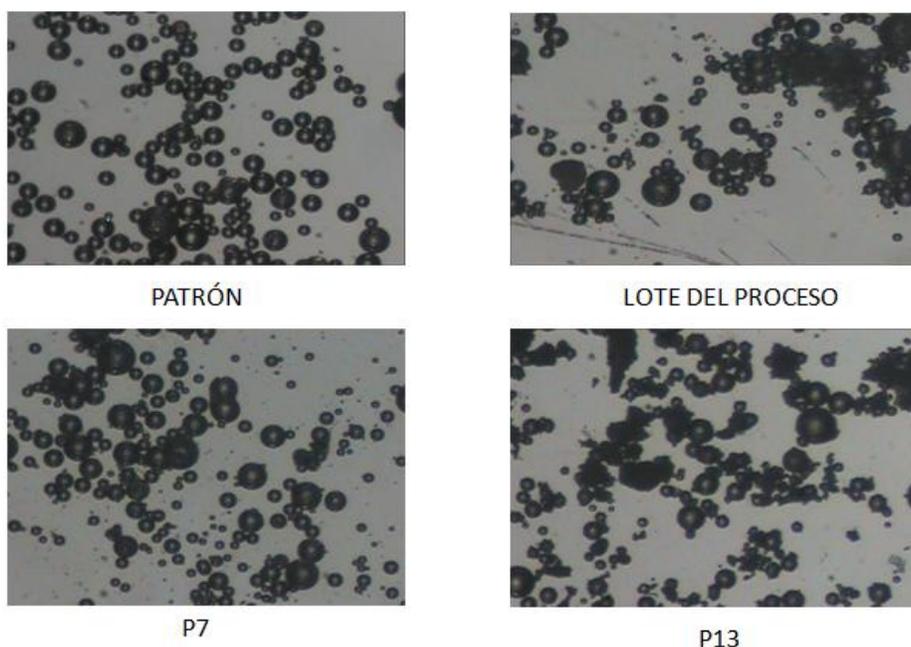


Figura 11. Polímero observado desde el estereomicroscopio.

En la figura anterior se puede observar que tanto en los polímeros producidos en el piloto como el del lote del proceso, se observan trazas de modificador de impacto y no se distinguen claramente las esferas del polímero, por lo que se analiza que el modificador de impacto no está cumpliendo finalmente su función que es recubrir las esferas del polímero y así aumentar su resistencia al esfuerzo y obtener una propiedad de tenacidad a la fractura más alta. Además se observa que los tamaños del polímero no son uniformes.

Por estas razones se decide realizar una serie de placas con la solvatación, para ver qué ocurre con el modificador de impacto antes de la reacción y se decide adicionar un polímero sintético que cumple la función de emulsionante y es de gran calidad adhesiva, para ver si con esto se lograba estabilizar la solvatación y posteriormente la reacción.

De dichas placas se sacaron unas probetas y se les evaluó el parámetro de área bajo la curva, la cual está directamente relacionada con el trabajo total de fractura, por lo que de ese valor se podía estimar si el trabajo total de fractura iba a dar un valor favorable o no. A continuación se observan los resultados de un total de seis placas que se realizaron a distintas concentraciones de modificador de impacto.

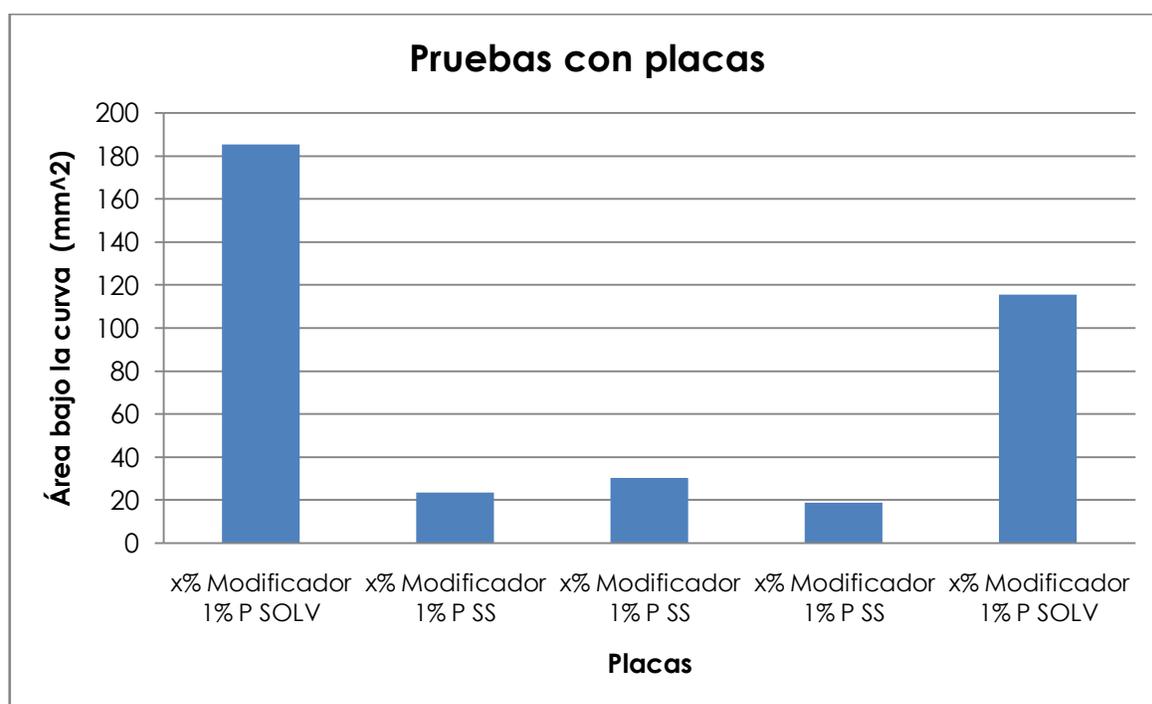


Figura 12. Resultados para las áreas bajo la curva de las placas realizadas.

De la figura anterior, es posible observar que la presencia del polímero sintético mejor notablemente la dispersión del modificador de impacto en el monómero. A continuación se observa la comparación entre la solvatación antes de habersele agregado el polímero sintético y después.

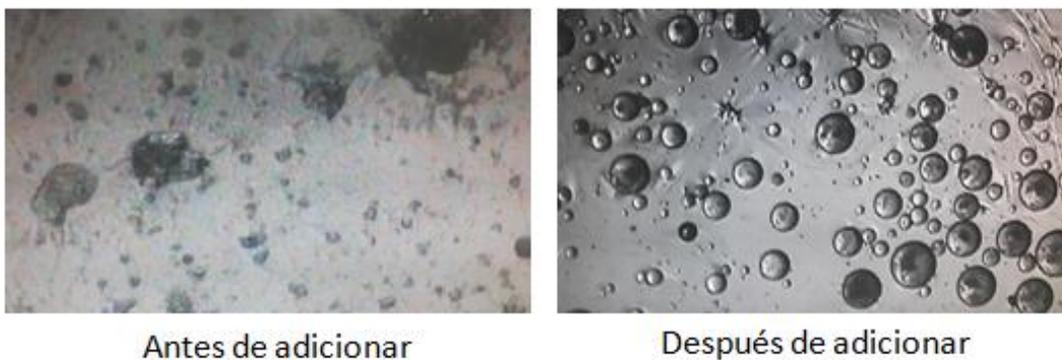


Figura 13. Solvatación observada desde el estereomicróscopio.

Además se evidenció la existencia de dos fases en las probetas obtenidas de las placas sin solvatar, por lo que se confirma la necesidad de esto como se muestra a continuación.

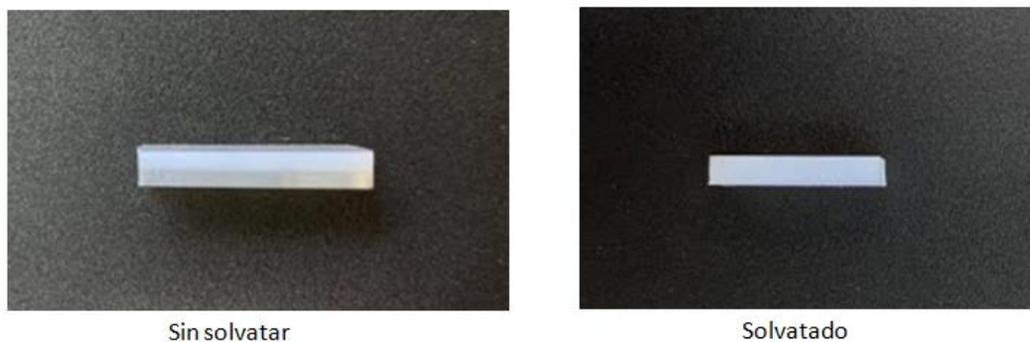


Figura 14. Comparación de probetas de las placas.

De acuerdo a los resultados evidenciados se comenzaron a realizar reacciones en el reactor a escala laboratorio, con una concentración del 1% de este polímero y a distintas concentraciones de modificador de

impacto para seleccionar la que mejora la propiedad de tenacidad de fractura, como se muestra a continuación.

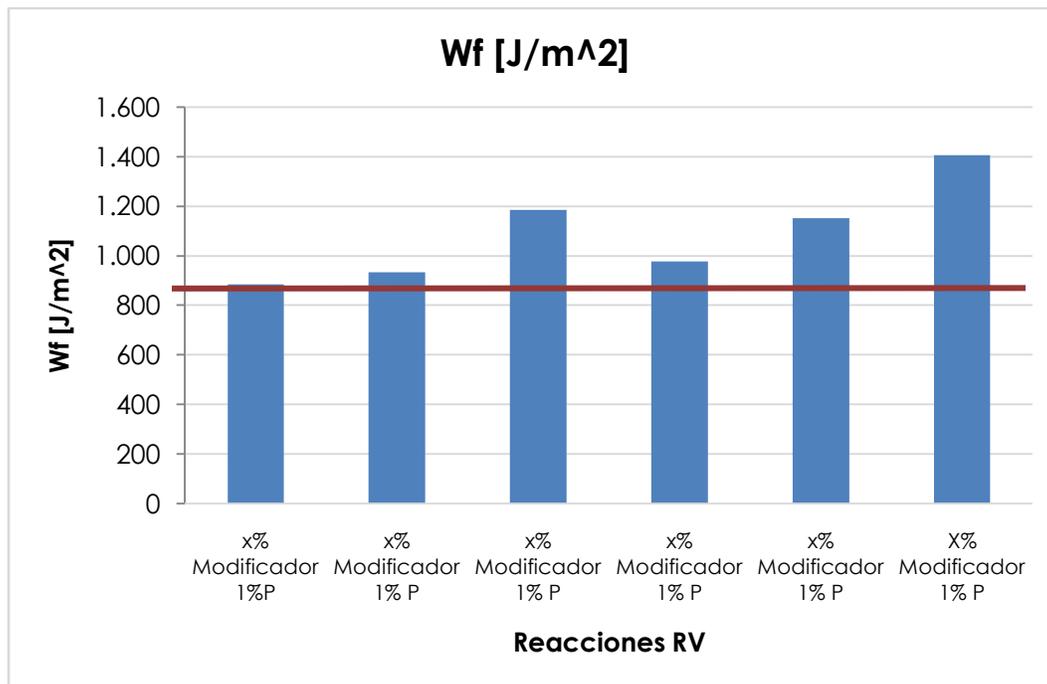


Figura 15. Reacciones para evaluar la concentración adecuada del modificador de impacto.

A partir de los resultados anteriores, se siguieron realizando las reacciones estableciendo una concentración de modificador de impacto del X% y variando otros parámetros como las condiciones de la reacción, sin embargo al realizar las siguientes reacciones, se pudo evidenciar que ocurría lo mismo que con los lotes del reactor piloto, es decir que las probetas inicialmente daban un valor muy favorable para el proyecto, pero cuando se fallaban luego de algunos días este valor caía como se muestra a continuación.

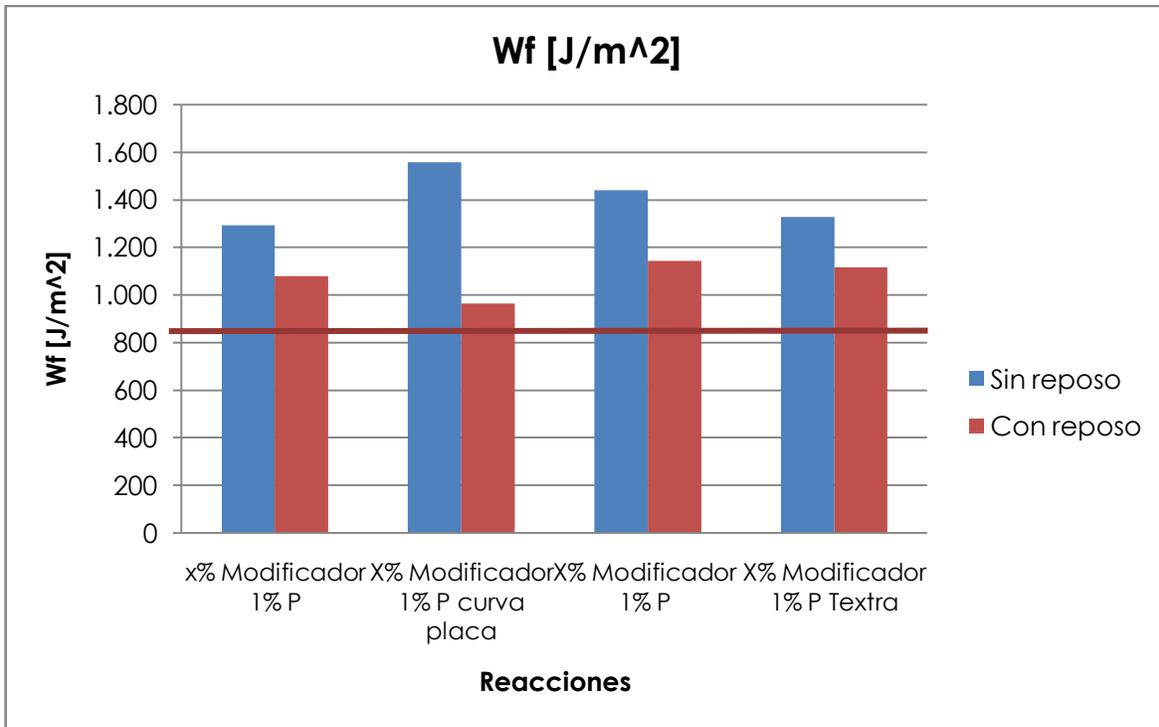


Figura 16. Reacciones en el reactor del laboratorio con una concentración de modificador del X% y variando otra serie de parámetros.

Debido a estos resultados, se decidió volver a fallar las probetas de las placas que habían dado mejores resultados para analizar si a las placas también les ocurría que no fueran estables en el tiempo. Los resultados se encuentran a continuación.

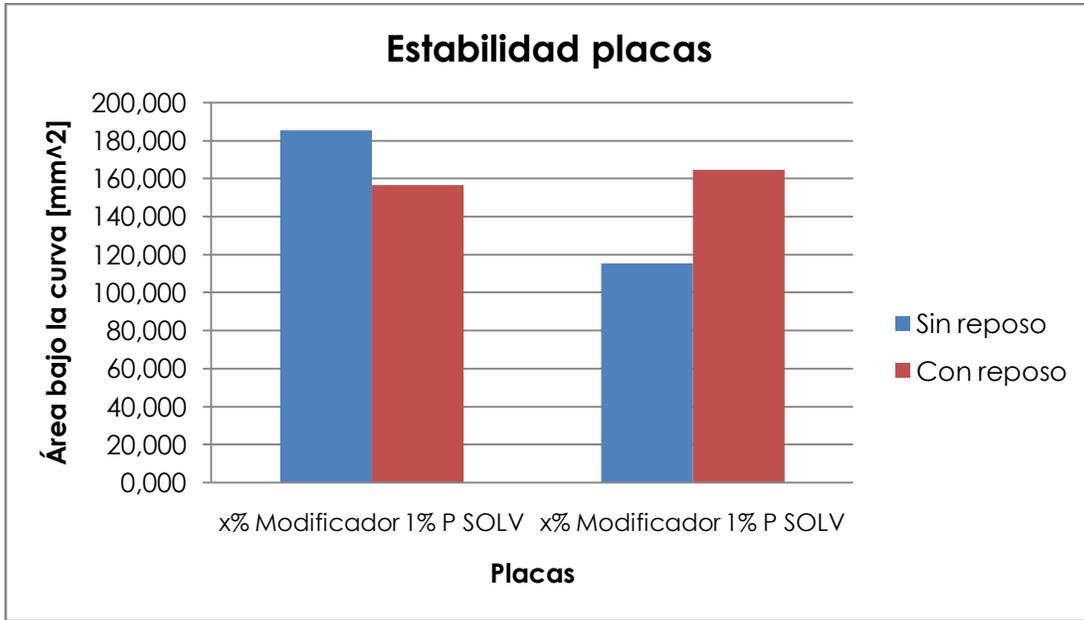


Figura 17. Área bajo la curva para probetas de placas falladas después de 1 mes.

De dichos resultados, se pudo concluir que la estabilidad de las probetas de las placas presentaba mejores resultados respecto a las de las reacciones, y por tanto, dado que en las placas se usaban tres iniciadores como se mencionó anteriormente, a diferencia de la reacción, se realizaron las últimas cuatro reacciones utilizando estos iniciadores, y modificando algunos tiempos en la curva de reacción, puesto que la curva usada tradicionalmente tardaba aproximadamente 3 horas, mientras que la de la placa era de 8 horas y media. Al usar estos modificadores, y modificar la curva de reacción se logró obtener los siguientes resultados ilustrados en la figura.

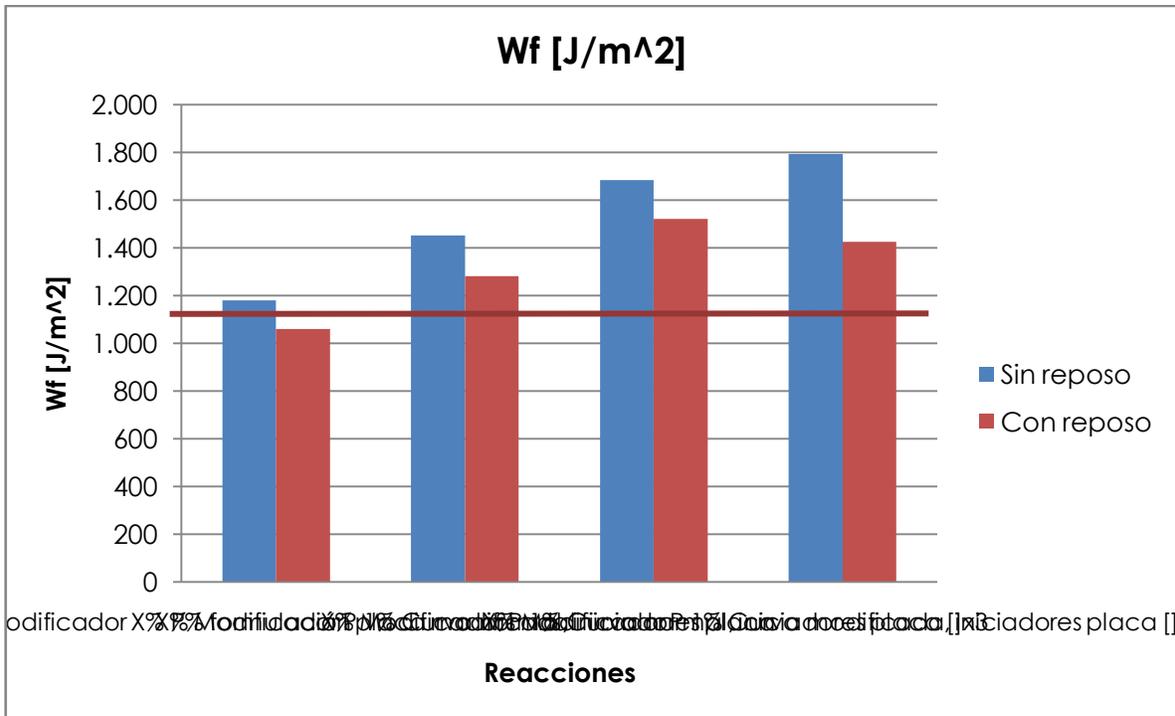


Figura 18. Reacciones en el reactor del laboratorio con una concentración de modificador del 10% e iniciadores placa

Realizando un análisis de la figura anterior, es posible observar que en este caso el valor del trabajo de total de fractura también disminuye con el tiempo, sin embargo en menor medida respecto a las reacciones en las que se utilizaba un único iniciador, distinto a los últimos tres.

En la tabla a continuación se muestra en qué porcentaje cambian dichos valores respecto al valor inicial, para cada uno de los iniciadores.

Tabla 4. Comparación del cambio del valor del trabajo total de fractura de acuerdo a los iniciadores.

Iniciadores	Promedio del cambio	Cambio porcentual
	Wf [J/m ²]	(%)
INICIAL O CONVENCIONAL	329.25	23%
INICIADORES PLACA (3)	151	13%

Finalmente, se tomaron las tres mejores formulaciones del reactor de laboratorio y se intentó replicar en el piloto. Inicialmente, se buscó realizar la reacción sin esperar el condensado, dado que en el reactor de vidrio no se contaba con esta etapa durante la reacción, y se requería intentar replicar la misma curva, sin embargo los resultados no fueron buenos. Posteriormente se realizó la reacción P18 la cual se realizó con la concentración establecida para el modificador y el iniciador que normalmente se usaba; de esta se observó la misma inestabilidad para el producto, por lo que se realizó una última reacción con X% de modificador pero con los tres iniciadores de la placa como se había probado previamente en el reactor del laboratorio, y esta vez no ocurrió la reacción en el piloto, por lo que en la figura a continuación no se encuentran los resultados para la reacción P19. Esto pudo haber ocurrido por la baja concentración de los iniciadores de la placa, puesto que para un lote del mismo tamaño, se suele adicionar mucha mayor cantidad de iniciador respecto a esta, pero se adicionó en esta cantidad con el fin de seguir la formulación de la reacción que se había realizado a escala laboratorio y había dado resultados favorables.

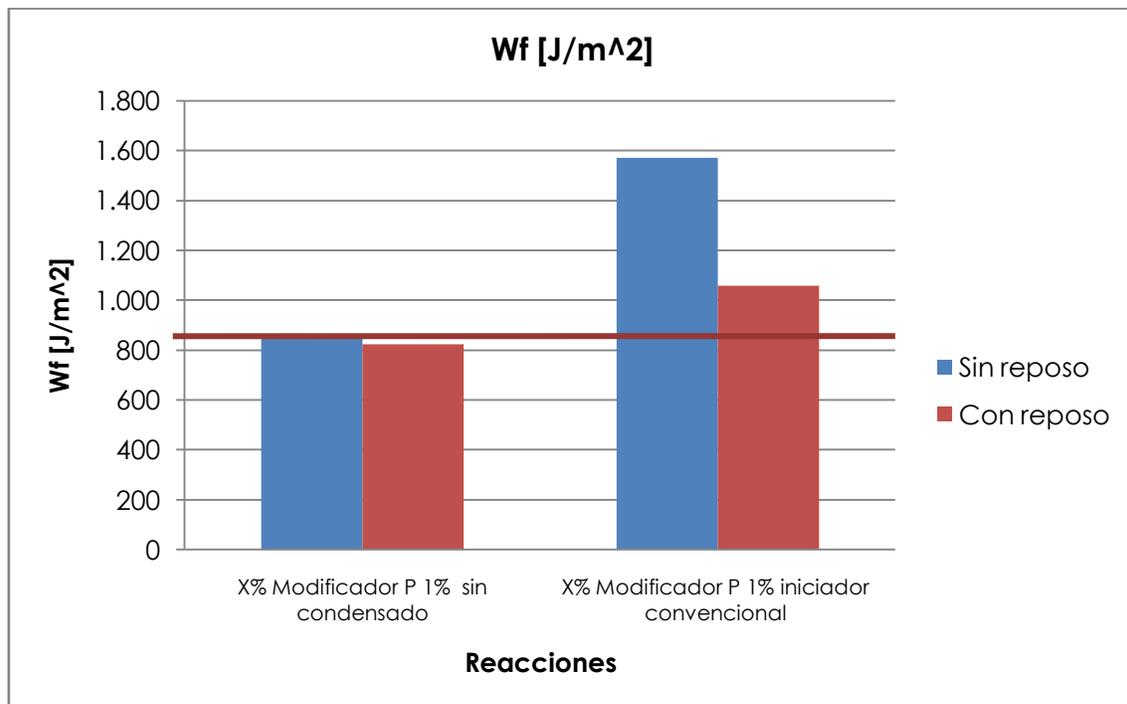


Figura 19. Reacciones realizadas en el reactor piloto.

7.2. Análisis de viabilidad económica

Una de las etapas más importantes de un proyecto es la realización del análisis de viabilidad económica, pues es este uno de los factores que influyen en el momento de decidir si es posible llevar el producto a una etapa industrial y posterior comercialización.

Inicialmente, se realizó una comparación del costo del copolímero y modificador de impacto usado actualmente, respecto al costo del nuevo modificador por kilogramo. De estos valores es posible analizar que dado que el costo del nuevo modificador está tan por debajo de los otros, la formulación puede ser flexible respecto a la concentración de este último.

Tabla 5. Comparación del costo de las materias primas.

Acrílico alto impacto	
Materia prima	Costo(\$COP/kg)
Copolímero	>90.000 (20%)
Modificador de impacto actual	>70.000 (2%)
Nuevo modificador de impacto	<11.000

Finalmente, se realizó un análisis económico como se muestra a continuación, con la formulación de la última reacción en el reactor piloto (P18) y se comparó con el precio del producto fabricado hoy en día en la empresa.

Tabla 6. Comparación de costo del producto.

Tipo de polímero	Costo (\$COP/kg)
Producido actualmente	38.563
Nueva formulación	14.031

Análogamente se analiza que la formulación puede ser flexible puesto que el costo final es mucho menor que lo que cuesta producir un kilogramo de acrílico alto impacto actualmente.

8. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados de las reacciones tanto del reactor de laboratorio como del piloto, se logra concluir que la formulación actual no asegura que el producto sea estable, en cuanto a la propiedad de tenacidad de fractura.
- La solvatación juega un papel importante para el proceso de producción, y la adición del polímero sintético, mejora notablemente la afinidad entre el modificador de impacto y el monómero, por lo que estabilizaba la solvatación.
- Conforme a las reacciones y placas realizadas, se encontró que la concentración de modificador de impacto que mejora la propiedad de tenacidad de fractura es del X%.
- En caso de estabilizar la formulación para el acrílico alto impacto, el costo por kilogramo producido sería mucho menor que el producido actualmente.
- Es válido realizar nuevamente la reacción en el reactor piloto con los iniciadores de la placa, pero aumentando la concentración de estos de tal manera que se acerque a la cantidad usada del iniciador convencional.

9. REFERENCIAS

- Alisson. (2013). Estomatología Especializada: RESINAS ACRÍLICAS. Recuperado el 6 de agosto de 2018, a partir de <http://estomatologiaespecializada.blogspot.com/2013/05/resinas-acrilicas.html>
- Liera, F. J. (2017). Reacciones de Polimerización por Adición – Seminario de Actualización Profesional en Ciencia y Tecnología para la Industria de los Polímeros. Recuperado el 7 de agosto de 2018, a partir de <https://tecnologiadelospolimeros.wordpress.com/2017/06/21/reacciones-de-polimerizacion-por-adicion-radicalar/>
- New Stetic. (s/f). Recuperado el 16 de enero de 2019, a partir de <http://www.newstetic.com/>
- Ohtani, H., Takeuchi, K., Iiguni, Y., Kaneko, A., Kiura, M., & Momose, H. (2017). End group analysis of styrene-butyl acrylate copolymers initiated with benzoyl peroxide by stepwise chemolysis-pyrolysis gas chromatography. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 124, 677–681. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2016.12.004>
- Plastics, A. and C. (2004). Impact modifiers: how to make your compound tougher. *Plastics, Additives and Compounding*, 6(3), 46–49. [https://doi.org/10.1016/S1464-391X\(04\)00203-X](https://doi.org/10.1016/S1464-391X(04)00203-X)
- Polimerización | Tecnología de los Plásticos. (2013). Recuperado el 16 de enero de 2019, a partir de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2013/07/polimerizacion.html>
- Resinas acrílicas termopolimerizables de alto impacto veracril/opticryl*. (2010). Recuperado a partir de http://newstetic.s3-us-west-2.amazonaws.com/newstetic/document_products/pdfs/135/ft_acrilico_alto_impacto.pdf?1527613479
- SISTEMAS Y TÉCNICAS DE POLIMERIZACIÓN. (2017). Recuperado a partir de <http://www.fcn.unp.edu.ar/sitio/fisicoquimica/wp-content/uploads/2017/07/sistemas-de-polimerización-1.pdf>
- Universidad Central de Venezuela. Facultad de Odontología., D. R., & PEREIRA S, N. A. (2008). *Acta odontológica venezolana. Acta Odontológica Venezolana* (Vol. 46). Facultad de Odontología de la Universidad Central de Venezuela. Recuperado a partir de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-63652008000300026

Vinny R. Sastri. (2010). acrylic resin - an overview | ScienceDirect Topics.
Recuperado el 6 de agosto de 2018, a partir de
<https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/acrylic-resin>