

**INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA Y LA HUMEDAD EN EL PROCESO DE
PRODUCCIÓN DE LAMINADOS PLÁSTICOS TERMOESTABLES
FABRICADOS POR IMSAGUAS LTDA**

KEVIN ENRIQUE GUIHUR RAMIREZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2019

**INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA Y LA HUMEDAD EN EL PROCESO DE
PRODUCCIÓN DE LAMINADOS PLÁSTICOS TERMOESTABLES
FABRICADOS POR IMSAGUAS LTDA**

KEVIN ENRIQUE GUIHUR RAMIREZ

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico

DIRECTOR:

HERNANDO GUERRERO AMAYA
Postdoctor en Ingeniería Química

CODIRECTOR

LUZ MARINA BALLESTEROS RUEDA
PhD. en Ingeniería Química

CODIRECTOR IMSAGUAS LTDA

ALEXANDER DIAZ GOMEZ
Ingeniero Mecánico.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA

2019

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios y a la Iglesia Apostólica de Jesucristo por mostrarme que su ayuda es infinita. A mi madre Alba por ser una mujer especial y enseñarme su amor cada día, a mi padre Cesar por enseñarme que puedo lograr todas las metas que me proponga. A mis hermanos Julián y Alba por su apoyo incondicional. A Karen, Dayana y todos mis compañeros por ser un apoyo incondicional, por compartir conmigo todos estos momentos. A Alexander, Edgar y Carlos Díaz por brindarme la oportunidad de realizar el proyecto y continuar en Imsaguas Ltda. así como a Carlos Barajas por brindarme su ayuda y apoyo. A mis directores de proyecto Hernando Guerrero y Luz marina Ballesteros por su enorme apoyo y por todo lo que pude aprender al lado de ellos.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	12
1. OBJETIVOS.....	23
1.1 OBJETIVO GENERAL	23
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
2. METODOLOGIA	24
2.1 CURVAS DE REACTIVIDAD.....	25
3. ANÁLISIS Y RESULTADOS	27
3.1 TIEMPOS DE GEL.....	29
3.2 CURVAS DE REACTIVIDAD	32
4. CONCLUSIONES	37
5. RECOMENDACIONES	38
BIBLIOGRAFÍA.....	39
ANEXOS.....	41

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Representación esquemática de los trabajos realizados por Carothers(a), Schlack(b), y Whinfield y Dickson(c)	15
Figura 2. Estructura química de Ácidos insaturados usados en la industria	16
Figura 3. Ácidos saturados	17
Figura 4. Estructura química de glicoles usados en la industria	18
Figura 5. Estructura química de los Monómeros vinílicos usados en la industria ..	18
Figura 6.láminas 15x10 cm de Matt 450 gr/m ² usadas en la práctica empresarial	26
Figura 7. Preparación de Resina Poliéster Critalan 856 necesaria para el formado de los PRFV	26
Figura 8.Resumen de datos obtenidos Para Tiempo de gel.	31
Figura 9.Resumen de valores estadísticos para tiempo de gel.....	32
Figura 10.Resumen de datos obtenidos Para temperatura de pico exotérmico	35
Figura 11.Resumen de valores estadísticos para Temperatura de pico exotérmico	35

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Rangos elegidos para el diseño experimental de las variables de estudio	24
Tabla 2. Temperatura de pico exotérmico, Gradiente de temperatura, tiempo en alcanzar la temperatura de pico exotérmico, tiempo de gel y tiempo total registrados durante el proceso de PRFV realizado en el rango de temperaturas de 30-35°C variando la humedad relativa y la cantidad de MEKP	27
Tabla 3. Temperatura de pico exotérmico, Gradiente de temperatura, tiempo en alcanzar la temperatura de pico exotérmico, tiempo de gel y tiempo total registrados durante el proceso de PRFV realizado en el rango de temperaturas de 25-30°C variando la humedad relativa y la cantidad de MEKP	28
Tabla 4. Temperatura de pico exotérmico, Gradiente de temperatura, tiempo en alcanzar la temperatura de pico exotérmico, tiempo de gel y tiempo total registrados durante el proceso de PRFV realizado en el rango de temperaturas de 20-25°C variando la humedad relativa y la cantidad de MEKP	28
Tabla 5 Datos de rectas para las variables reducidas	30

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Curvas de Exotermia	41
Anexo B. Tiempos de Gel	43
Anexo C. Tabla de Datos	45

RESUMEN

TITULO: INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA Y LA HUMEDAD EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LAMINADOS PLÁSTICOS TERMOESTABLES FABRICADOS POR IMSAGUAS LTDA*

AUTOR: KEVIN ENRIQUE GUIHUR RAMIREZ**

PALABRAS CLAVE: Resina, Poliéster Insaturado, Metil etil peróxido (MEKP), tiempo de gel, Curva de exotermia, Pico exotérmico.

DESCRIPCION:

En el presente trabajo en modalidad práctica empresarial se analizan e interpretan los resultados obtenidos referentes a la incidencia en el proceso de curado de las cantidades de iniciador o catalizador, humedad relativa y temperatura en el ambiente durante proceso de laminados plásticos reforzados con fibra de vidrio (PRFV) fabricados en Imsaguas Ltda. Las pruebas realizadas sobre la resina fueron: tiempos de gel y curva de exotermia.

Las variables para estudiar se separaron en rangos de acuerdo con las condiciones ambientales en los sitios del país en donde Imsaguas Ltda produce sus PRFV y las cantidades de catalizador se definieron de acuerdo con el rango recomendado por Andercol¹ Ltda. Los rangos de temperatura se establecieron en 20-25°C, 25-30°C, 30-35°C; la humedad en 55-70%; 70-85%; 85-100%; cantidades de catalizador en 0,5%; 1%, 2,5% y 3% (ml MEKP/gr Resina). En cada uno de los sistemas catalíticos posibles, de acuerdo con las variables estudiadas, se evaluó el tiempo de gel, el cual es el tiempo necesario para que la resina gele (vida útil) y la curva de exotermia en la cual se requirió del tiempo y temperatura de exotermia, así como el tiempo de estabilización.

En los resultados se observó que las variables temperatura y cantidad de catalizador causan un efecto de manera directa en la temperatura de exotermia, Sin embargo, se puede establecer un valor único de cantidad de catalizador para ser usado en el rango de temperaturas de trabajo.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Hernando Guerrero Amaya. Ingeniero Químico, PhD.

¹ Empresa multinacional líder en innovación, tecnología y soluciones químicas. Una de sus ramas de producción se enfoca en la producción de resinas poliéster como la Cristalan 856 usada por Imsaguas Ltda.

Tomado de: <http://www.andercol.com.co/quienes-somos>

ABSTRACT

TITLE: INFLUENCE OF TEMPERATURE AND HUMIDITY IN THE PROCESS OF PRODUCTION OF THERMOSTABLE PLASTIC LAMINATES MANUFACTURED BY IMSAGUAS LTDA*

AUTHOR: KEVIN ENRIQUE GUIHUR RAMIREZ**

KEYWORDS: Resin, Unsaturated Polyester, Methyl ethyl peroxide (MEKPP), gel time, Exothermic curve, Exothermic peak.

DESCRIPTION

In this work the obtained results are analyzed and interpreted regarding the incidence in the process of curing of the amounts of initiator or catalyst, relative humidity and temperature in the environment in the process of plastic laminates reinforced with fiberglass manufactured in Imsaguas Ltda The tests carried out on the resin were: gel times and exothermic curve.

The variables to be studied were separated into ranges according to the environmental conditions in the country where Imsaguas Ltda produces its PRFV and quantities of catalyst were defined according to the range recommended by Andercol Ltda. The temperature ranges were set at 20 -25 ° C; 25-30 ° C and 30-35 ° C humidity in 55-70%; 70-85%; 85-100%; quantities of catalyst in 0,5%; 1%; 2,5% and 3% (ml MEKPP / gr Resin). In each of the possible catalytic systems according to the variables studied, gel time was evaluated, which is the time necessary for the resin gele (useful life) and exothermic curve in which the time and temperature data were required of exotherm as well as the stabilization time.

In the results it was observed that the variables of Temperature and amount of catalyst cause an effect of direct way in the exothermic temperature however a single value of amount of catalyst can be established to be used in the range of temperatures worked.

* Degree Work

** Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Hernando Guerrero Amaya. Ingeniero Químico, PhD.

INTRODUCCIÓN

Imsaguas Ltda. es una mediana empresa Santandereana ubicada en Ruitoque alto (Santander), en la vereda la esperanza a 900 metros de tres esquinas en la casa de campo El Lucero creada en el año 2001 como una firma familiar que ofrecía soluciones residenciales a los problemas de potabilización de agua, y que con el paso del tiempo se fue fortaleciendo técnica, estructural, y económicamente, para ser hoy una experimentada empresa dedicada al diseño, montaje, construcción, puesta en marcha y mantenimiento de los sistemas hidráulicos para el tratamiento de agua residual, potable y de recreación.

Basados en el conocimiento técnico, la capacitación permanente del personal y en la experiencia obtenida a lo largo de los años, la empresa ha desarrollado técnicas propias de tratamiento, y diseños exclusivos ajustados a las necesidades y requerimientos de cada cliente.

Su talento humano incluye ingenieros en las disciplinas sanitaria, ambiental, hidráulica, mecánica, industrial, química, civil, agropecuaria, arquitectura y personal técnico capacitado para la atención de las visitas técnicas de recopilación y su posterior evaluación y presentación de la propuesta técnico-económica.

Dentro de las líneas de servicios ofrecidos por Imsaguas Ltda. se encuentran:

- ✓ Diseño, montaje, mantenimiento y construcción de plantas de tratamiento de agua potable, residual y entretenimiento acuático
- ✓ Diseño, montaje, mantenimiento y construcción de sistemas de filtración y microfiltración.
- ✓ Diseño, montaje y construcción de redes de alcantarillado.

- ✓ Suministro, instalación y puesta en funcionamiento de redes de presión de agua potable y red contraincendios.
- ✓ Suministro e instalación de equipos especializados para piscina (Distribuidor autorizado e instalador PENTAIR), equipos y elementos para plantas de tratamiento de agua y sistemas de micro- filtración.
- ✓ Construcción de obras civiles, metalmecánicas, PRFV, hidráulica y sanitaria.
- ✓ Mantenimientos industriales de maquinaria
- ✓ Trámites ante la autoridad ambiental competente, Estudios de caracterización ambiental, Gestión ambiental de proyectos y trámite de permisos de vertimiento.
- ✓ Análisis fisicoquímico y microbiológico de agua residual y potable.
- ✓ Suministro de químicos, maquinaria, equipos de laboratorio y accesorios para piscina y plantas de agua potable, residual e industrial.
- ✓ Capacitaciones, levantamientos topográficos, diseños en 3D.
- ✓ Gestión integral de residuos sólidos ordinarios, industriales y peligrosos.
- ✓ Adecuación e instalaciones, estructuras metálicas, obras civiles y poda de árboles.

Dentro de su trayectoria se destaca la construcción de más de 20 plantas de tratamiento de agua potable donde se resaltan las plantas de la Mesa de los Santos, Petrocasinos de Chocontá, La Vallenata en San Alberto Cesar, Granjas de Mc Pollo, Aeropuertos de Valledupar y Riohacha y Ruitoque Country Club. En su portafolio de tratamiento de aguas residuales cuenta con más de 14 plantas instaladas y 10 de aguas industriales donde se destaca la creación de un proceso único en Colombia para el tratamiento de aguas de tanatopraxia.

Los Laminados Plásticos Termoestables Reforzados con Fibra de Vidrio (PRFV) son materiales conformados por resinas poliméricas, fibra de vidrio y compuestos que permiten la polimerización de la resina como Peróxido de Metil Etil Cetona (MEKP), Octoato de Cobalto y estireno. La fibra de vidrio es un material construido mediante numerosos filamentos poliméricos basados en dióxido de silicio (SiO₂).

Imsaguas Ltda desarrolla su proceso con fibra de vidrio tipo E compuesta de sílice 54%, aluminio 15%, calcio 16%, oxido de boro 9,5%, magnesio 5% y óxido de sodio 0,5% (todos porcentajes en peso)². La fibra de vidrio es un refuerzo común por su relación calidad/precio ya que esta muestra propiedades mecánicas (como la tracción y flexibilidad) realmente útiles para la industria y para trabajar como un refuerzo para la resina poliéster insaturada³.

Esta misma es usada en las siguientes presentaciones⁴

- **Mantas de fibra de vidrio MAT:** es el material más usual para laminados de PRFV por ser fácil de moldear, de menor costo, siendo los actuales ligantes fácilmente solubles en estireno.
- **Tejidos de fibra de vidrio WOVEN ROVING:** produce laminados más resistentes por la mayor resistencia en cuanto a la tracción. Ello se obtiene utilizando tejidos más finos con dibujo tupido. El problema que a veces se presenta es la adherencia interlaminar que puede ser localmente débil por problemas de escurrimiento. Se puede mejorar intercalando MAT entre los tejidos o usando tejidos más gruesos.
- **Filamentos de fibra de vidrio ROVING:** se usan para reforzar las capas de tejido de vidrio y también para conferir resistencia y dureza.
- **Velos:** se puede usar de amortiguamiento entre la capa de gel-coat^{*5} y las principales de refuerzo. También se usan como capa de refuerzo del propio gel-coat, dando así algo de consistencia a esta capa.

Para entender los procesos PRFV es necesario tener en cuenta los siguientes conceptos:

² BENSON, A. K. Fiberglass. En Salem Press Encyclopedia of Science. United Kingdom: Salem ediciones, 2013.

³ SHACKELFORD, James. Ciencia de materiales para ingenieros. Santa fe de Bogotá: editorial Prentice Hall Hispanoamericana, 2010. ISBN 9788483226599

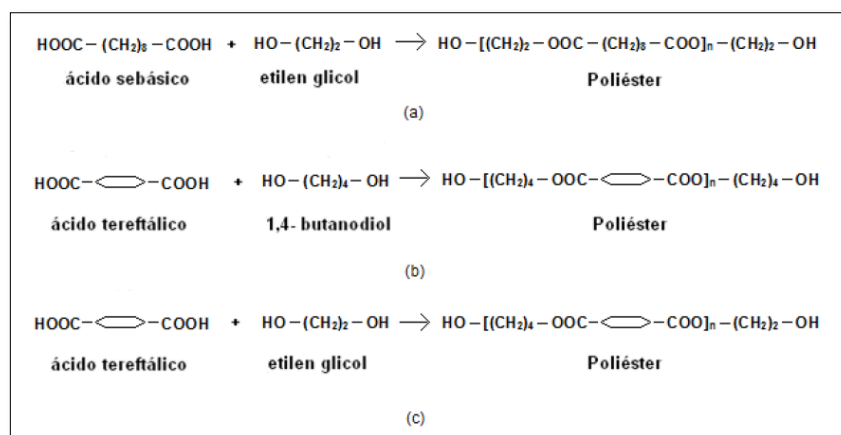
⁴ BENDEZÚ, J. Los plásticos reforzados en fibra de vidrio (PRFV), sus aplicaciones y desarrollo en la industria nacional. Tesis de pregrado Lima D.C.: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2002

* El gel-coat es una capa exterior o interior que se aplica a los PRFV para evitar terminados rústicos. Se podría asimilar como un tipo de pintura epóxica.

Resinas poliméricas

En el año 1847, Berzelius estudió la reacción entre el ácido tartárico y la glicerina, obteniendo de esta manera el que probablemente fue el primer poliéster de la historia. Wallace H. Carothers, Jhon Whinfield y James T. Dickson se pueden considerar como los padres de las resinas poliméricas creando combinaciones de varios compuestos como ácidos dibásicos y glicoles generando diferentes tipos de resinas y cada una de ellas con distintas características⁶ En la Figura 1 se puede observar los distintos esquemas de las reacciones trabajadas por ellos.

Figura 1. Representación esquemática de los trabajos realizados por Carothers(a), Schlack(b), y Whinfield y Dickson(c)



A finales de los años 30, otros investigadores concluyeron que los poliésteres insaturados se volvían insolubles e infusibles al secar, debido a la presencia de los dobles enlaces, casi al mismo tiempo se descubrió que si estos poliésteres se combinan con monómeros insaturados, la tasa de curado aumentaba más de 30 veces⁷.

⁶SEMINARIO SOBRE EL POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO Y NO REFORZADO. (1 MAYO,1987:Medellín,Colombia).Memorias por Nicolas Orrego, Rafael Vélez,1987.173p

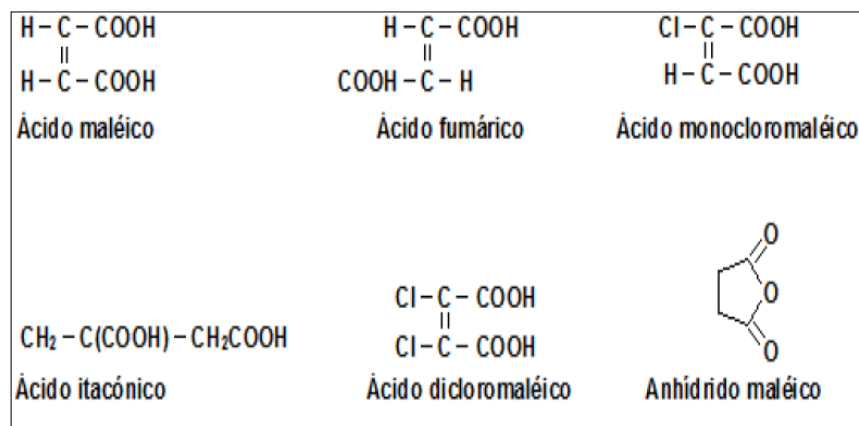
⁷ PRETELT, Jerly. Análisis del sistema catalítico de la resina de poliéster insaturado para laminación. Tesis de Pregrado Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana,2014

Según Parrilla⁸ y Orrego⁹ los poliésteres insaturados son compuestos con parte alifática y aromática, y se caracterizan por poseer dobles enlaces en su estructura. Estas resinas de poliéster se obtienen al reaccionar ácidos dibásicos y alcoholes polivalentes, que son capaces de polimerizar en forma reticulada (crosslinking) con monómeros insaturados, normalmente monómeros de vinilo para formar un plástico rígido termoestable. Sin embargo, en ocasiones, se utiliza como componente monómero el α -metil estireno, los esteres del ácido acrílico o metacrilato, el ftalato de dialilo, entre otros¹⁰ Se podría describir una resina poliéster insaturada como la unión de tres unidades básicas:

Ácidos Insaturados

Los Ácidos Policarboxílicos insaturados presentes en la resina son los que contienen los dobles enlaces en la cadena molecular de poliéster. Los más usados en la industria son el Anhídrido Maléico y el ácido fumárico en los cuales se puede ver su estructura en la Figura 2.

Figura 2. Estructura química de Ácidos insaturados usados en la industria



Fuente: AGRAWAL & KULKARNI, 1985

⁸ PARRILLA, Fernando. Resinas de poliéster, plásticos reforzados. México: F. Parrilla Ediciones, 1993. p.12 (Introducción). ISBN 987-14-4745-1

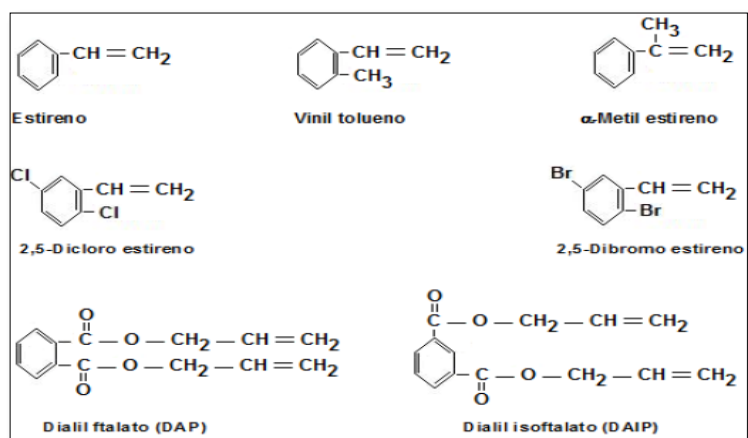
⁹ SEMINARIO SOBRE EL POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO Y NO REFORZADO. (1 MAYO, 1987: Medellín, Colombia). Memorias por Nicolas Orrego, Rafael Vélez, 1987. 173p

¹⁰ PRETEL, E. J. (2014). ANÁLISIS DEL SISTEMA CATALÍTICO DE LA RESINA DE POLIÉSTER INSATURADO PARA LAMINACIÓN. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana.

Ácidos Saturados

El ácido ftálico y el anhídrido ftálico son los más comunes en la industria ya que brindan condiciones de flexibilidad óptimas y menor reactividad. En la Figura 3 se observan los ácidos saturados comúnmente usados.

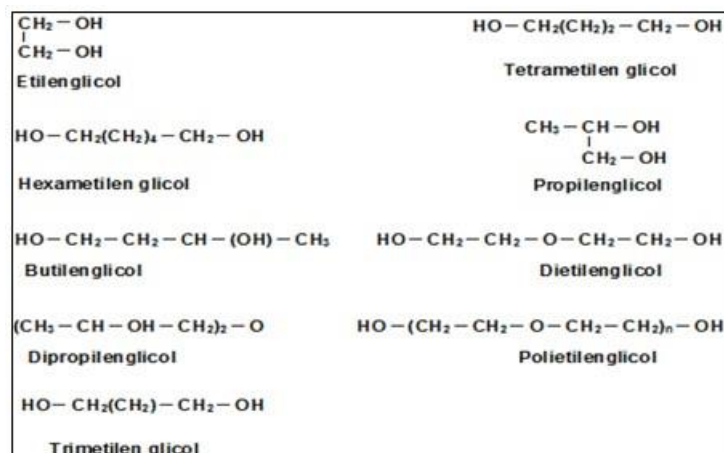
Figura 3. Ácidos saturados



Glicoles

Estos actúan como espaciadores tanto de los grupos ésteres como de los dobles enlaces. Sus principales propiedades que se ven afectadas por la elección del glicol son la flexibilidad, cristalinidad, sensibilidad al agua y sensibilidad al calor. Industrialmente los más empleados se observan en la Figura 4.

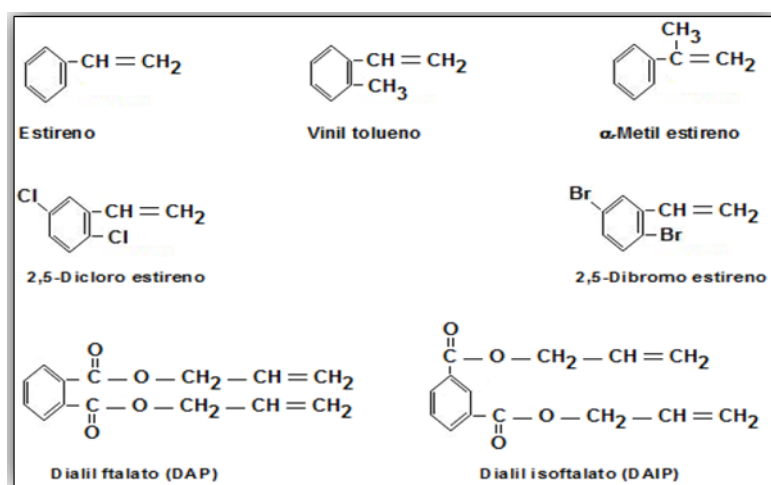
Figura 4. Estructura química de glicoles usados en la industria



Fuente: AGRAWAL & KULKARNI, 1985

Monómero Reticulante Este monómero adquiere una gran importancia dado que permite la manipulación de la resina. Estos deben tener características como baja tensión de vapor, gran poder disolvente del poliéster dentro de un amplio intervalo de temperaturas, rápida velocidad de copolimerización (sin que exista una marcada tendencia a la homopolimerización) y alta temperatura de ignición. En la Figura 5 se exponen los monómeros vinílicos usados comúnmente en las resinas poliméricas.

Figura 5. Estructura química de los Monómeros vinílicos usados en la industria



Fuente: (AGRAWAL & KULKARNI, 1985)

Promotor e Iniciador

Para formar los PRFV de forma química es necesario llevar a cabo una reacción exotérmica que permita la polimerización de la resina. Para ello es necesario el uso de un iniciador, conocido como catalizador en la industria, el cual se activa en presencia de un acelerador o promotor que funciona como fuente de energía.

El mecanismo de iniciación de este tipo de polimerización se ha estudiado ampliamente, y en su trabajo Dean, Weber y Crenshaw¹¹ concluyen que el proceso de polimerización es el resultado del mecanismo por radicales libres, es decir, el acelerador/promotor causa que el catalizador/iniciador se descomponga o se disocie en radicales libres, los cuales activan los dobles enlaces de las moléculas del poliéster y del monómero para que se lleve a cabo el entrecruzamiento y la polimerización.

Los compuestos más usuales como promotor e iniciador son MEKP peróxido el cual es una solución de Metil Etil Cetona peróxido el cual contiene peróxido de hidrógeno, monómero y dímero en forma de MEKPP como ingredientes activos, diluyente, solvente de seguridad y misceláneo como agua, MEKP, glicol entre otros.

El iniciador MEKPP puede ser fabricado en distintas concentraciones lo que conlleva a tener distintas características. Según Pretelt¹², de acuerdo con las concentraciones de los componentes activos pueden tener los siguientes efectos:

- a. **Peróxido de hidrogeno.** afecta el tiempo de gel
- b. **Monómero en forma de MEKPP.** Afecta el tiempo de gel en menor grado y tiempo de curado en mayor grado.
- c. **Dímero en forma de MEKPP.** Tiene poco efecto sobre el tiempo de gel, pero tiene un gran efecto sobre el tiempo de curado.

¹¹WEBER, Dean. REINFORCED PLASTICS CONFERENCE. (3-5 OCTUBRE,1956: Atlantic City,USA).Memorias.Atlantic City:11st SPI Conference,1956, p. 530.

¹² PRETEL, E. J. (2014). ANÁLISIS DEL SISTEMA CATALÍTICO DE LA RESINA DE POLIÉSTER INSATURADO PARA LAMINACIÓN. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana.

Como promotor más usual en la industria se utiliza el Octoato de Cobalto el cual se recomienda usar en los rangos de 0,2%-0,6%. La cantidad de promotor o acelerador presente en la resina definirá la velocidad con la que inicia la reacción y por tanto con los tiempos de gel¹³.

Mecanismo de reacción por radicales libres

Son varios los pasos que describen un sistema de polimerización catalizado por radicales libres:

Iniciación o generación de radicales libres

Es la parte inicial donde se producen los radicales libres necesarios. La tasa de producción de estos radicales libres determina la tasa del proceso de polimerización. El precursor descrito anteriormente permite la activación del iniciador o catalizador el cual permite la apertura de los enlaces dobles en la resina y así generar radicales libres.

Iniciación de cadenas de polímero

Los radicales libres presentes en los monómeros o en la cadena principal del polímero insaturado son atacados y se inicia el proceso de polimerización.

Copolimerización y entrecruzamiento

En este momento ocurre la copolimerización y el entrecruzamiento de las cadenas de polímero con la cadena principal del polímero insaturado y el monómero copolimerizable. Durante la reacción se pueden observar 3 momentos característicos.

¹³ MIRAVETE, Antonio. Materiales compuestos. Barcelona: Reveté ediciones, 2007. p.40 (Matrices poliméricas). ISBN 84-921349-7-7

Gelado

El momento de gelado o de gel ocurre en la parte inicial de la reacción. La resina adquiere un carácter viscoso semejante a una gel o gelatina.

Exotermia

Es el momento en el cual ocurre la reacción de polimerización. En este momento la resina comienza un gradiente positivo de temperatura llegando a un pico máximo en el cual al alcanzarlo se dice que el proceso de reacción ha culminado. El punto en el cual alcanza la máxima temperatura recibe el nombre de pico exotérmico.

Regulación

La placa ya formada pierde la temperatura hasta igualar a la del medio ambiente. Esta reacción es de carácter exotérmico por ello es común el uso de DSC (Calorimetría de barrido diferencial) para conocer el calor de reacción y por tanto los grados de polimerización. Sin embargo, se presenta una dificultad para controlar la humedad relativa presente en el equipo DSC. Otro mecanismo de medición usado es realizar curvas de reactividad en la cual se mide el aumento de las temperaturas sobre las placas mientras ocurre la reacción para obtener gradientes de temperatura y tiempos de reacción.

Actualmente Imsaguas Ltda. cuenta con un proceso de producción de laminados plásticos termoestables reforzados con fibra de vidrio (PRFV) los cuales son usados como unidades en sus procesos debido a que cuenta con las características físicas y químicas ideales además de contar con maleabilidad, facilidad para trabajar, bajo costo y permite ser trabajado directamente en el sitio donde será instalado. Sin embargo, este proceso se desarrolla de una manera artesanal enriquecido con la experiencia de la persona encargada (fibrero) y capacitaciones generales ocasionales sin tener en cuenta aspectos técnicos.

Uno de los problemas que ha presentado su línea de producción es la fluctuación de la cantidad de materia prima a usar y la calidad del producto la cual se presume se ve afectada por la temperatura y la humedad del sitio donde se realiza. Adicionalmente Imsaguas Ltda. busca que su proceso pueda ser certificado por Icontec cumpliendo con los estándares de calidad establecidos en las normas técnicas colombianas NTC 2888 buscando optimizar los insumos y garantizando la calidad de sus productos.

Para cumplir con estos objetivos Imsaguas Ltda requiere un trabajo de ingeniería que le permita identificar cómo las variables humedad y temperatura pueden afectar la calidad de los tanques que ellos fabrican. Al conocer su efecto se podría realizar una correlación con la cual ellos puedan definir las cantidades necesarias para la producción de los tanques cumpliendo con las normas de calidad establecidas.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Establecer una relación entre temperatura y humedad con las cantidades óptimas de MEKP peróxido para producir formados termoestables reforzados con fibra de vidrio que puedan cumplir con los requerimientos físicos y mecánicos establecidos en la NTC 2888.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar el efecto de la humedad y la temperatura durante la producción de productos PRFV en Imsaguas Ltda.
- Estudiar el efecto de la variación en la cantidad de MEKP peróxido, temperatura y humedad para producir formados termoestables reforzados con fibra de vidrio que puedan cumplir con los requerimientos físicos y mecánicos establecidos en la NTC 2888
- Determinar una correlación que permita conocer las cantidades óptimas de MEKP peróxido a usar de acuerdo con el ambiente en el cual se vaya a llevar a cabo la producción de PRFV por Imsaguas Ltda.

2. METODOLOGIA

Tiempo de gel

Los Tiempos de gel fueron medidos teniendo en cuenta la norma internacional ASRM D 247-94" Standard Test Method For Gel Time And Peak Exothermic Temperature Of Reaching Thermosetting Resins" con 100 gr de resina poliester Cristalán 856.

Para el desarrollo de este proyecto se diseñó una metodología de combinatorias de experimento en el cual se tomaron 3 rangos de temperaturas distintas, 3 de humedad relativa y 4 de distintos porcentajes de iniciador/catalizador.

1. Los rangos de temperatura se establecieron de acuerdo con los lugares en los cuales desarrollan la actividad de producción Imsaguas Ltda. siendo: 15-20°C; 20-25°C; 25-30°C; 30-35°C.
2. Los rangos de humedades se toman teniendo en cuenta las humedades promedio que manejan los lugares en donde se ha realizado producción de PRFV por parte de Imsaguas Ltda y de los promedios en Colombia. Siendo: 55-70%; 70-85%; 85-95%.
3. Los porcentajes de MEKPP para estudiar de 0,5%;1%;2,5% y 3% en peso fueron elegidos teniendo en cuenta las recomendaciones del fabricante y la literatura

Tabla 1. Rangos elegidos para el diseño experimental de las variables de estudio

Rango de temperatura[°C]	20-25
	25-30
	30-35
Rango de Humedad Relativa [%]	55-70
	70-85
	85-100
Porcentaje de MEKP[% v/g]	0,5
	1
	2,5
	3

2.1 CURVAS DE REACTIVIDAD

Para la realización de las curvas de reactividad se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones

1. Todas las pruebas se realizarán teniendo en cuenta una construcción de PRFV de 2 capas de MAT 450 gr/m² y una de woving Roving de 800 gr/m² en forma rectangular de 15x10 cm.
2. Se aplicarán 100 gr de resina preparada para cada placa de prueba.
3. La resina poliéster insaturada utilizada por Imsaguas Ltda es Cristalan 856, una resina pre acelerada (ya contiene Octoato de Cobalto).
4. Las variables por modificar durante toda la investigación son: Temperatura, humedad del ambiente y porcentaje de Peróxido de metil etil cetona (MEKP). La cantidad de estireno es una variable que depende de la maleabilidad que se quiera tener al momento de la aplicación de la resina, por tanto, este valor no se variará y se utilizará el valor de 20% en peso establecido por Imsaguas Ltda.
5. Se establecieron las mismas condiciones de operación descritas en los numerales 1 a 3 de la metodología para los tiempos de gel.

Para obtener un área homogénea de temperatura y humedad se optó por la construcción de un área rectangular en fibra de vidrio equipada con 1 ventilador y 1 extractor para evitar perturbaciones en la temperatura del ambiente, un deshumidificador compacto peltier marca Aeshold el cual permitía mantener ambientes de baja o media humedad evitando perturbaciones meteorológicas y un sensor DTH11 junto con una placa Arduino 1 la cual permitía conocer la humedad y la temperatura en el área semi controlada. Para producir las láminas PRFV se siguió el siguiente procedimiento:

Realizar las láminas de 15x10 cm de Matt y Woving Roving las cuales serán el refuerzo en fibra de vidrio (Figura 6. láminas 15x10 cm de Matt 450 gr/m)

Figura 6. láminas 15x10 cm de Matt 450 gr/m² usadas en la práctica empresarial



1. Preparar la resina poliéster con un 20% de estireno (
2. Figura 7). Para ello se contó con 5kg de resina poliéster Cristalán 856 y 1 kg de estireno. Se identificó que las cantidades vendidas por el proveedor de Imsaguas Ltda. no eran exactas, por lo tanto, se completaron los valores en peso exactos de 5 y 1 kg respectivamente

Figura 7. Preparación de Resina Poliéster Critalan 856 necesaria para el formado de los PRFV



3. Pesar 4 recipientes con 100 gr de resina preparada y medir las cantidades de 0,5; 1; 2,5 y 3 ml de MECK peróxido.
4. Estabilizar a una temperatura y humedad la zona semi controlada.
5. Realizar el proceso de producción de las placas a diferentes cantidades de Iniciador midiendo las temperaturas cada minuto con un termómetro infrarrojo Digital industrial laser con sensibilidad de 0,1°C y exactitud de $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$.
6. Contabilizar las distintas temperaturas de las diferentes placas cada minuto hasta el momento en que la temperatura de esta se estabilice con la del ambiente.

3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

De la Tabla 2 a la 4 se resumen los datos obtenidos experimentalmente en el proceso de fabricación de los PRFV a diferentes temperaturas, humedad relativa y cantidad de iniciador/catalizador (MEKP)

Tabla 2. Temperatura de pico exotérmico, Gradiente de temperatura, tiempo en alcanzar la temperatura de pico exotérmico, tiempo de gel y tiempo total registrados durante el proceso de PRFV realizado en el rango de temperaturas de 30-35°C variando la humedad relativa y la cantidad de MEKP

0,5% MEKPP					
	T _{pex} [°C]	Gradiente [°C/Min]	Tiempo En T _{pex} [Min]	T _{gel} [Min]	Tiempo Total [Min]
Humedad Alta	39,1	0,6468	20	6	55
Humedad Media	40,1	1,0759	12	7	30
Humedad Baja	40,8	0,9371	14	6	52
1% MEKPP					
	T _{pex} [°C]	Gradiente [°C/Min]	Tiempo En T Max, [Min]	T _{gel} [Min]	Tiempo Total [Min]
Humedad Alta	44,3	1,1326	16	5	50
Humedad Media	44,6	1,4264	11	5	29
Humedad Baja	47,4	2,0933	12	5	55
2,5% MEKPP					
	T _{pex} [°C]	Gradiente [°C/Min]	Tiempo En T Max, [Min]	T _{gel} [Min]	Tiempo Total [Min]
Humedad Alta	59,4	1,8493	15	4	43
Humedad Media	56,9	2,7964	10	4	28
Humedad Baja	53,8	2,091	11	5	45
3% MEKPP					
	T _{pex} [°C]	Gradiente [°C/Min]	Tiempo En T Max, [Min]	T _{gel} [Min]	Tiempo Total[Min]
Humedad Alta	55,6	2,5564	11	4	39
Humedad Media	52,5	2,0621	13	4	27
Humedad Baja	82,2	6,6467	9	5	44

Tabla 3. Temperatura de pico exotérmico, Gradiente de temperatura, tiempo en alcanzar la temperatura de pico exotérmico, tiempo de gel y tiempo total registrados durante el proceso de PRFV realizado en el rango de temperaturas de 25-30°C variando la humedad relativa y la cantidad de MEKP

0,5% MEKPP					
	T _{pex} [°C]	Gradiente [°C/Min]	Tiempo En T Max, [Min]	T _{gel} [Min]	Tiempo Total[Min]
Humedad Alta	34,2	0,8764	10	6	61
Humedad Media	36,2	0,9745	11	6	55
Humedad Baja	31,7	0,2825	28	6	78
1% MEKPP					
	T _{pex} [°C]	Gradiente [°C/Min]	Tiempo En T Max, [Min]	T _{gel} [Min]	Tiempo Total[Min]
Humedad Alta	41,4	2,0095	8	5	71
Humedad Media	39,3	1,535	9	6	57
Humedad Baja	38,8	0,5798	25	6	76
2,5% MEKPP					
	T _{pex} [°C]	Gradiente[°C/Min]	Tiempo En T Max, [Min]	T _{gel} [Min]	Tiempo Total[Min]
Humedad Alta	51	1,8852	13	5	56
Humedad Media	43,1	2,0653	7	5	46
Humedad Baja	48,3	1,3866	17	5	71
3% Meck					
	T _{pex} [°C]	Gradiente[°C/Min]	Tiempo En T Max, [Min]	T _{gel} [Min]	Tiempo Total[Min]
Humedad Alta	45,2	1,4258	13	5	56
Humedad Media	45	1,6655	10	5	45
Humedad Baja	46,1	0,9082	22	5	67

Tabla 4. Temperatura de pico exotérmico, Gradiente de temperatura, tiempo en alcanzar la temperatura de pico exotérmico, tiempo de gel y tiempo total registrados durante el proceso de PRFV realizado en el rango de temperaturas de 20-25°C variando la humedad relativa y la cantidad de MEKP

0,5% Meck					
	T _{pex} [°C]	Gradiente [°C/Min]	Tiempo En T Max, [Min]	T _{gel} [Min]	Tiempo Total[Min]
Humedad Alta	33	0,6315	20	10	59
Humedad Media	33	0,4135	28	10	80
Humedad Baja	32,9	0,487	22	9	84
1% Meck					
	T _{pex} [°C]	Gradiente [°C/Min]	Tiempo En T Max, [Min]	T _{gel} [Min]	Tiempo Total[Min]
Humedad Alta	40,3	1,1572	17	9	56
Humedad Media	40,3	0,7148	25	9	77
Humedad Baja	39,5	0,7806	22	6	81

2,5% Meck					
	T _{pex} [°C]	Gradiente [°C/Min]	Tiempo En T Max, [Min]	T _{gel} [Min]	Tiempo Total[Min]
Humedad Alta	56,7	2,7268	14	7	53
Humedad Media	47,2	0,9592	25	6	73
Humedad Baja	44,2	0,9624	21	5	78
3% Meck					
	T _{pex} [°C]	Gradiente [°C/Min]	Tiempo En T Max, [Min]	T _{gel} [Min]	Tiempo Total[Min]
Humedad Alta	44,7	1,5025	16	7	50
Humedad Media	51,2	1,327	21	6	69
Humedad Baja	43,9	1,0391	19	5	74

3.1 TIEMPOS DE GEL.

Teniendo en cuenta los resultados de los tiempos de gel a distintas temperaturas, humedades y cantidades de catalizador proporcionadas en las

Tabla 2-4 se puede observar que existe un aumento en el tiempo de gel cuando se trabaja en condiciones por debajo de los 25°C ya que por encima de la misma este tiempo no muestra un cambio significativo. La cantidad de catalizador afecta de una manera más significativa en rango de temperatura baja de 20-25 °C.

El tiempo de gel para el rango de temperaturas entre 30-35°C se mantuvo para concentración de 0,5% de MEKP en un promedio de 6 minutos y para las demás concentraciones entre 4 y 5 minutos sin variar fuertemente con el efecto de la Humedad relativa.

Para el rango establecido de 25-30°C el efecto de la cantidad de catalizador y de la Humedad se ve aún más reducido manteniéndose el tiempo de gel en un promedio de 6 minutos. Sin embargo, para el rango de temperaturas de 20-25°C el efecto de la cantidad de catalizador se hace más prominente obteniéndose tiempos de gel de 10 y 9 minutos para las dos cantidades más bajas de catalizador y de 6 minutos para las dos más altas, e incluso, en este rango el efecto de la humedad se hace despreciable.

Para obtener mayor precisión y corroborar la estadística descriptiva se procedió a incluir los datos en el software Estadística R tomando como variable respuesta el tiempo de gel y como variables explicativas la temperatura, y humedad relativa en el ambiente, así como las cantidades de catalizador realizada en cada prueba. Debido a que por costos no se podía realizar un duplicado de pruebas se eligió este método estadístico el cual permite realizar un análisis estadístico sin replicaciones.

Las variables explicativas se acotaron en rangos de 0,1 a 1,1 siendo 0,1 el valor menor en cualquiera de los rangos (Temperatura, Humedad relativa y Cantidad de catalizador) generando valores reducidos (Tr, Hr, Cr) representados en una rectas cuyas pendientes e interceptos se describen en la Tabla 5

Tabla 5 Datos de rectas para las variables reducidas

	TEMPERATURA	HUMEDAD	CATALIZADOR
PENDIENTE	0,067	0,022	0,4
INTERCEPCIÓN	-1,233	-1,122	-0,1

Inicialmente se propuso la Ec. 1 para el tiempo de gel

$$t_{gel} = A0 + A1 * Tr + A2 * Hr + A3 * Cr + A4 * Tr^2 + A5 * Hr^2 + A6 * Cr^2 + A7 * Tr * Hr + A8 * Tr * Cr + A9 * Cr * Hr + A10 * Tr * Hr * Cr \quad \text{Ec. 1}$$

Los resultados obtenidos con esta ecuación (Figura 8) muestran que sólo las variables de Cantidad de catalizador reducida (Cr) y su término cuadrático tenían un valor de significancia (<5%) al igual que para la temperatura reducida (Tr) y su término cuadrático. Se evidenció que el término reducido de la humedad relativa ambiental (Hr) sólo mostraba un valor p menor a 5% para su término lineal. Las interacciones entre las variables no mostraron un valor significativo aceptable. Posteriormente se eliminaron las variables sin una significancia y se evidencia nuevamente la significancia de las variables anteriormente descritas con un valor F de 30.07 y valor P de 2.849×10^{-10} como se observa en la Figura 8 obteniéndose la Ec. 2.

$$t_{gel \cdot gel} = 14,400 - 6,291 * Cr + 3,472 * C^2 - 18,595 * Tr - 11,335Tr^2 \quad \text{Ec. 2}$$

Figura 8. Resumen de datos obtenidos Para Tiempo de gel.

```
Call:
lm(formula = TMAXEXP ~ Cr + Tr + cr2 + Tr2)

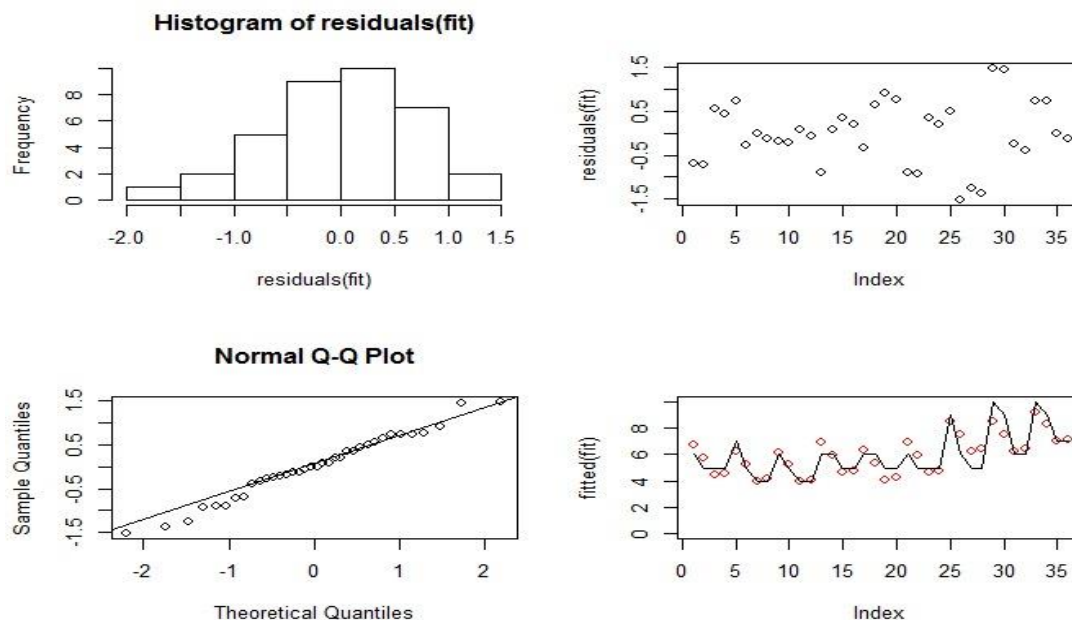
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.53133 -0.35450  0.00528  0.50640  1.48828

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    14.400      1.085   13.268 2.53e-14 ***
Cr             -6.291      1.974   -3.187 0.003272 **
Tr            -18.595      3.471   -5.357 7.72e-06 ***
cr2              3.472      1.624    2.138 0.040474 *
Tr2             11.335      2.632    4.306 0.000155 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.7794 on 31 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.7951,    Adjusted R-squared:  0.7686
F-statistic: 30.07 on 4 and 31 DF,  p-value: 2.849e-10
```

En la Figura 9 se muestra el histograma de residuos donde se puede observar que el error más frecuente del ajuste se encuentra dentro de los valores mayores a -1 y menores a 0,5 lo que nos permite concluir que el ajuste de lineal obtenido puede ser representado por la recta hallada. Asimismo, el grafico Normal Q-Q nos permite corroborar lo observado en el histograma de residuales concluyéndose que los valores teóricos tienen una gran proximidad al ajuste realizado y que sólo 6 de los datos obtenidos tienen un error de por debajo de los 2 minutos con respecto a la recta.

Figura 9. Resumen de valores estadísticos para tiempo de gel



Comparando los valores de Tiempos de gel con los obtenidos por (PRETELT, 2014), estos son bajos, lo que podría significar que la cantidad de Octoato de Cobalto usada por Imsaguas está justo en el valor máximo recomendado (0,6% p/p) o incluso por encima del mismo.

3.2 CURVAS DE REACTIVIDAD

Según los datos registrados en las Tabla 2-4 el comportamiento exotérmico para el rango de 30-35°C se evidencia que el pico exotérmico, junto con el tiempo que requiere para alcanzarlo, se ve afectado levemente por la humedad relativa del ambiente ya que se alcanzan picos más altos cuando se tienen humedades en el rango menor (50-75%). Al igual que también la cantidad de MEKP altera considerablemente la temperatura que se puede llegar a obtener, siendo la cantidad de 2,5% la que muestra un mayor valor de temperatura.

Al observar el comportamiento del sistema cuando se encuentra en el rango de 25-30°C resumidos en las

Tabla 2-4 el comportamiento frente a la humedad relativa es distinto al encontrado en las pruebas realizadas en el rango de 30-35°C. Las diferencias de los picos exotérmicos obtenidos a distintas humedades tienen valores de temperatura exotérmica máxima cercanos con ciertas variantes cuando se tiene 2,5% de MEKP donde la humedad relativa alta (85-100%) genera un pico exotérmico más alto.

Cuando se estudió el comportamiento de los sistemas realizados a bajas temperaturas (20-25°C) resumidos en las

Tabla 2-4 el efecto de la humedad parece ser insignificante acercándose bastante las temperaturas exotérmicas máximas alcanzadas para los distintos rangos de humedad relativa a excepción de la prueba realizada con 2,5% de MEKP.

Con las curvas de reactividad obtenidas e ilustradas en el Anexo B se realizó la prueba estadística de regresión lineal en el software estadística R tomando como variable respuesta el pico exotérmico y como variables explicativas la temperatura y humedad relativa en el ambiente, así como las cantidades de catalizador realizada en cada prueba. Debido a que por costos no se podía realizar un duplicado de pruebas se eligió este método estadístico el cual permite realizar un análisis estadístico sin replicaciones.

Las variables explicativas se acotaron en rangos de 0,1 a 1,1 siendo 0,1 el valor menor en cualquiera de los rangos (Temperatura, Humedad relativa y Cantidad de catalizador) generando valores reducidos (T_r, H_r, C_r) representados en una rectas cuyas pendientes e interceptos se describen en la Tabla 5.

Inicialmente se propuso la Ec. 3 para la temperatura de pico exotérmico

$$T_{pex} = A0 + A1 * Tr + A2 * Hr + A3 * Cr + A4 * Tr^2 + A5 * Hr^2 + A6 * Cr^2 + Ec. 3$$

$$A7 * Tr * Hr + A8 * Tr * Cr + A9 * Cr * Hr + A10 * Tr * Hr * Cr$$

Los resultados obtenidos con esta ecuación (Figura 10) muestran que sólo las variables de Cantidad de catalizador reducida (Cr) y su término cuadrático tenían una significancia (<5%) al igual que para la temperatura reducida (Tr) y su término cuadrático. Se evidenció que el término reducido de la humedad relativa ambiental (Hr) sólo mostraba una significancia para su término lineal. Las interacciones entre las variables no mostraron una significancia aceptable.

Posteriormente se eliminaron las variables sin una significancia y se evidencia nuevamente la significancia de las variables anteriormente descritas con un valor F de 37,7 y valor P de $8,78 \cdot 10^{-12}$ como se observa en la de alrededor de 6°C y que aproximadamente 5 valores tienen esta diferencia. La gráfica Normal Q-Q nos permite observar que la diferencia más grande se obtiene cuando se transcurren los 10 minutos de curado a cualquier cantidad de MEKP ya que la ecuación hallada presenta una diferencia con la Temperatura de pico máxima de 6°C obteniéndose la Ec. 4

$$T_{pex} = 32,725 + 45,409 * Cr - 26,294 * Cr^2 - 4,398 * Hr - 29,341 * Tr - Ec. 4$$

$$31,569Tr^2$$

Derivando la Ec. 4 con respecto a la cantidad de catalizador reducida se obtuvo como ecuación $0 = 45,409 - 52,588 * Cr$ y cambiando la variable reducida por el porcentaje de catalizador se obtuvo que el valor de cantidad de catalizador para obtener la máxima temperatura de pico exotérmico es de 2,4% en cualquiera de los rangos de temperatura trabajadas.

Figura 10. Resumen de datos obtenidos Para temperatura de pico exotérmico

```
Call:
lm(formula = TMAXEXP ~ (CR + CR2 + HR + TR + TR2))

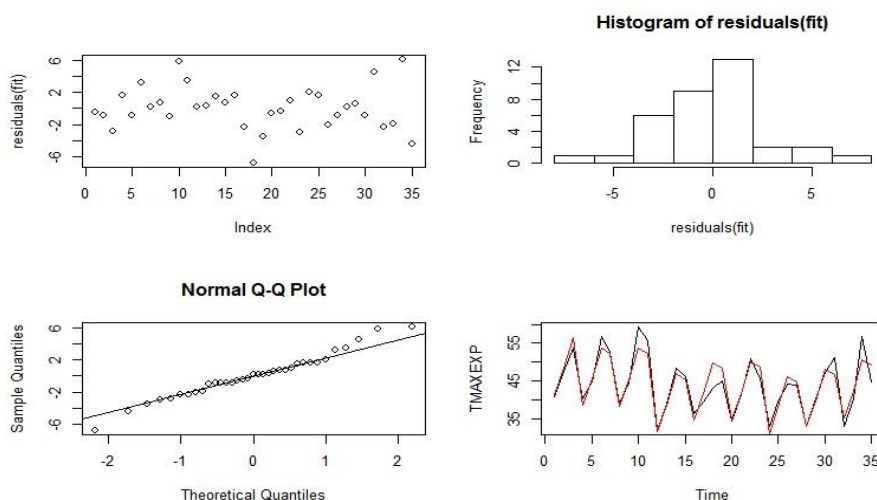
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-6.8102 -1.4909  0.1616  1.5257  6.1156

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)   32.725     4.196   7.800 1.33e-08 ***
CR             45.409     7.491   6.062 1.34e-06 ***
CR2           -26.294     6.204  -4.238 0.000209 ***
HR              4.398     1.623   2.710 0.011181 *
TR            -29.341    13.716  -2.139 0.040968 *
TR2            31.565    10.584   2.982 0.005745 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 2.923 on 29 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.8657,    Adjusted R-squared:  0.8425
F-statistic: 37.37 on 5 and 29 DF,  p-value: 8.788e-12
```

Según el Histograma de valores residuales (Figura 11) se obtiene que la mayor diferencia entre el valor experimental y el hallado mediante el software es de alrededor de 6°C y que aproximadamente 5 valores tienen esta diferencia. La gráfica Normal Q-Q nos permite observar que la diferencia más grande se obtiene cuando se transcurren los 10 minutos de curado a cualquier cantidad de MEKP ya que la ecuación hallada presenta una diferencia con la Temperatura de pico máxima de 6°C.

Figura 11. Resumen de valores estadísticos para Temperatura de pico exotérmico



Debido a que el proveedor no concedió información sobre la composición del MEKP se puede deducir que el usado por Imsaguas Ltda contiene bajas cantidades de Peróxido de Hidrogeno, y debido a que los tiempos de curado no variaron considerablemente se presume mayor cantidad de monómero en forma de MEKP

4. CONCLUSIONES

Para el proceso de producción de los PRFV fabricados en Imsaguas Ltda con resina Cristalán 856 se concluye que estadísticamente se observa una pequeña significancia de la humedad relativa del ambiente en el valor del pico exotérmico. Sin embargo, esta significancia es mayor en el caso de la temperatura del ambiente.

Al variar las cantidades de MEKP se evidenció que existe un valor (2,4%) que permite alcanzar la mayor temperatura de pico exotérmico en los rangos de temperatura y humedad relativa trabajados permitiendo una reacción de polimerización completa pudiendo cumplir con las características mecánicas exigidas en la norma NTC2888.

Se pudo determinar una correlación de la temperatura alcanzada en el pico exotérmico con respecto a la humedad relativa y temperatura en el ambiente; cantidad de MEKP. El máximo valor de la correlación me permite afirmar que se obtiene el mayor grado de polimerización. Con tratamientos matemáticos de esta correlación se puede determinar la cantidad óptima de MEKP que se requiere usar en los PRFV para cumplir la norma NTC 2888

5. RECOMENDACIONES

Realizar pruebas mecánicas de flexión, tensión y compresión de acuerdo con la norma NTC 2888 para corroborar que la cantidad de Iniciador/catalizador encontrada en este proyecto cumpla con normas de calidad.

Se recomienda realizar experimentación con las cantidades de Octoato de Cobalto para establecer la manera en la cual influye el mismo en los tiempos de gel lo cual se hace importante al establecer los tiempos de aplicación requeridos.

Establecer una hoja de reporte de cantidades de iniciador/catalizador, resina y estireno además de las condiciones ambientales presentes en la producción para establecer un historial y corroborar lo concluido en este estudio.

Adquirir instrumentación como balanzas y pipetas para determinar las cantidades usadas de una forma más precisa.

BIBLIOGRAFÍA

ASHLAND. Ashland always solving. [En línea]. (Recuperado 20 octubre de 2018.)
Disponible en <https://www.ashland.com/search?chemistry=Composites>

BENDEZÚ, J. Los plásticos reforzados en fibra de vidrio (PRFV), sus aplicaciones y desarrollo en la industria nacional. Tesis de pregrado Lima D.C.: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2002.

BENSON, A. K. Fiberglass. En Salem Press Encyclopedia of Science. United Kingdom: Salem ediciones, 2013.

BUTRÓN, Amaia. Cinética de polimerización de sistemas bicomponentes. En: Revista Iberoamericana de polímeros. Abril-Mayo, 2007 vol. 15 no. 1., p. 346-375.

GAZECHIM COMPOSITES IBÉRICA. Propiedades de Resinas Poliéster. (Recuperado el 18 de octubre de 2018.) Disponible en <http://www.gazechim.es/blog/131-resina-poliester1.html>

GIL, Andres. Resinas de poliéster, Guía de manejo. (Recuperado el 18 de octubre de 2018.) Disponible en <http://www.eafit.edu.co/servicios/centrodelaboratorios/infraestructura/laboratorios/Documents/Guia%20de%20manejo%20de%20resinas.pdf>

INDUSTRIAS QUÍMICAS DEL SUR. Instructivo Resina. (Recuperado el 15 de noviembre de 2018.) Disponible en <http://www.industriasquimicas.com.ar>. Obtenido de http://www.industriasquimicas.com.ar/Theme/industrias/assets/doc/INSTRUCTIVO_RESINA.pdf

MIRAVETE, Antonio. Materiales compuestos. Barcelona: Reveté ediciones, 2007. p.40 (Matrices poliméricas). ISBN 84-921349-7-7

PARRILLA, Fernando. Resinas de poliéster, plásticos reforzados. México: F. Parrilla Ediciones, 1993. p.12 (Introducción).ISBN 987-14-4745-1

PRETELT, Jerly. Análisis del sistema catalítico de la resina de poliéster insaturado para laminación. Tesis de Pregrado Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana, 2014

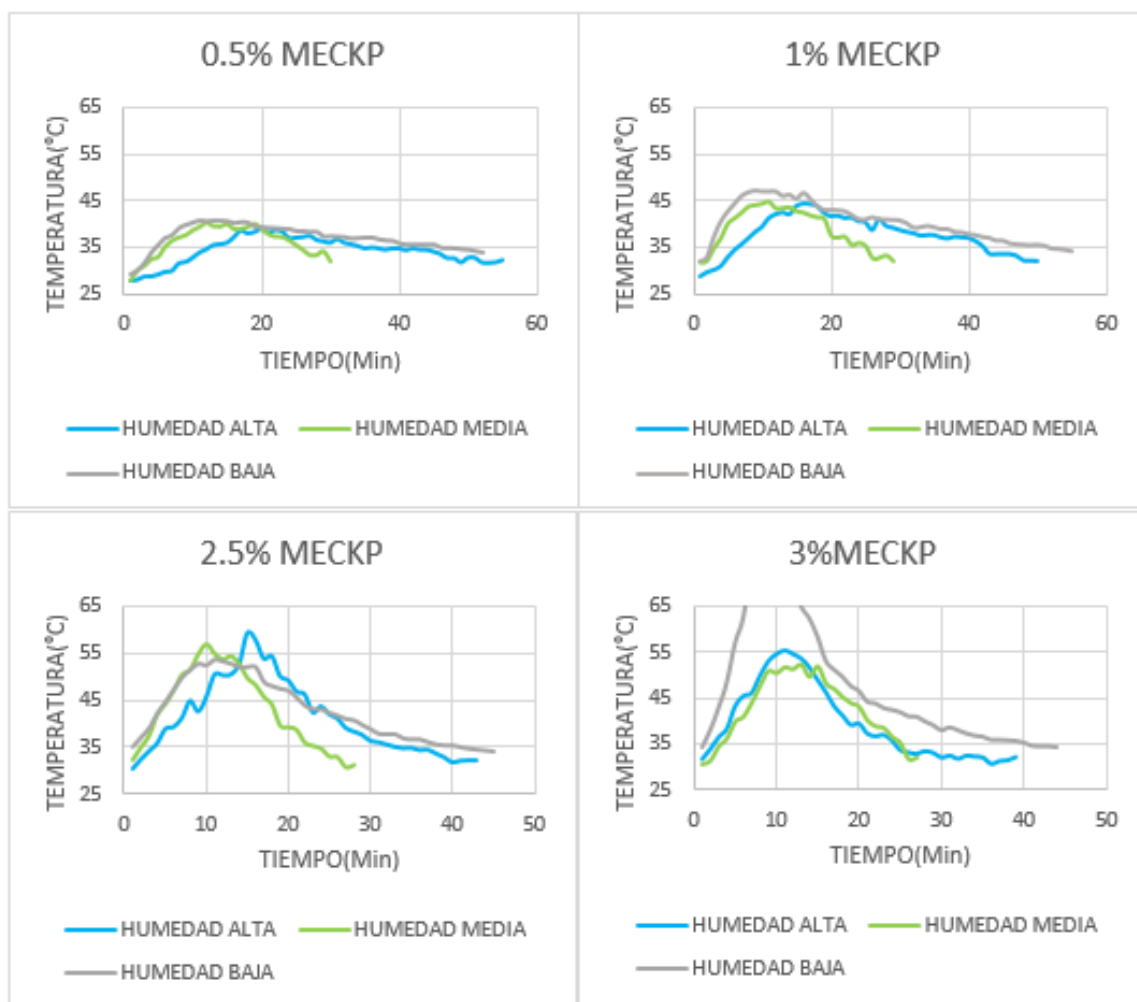
SHACKELFORD, James. Ciencia de materiales para ingenieros. Santa fe de Bogotá: editorialPrentice Hall Hispanoamericana, 2010. ISBN 9788483226599

WEBER, Dean. REINFORCED PLASTICS CONFERENCE. (3-5 OCTUBRE, 1956: Atlantic City,USA).Memorias.Atlantic City:11st SPI Conference,1956, p. 530.

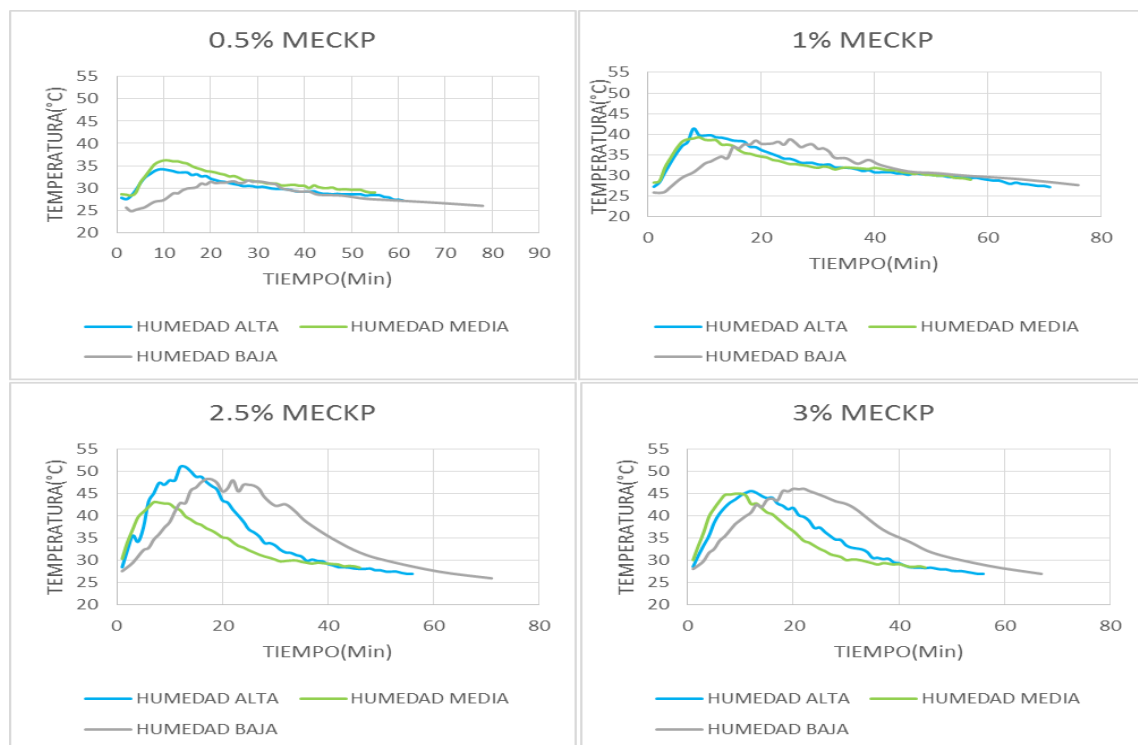
ANEXOS

Anexo A. Curvas de Exotermia

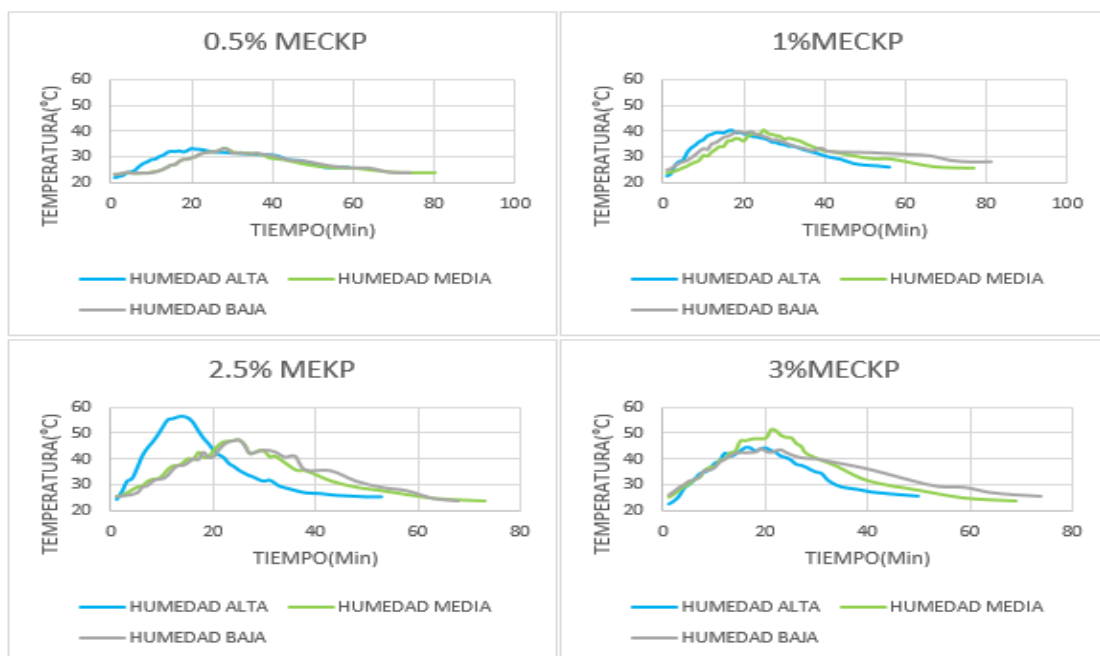
Curvas de exotermia en el rango 30-35°C



Curvas de exotermia en el rango 25-30°C

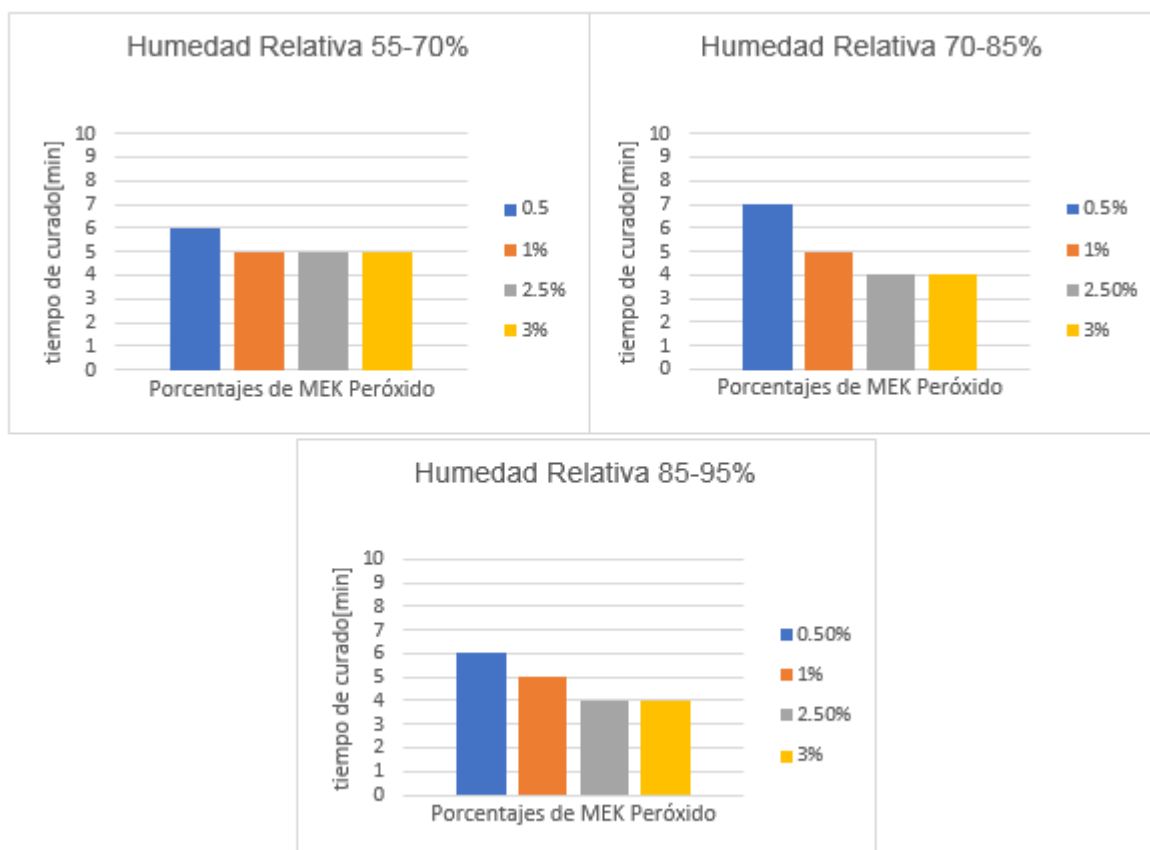


Curvas de exotermia en el rango 20-25°C

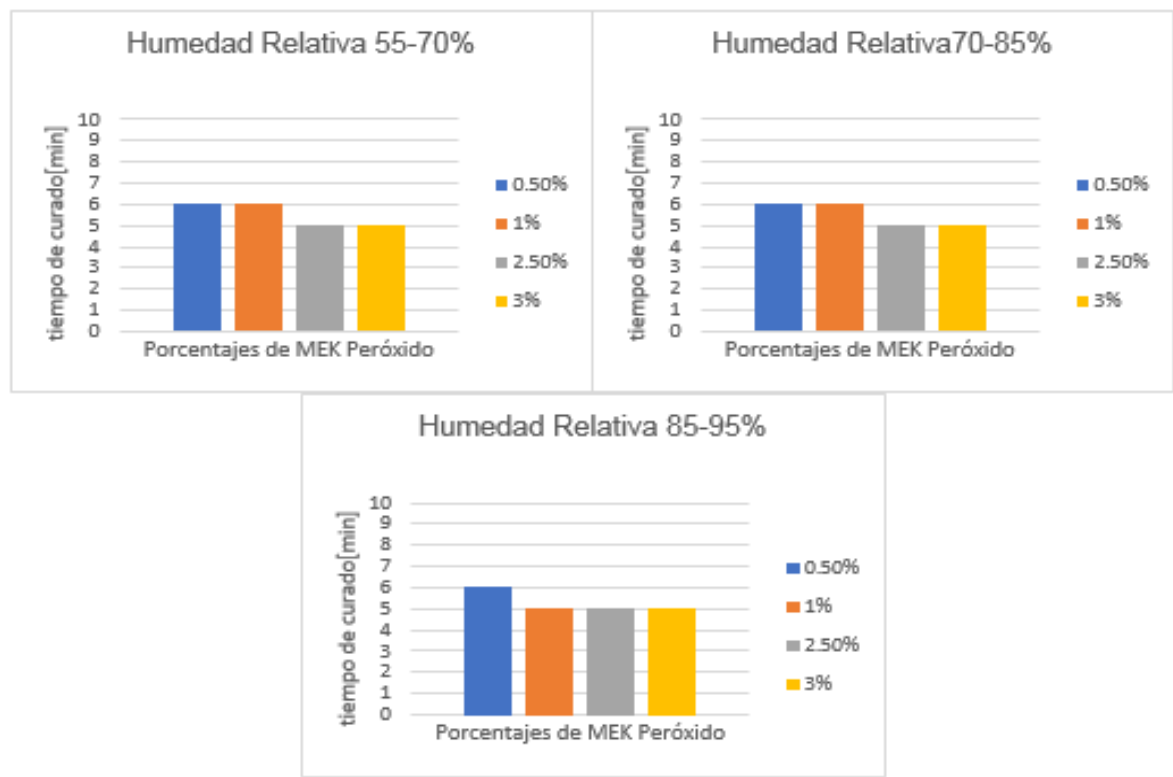


Anexo B. Tiempos de Gel

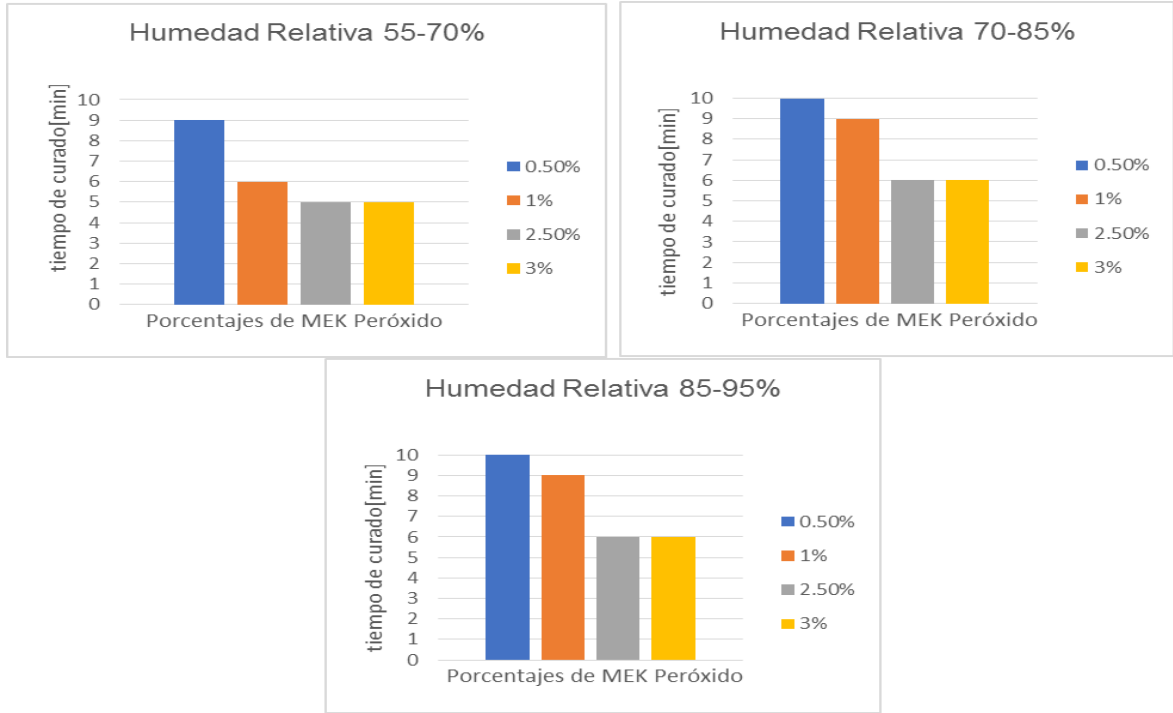
Resultados de tiempos de gel en el rango de 30-35°C



Resultados de tiempos de gel en el rango 25-30°C



Resultados de tiempos de gel en el rango de 20-25°C



Anexo C. Tabla de Datos

HUMEDAD RELATIVA [%]	55-70
RANGO DE TEMPERATURA[°C]	30-35

TIEMPO	%MECK PERÓXIDO			
	0.50%	1%	2.50%	3%
1	29.4	32	35	34.3
2	30.2	32.9	37	38.1
3	31.8	37.3	39	42.9
4	34	40.6	42.2	48.5
5	35.6	42.8	44.7	57
6	37.1	44.5	47.3	62.6
7	37.7	46.2	49.9	74.8
8	39.2	47	51.6	81.2
9	39.9	47.4	52.9	82.2
10	40.4	47.2	52.6	80
11	40.8	47.2	53.8	73.5
12	40.7	47.2	53.4	69.7
13	40.8	46.2	52.9	64.8
14	40.8	46.5	52.2	62.2
15	40.7	45.6	52.2	58.2
16	40.3	46.9	52.2	53
17	40.5	45.6	49	51.1
18	40.4	44	48.1	49.6
19	39.5	43.2	47.5	47.6
20	39.4	43.2	47.1	46.5
21	39.3	43.1	45.6	44.2
22	39.2	42.9	43.9	43.8
23	39.1	42.1	43.1	42.8
24	39	41.2	43.1	42.4
25	38.6	41.1	42.3	41.9
26	38.6	41.6	41.7	41
27	38.4	41.1	41	40.9
28	38.4	41.1	40.7	39.9
29	37.4	41	39.7	39.1
30	37.5	40.9	38.8	38

TIEMPO	%MECK PERÓXIDO			
	0.50%	1%	2.50%	3%
31	37.4	40.3	37.8	38.6
32	37.3	39.3	37.7	38
33	37	39.4	37.7	37.3
34	37.1	39.7	36.8	36.8
35	37.2	39.4	36.6	36.6
36	37.2	39	36.6	35.9
37	36.8	39	36	35.9
38	36.6	38.4	35.5	35.8
39	36.5	38.3	35.3	35.7
40	35.9	37.9	35.3	35.3
41	35.7	37.7	34.9	34.6
42	35.7	37.3	34.6	34.5
43	35.7	37.1	34.4	34.5
44	35.7	36.5	34.2	34.3
45	35.7	36.5	34	
46	35	35.9		
47	35	35.7		
48	34.9	35.6		
49	34.7	35.5		
50	34.6	35.6		
51	34.3	35.4		
52	34	34.8		
53		34.7		
54		34.5		
55		34.2		

HUMEDAD RELATIVA [%]	70-85
RANGO DE TEMPERATURA[°C]	30-35

			% DE MECK PERÓXIDO			
TIEMPO	Hr%	Temp. Amb[°C]	0.50%	1%	2.50%	3%
1	76%	31	27.9	31.7	32.1	30.5
2	78%	31	30.1	32	34.8	31.3
3	81%	32	31	34.7	37.3	34.4
4	80%	32	32.4	36.8	41.8	36.2
5	77%	32	32.9	39.9	44.1	39.9
6	77%	32	35	41.1	47	41
7	78%	31	36.3	42.3	50.3	44.1
8	76%	31	37	43.6	51.4	47.7
9	74%	31	37.5	43.9	54.7	51.1
10	75%	31	38.5	44.2	56.9	50.6
11	74%	31	39.2	44.6	54.8	51.9
12	77%	31	40.1	43.2	53.6	51.5
13	76%	31	39.4	43.3	54.3	52.5
14	78%	31	39.3	43.4	52.6	49.8
15	77%	31	39.8	42.6	49.6	52.1
16	78%	31	38.8	42.3	48.1	48.3
17	79%	31	38.8	41.7	45.6	47.1
18	78%	31	39.2	41.3	43.9	45.3
19	79%	31	39.9	41	39.4	44
20	79%	31	38.8	37.4	39.1	43.2
21	79%	31	37.7	37	38.5	40.2
22	81%	31	37.2	37.2	35.8	38.9
23	81%	31	37.1	35.4	35.1	38.5
24	81%	31	36.4	35.9	34.5	36.5
25	79%	31	35.4	35.2	32.8	35.2
26	79%	31	34.4	32.6	32.7	31.6
27	79%	31	33.3	32.7	30.5	32
28	79%	31	33.3	33.2	31	
29	79%	31	34.1	32		
30	78%	31	32			
HUMEDAD RELATIVA [%]	85-100					
RANGO DE TEMPERATURA[°C]	30-35					

			% DE MECK PERÓXIDO			
TIEMPO	Hr%	Temp.Amb.[°C]	0.50%	1%	2.50%	3%
1	95%	30	28.1	28.6	30.2	31.5
2	95%	30	28.3	29.5	32.2	33.8
3	94%	30	29	30	34	36.4
4	94%	30	29	30.8	35.7	38.3
5	94%	30	29.4	32.7	38.8	43.3
6	93%	31	30	34.3	39.2	45.5
7	93%	31	30.2	35.5	41.1	46.2
8	94%	31	31.8	36.8	44.8	50
9	94%	32	32.1	38.2	42.5	53.2
10	93%	32	33	39.3	45.7	54.8
11	93%	32	34.1	41.2	50.5	55.6
12	94%	32	34.8	42	50.3	54.8
13	95%	32	35.7	42.4	50.5	53.8
14	93%	32	35.9	42	52.7	51.8
15	93%	32	36.2	43.8	59.4	49
16	93%	33	37.4	44.3	57.9	46.3
17	91%	33	38.8	44.2	53.9	43.2
18	89%	33	38.2	43.8	54.4	41.2
19	88%	33	38.5	42.3	50.1	39.1
20	89%	33	39.1	41.6	49.2	39.4
21	88%	33	38.4	41.7	46.8	37.2
22	89%	33	38.9	41.2	46.2	36.6
23	87%	33	38.6	41.3	42.3	36.9
24	87%	32	37.2	40.5	43.6	35.6
25	90%	32	37.3	40.3	41.9	33.5

26	90%	32	37.4	38.6	41	33
27	89%	32	37.7	40.9	39	32.7
28	90%	32	36.8	39.5	38.2	33.3
29	92%	32	36.5	39.1	37.5	32.9
30	92%	32	36.2	38.6	36.2	31.9
31	90%	32	37	38.2	35.9	32.3
32	91%	32	36.2	37.9	35.4	31.6
Tiempo	Hr%	Temp.Amb.[°C]	0.50%	1%	2.50%	3%
33	89%	32	35.9	37.4	34.9	32.3
34	90%	32	35.5	37.5	34.6	32.1
35	90%	32	35	37.5	34.7	31.9
36	90%	32	35.2	37	34.2	30.5
37	90%	32	35	36.8	34.3	31.1
38	90%	32	34.7	37.2	33.5	31.3
39	90%	32	35	37	32.7	32
40	89%	32	35	36.9	31.6	
41	90%	32	34.6	36.2	31.9	
42	89%	32	35	35.2	32	
43	89%	32	34.7	33.5	32	
44	88%	32	34.7	33.4		
45	88%	32	34.3	33.4		
46	88%	32	33.8	33.4		
47	88%	32	32.9	33		
48	88%	32	32.9	32		
49	88%	32	32	32		
50	87%	32	33	31.9		
51	90%	32	33			
52	90%	32	32			
53	92%	32	31.9			
54	90%	32	32			
55	90%	32	32.5			

HUMEDAD RELATIVA [%]	55-70
RANGO DE TEMPERATURA[°C]	25-30

			0.50%	1%		2.50%		3%	
Tiempo[min]	Hr[%]	Temp.Amb.[°C]	Temp[°C]	Tiempo[min]	Temp[°C]	Tiempo[min]	Temp[°C]	Tiempo[min]	Temp[°C]
1	63	25.4	25.2	1	25.9	1	27.6	1	28.1
2	63	25.4	25.6	2	25.8	3	29.5	2	28.9
3	63	25.4	24.8	3	26.1	5	32.3	3	29.9
4	63	25.4	25.1	4	27.3	6	32.8	4	31.7
5	63	25.3	25.4	6	29.5	7	34.7	5	32.6
6	63	25.5	25.7	8	30.8	8	35.9	6	34.4
8	63	25.5	26.9	10	32.9	9	37.4	7	35.4
10	63	25.5	27.3	11	33.4	10	38.6	8	36.8
12	63	25.5	28.8	12	34.1	11	41	9	38.2
13	63	26.2	28.8	13	34.6	12	42.9	10	39.1
14	63	26.2	29.5	14	34.2	13	42.9	11	40
15	63	26.5	29.9	15	36.9	14	45.7	12	40.8
16	63	26.7	30	16	36.6	15	46.4	13	42.5
17	63	26.7	30.2	17	37.6	16	47.6	14	42
18	63	26.7	31	18	37.5	17	48.3	15	43.6
19	63	26.7	30.8	19	38.5	18	48.2	16	43.9
20	63	27.3	31.4	20	37.7	19	47.4	17	43.5
21	63	27.6	31.1	21	37.7	20	45.5	18	45.6
22	63	27.6	31.2	22	37.8	21	46.2	19	45.5
23	63	27.6	31.2	23	38.2	22	48	20	46.1
24	61	28	31.4	24	37.5	23	45.5	21	46
25	60	28	31.5	25	38.8	24	47	22	46.1
26	60	28	31.1	26	38	25	47	23	45.6
27	60	28.5	31.2	27	36.9	26	46.8	24	45.2
28	59	28.6	31.7	28	37.4	27	46	26	44.3
29	59	28.6	31.4	29	37.6	28	44.2	28	43.3
30	59	28.6	31.5	30	36.5	30	42.3	30	42.7
31	58	28.5	31.4	31	36.6	32	42.6	32	41.4
32	58	28.5	31.2	32	35.8	34	40.8	37	36.9
33	58	28.5	31	33	34.3	36	38.6	42	34.2
			0.50%	1%		2.50%		3%	
Tiempo[min]	Hr[%]	Temp.Amb.[°C]	Temp[°C]	Tiempo[min]	Temp[°C]	Tiempo[min]	Temp[°C]	Tiempo[min]	Temp[°C]
34	58	28.5	30.8	35	34.2	41	34.8	47	31.5
35	58	28.5	30	37	32.9	46	31.8	57	28.8
37	58	28.5	29.5	39	33.8	51	30	67	27
39	57	28.3	29.2	41	32.6	61	27.5		
41	58	28.2	29.2	46	31	71	26		
43	58	28.2	28.5	51	30.6				
48	59	27.8	28.3	56	30				
53	59	27.8	27.6	66	29.1				
58	59	27.8	27.3	76	27.7				
68	59	27.8	26.7						
78	59	27.8	26						

HUMEDAD RELATIVA[%]	70-85
RANGO DE TEMPERATURA[°C]	25-30

TIEMPO	Hr%	Temp. Amb.[°C]	% DE MECK PERÓXIDO			
			0.50%	1%	2.50%	3%
1	79%	28	28.6	28.3	30.4	30.1
2	78%	28	28.5	28.7	34.1	33.3
3	77%	29	28.3	32.1	37	36.3
4	76%	29	28.9	34.4	39.7	39.8
5	73%	29	31.2	36.6	40.9	41.7
6	75%	29	32.6	38.2	42	43.3
7	76%	28	34	38.8	43.1	44.7
8	77%	28	35.3	39	43	44.8
9	78%	28	35.9	39.3	42.8	45
10	78%	28	36.2	38.7	42.7	45
11	79%	28	36.2	38.6	41.8	44.6
12	79%	28	36	38.6	41.3	42.7
13	80%	28	36	37.5	39.9	42.8
14	80%	28	35.7	37.5	39.2	41.8
15	81%	28	35.5	37.2	38.4	40.8
16	79%	28	34.9	36.2	38	40.4
17	79%	28	34.5	35.5	37.2	39.4
18	81%	28	34.2	35.3	36.7	38.4
19	81%	28	33.8	34.9	36	37.4
20	82%	28	33.7	34.6	35.2	36.6
21	80%	28	33.5	34.4	35	35.5
22	79%	29	33.2	33.8	34.1	34.4
23	77%	29	33	33.6	33.3	34
24	76%	29	32.6	33.2	32.9	33.3
25	75%	29	32.7	32.8	32.3	32.6
26	75%	29	32.3	32.8	31.8	32.1
27	74%	29	31.8	32.6	31.3	31.4
28	74%	29	31.7	32.4	30.9	31.1
29	73%	29	31.6	32.1	30.6	30.8
30	73%	29	31.4	31.9	30.2	30.1
31	72%	29	31.3	32.2	29.8	30.2
32	72%	29	31	32	29.9	30.2
33	74%	29	31	31.5	30	30
34	75%	29	31	31.8	30	29.7
35	75%	29	30.6	32	29.7	29.4
36	75%	28	30.6	31.9	29.5	29.1
37	75%	28	30.7	31.8	29.3	29.4
38	76%	28	30.7	31.7	29.5	29.3
39	76%	28	30.5	31.6	29.4	29.1
40	75%	28	30.5	31.9	29.3	29.2
41	75%	28	30	31.7	29.2	28.9
42	75%	28	30.6	31.4	29.1	28.6
43	76%	28	30.2	31.3	28.7	28.6
44	76%	28	30	31.2	28.8	28.7
45	76%	28	30	30.8	28.7	28.4
46	76%	28	30.1	30.7	28.4	
47	76%	28	29.7	30.4		
48	77%	29	29.7	30.6		
49	77%	29	29.7	30.2		
50	77%	29	29.6	30.2		
51	77%	29	29.6	30		
52	76%	29	29.6	30		
53	75%	29	29.2	30		
54	75%	29	29	29.5		
55	75%	29	29	29.4		
56	75%	29		29.3		
57	75%	29		29		

HUMEDAD RELATIVA[%]	85-100
RANGO DE TEMPERATURA[°C]	25-30

0,50%				1%		2,50%		3,00%	
Tiempo[Min]	Hr%	Temp. Amb.[°C]	Temp .[°C]	Temp. [°C]	Tiempo [Min]	Temp. [°C]	Tiempo [Min]	Temp .[°C]	Tiempo [Min]
1	89%	27	27,8	27,3	1	28,5	1	28,6	1
2	90%	27	27,5	28,4	2	32,3	2	31,1	2
3	91%	27	28,2	30,9	3	35,6	3	33,4	3
4	90%	27	29,5	33,2	4	34,2	4	35,5	4
5	90%	27	31,1	35,4	5	37,3	5	38,5	5
6	90%	27	32,4	37,2	6	43,2	6	40,5	6
7	91%	27	33,1	38,2	7	45,1	7	41,9	7
8	90%	27	33,8	41,4	8	47,4	8	43	8
9	91%	27	34,2	39,8	9	47	9	43,7	9
10	90%	27	34,2	39,7	10	48	10	44,6	10
11	91%	27	34	39,8	11	48	11	45,2	11
12	91%	27	33,8	39,3	12	51	12	45,6	12
13	91%	27	33,5	39,2	13	51	13	45,2	13
14	90%	27	33,5	38,9	14	50	14	44,5	14
15	90%	27	33,5	38,5	15	48,8	15	44	15
16	91%	27	32,9	38,4	16	48,8	16	44,1	16
17	91%	27	33,1	38,2	17	47,6	17	42,8	17
18	92%	27	32,6	37	18	46,7	18	42,3	18
19	91%	27	32,7	36,9	19	45,9	19	41,5	19
20	89%	27	32,1	36,2	20	43,5	20	41,8	20
21	89%	27	31,8	35,7	21	43	21	40,2	21
22	90%	27	31,5	35,2	22	41,4	22	39,8	22
23	91%	27	31,4	34,7	23	40,1	23	38,9	23
24	91%	27	31,1	34,1	24	38,7	24	37,3	24
25	89%	27	30,9	34,1	25	37	25	37,4	25
26	89%	27	30,7	33,7	26	36,3	26	36,4	26
27	89%	27	30,4	33,1	27	35,4	27	35,5	27
28	90%	27	30,5	33,1	28	33,9	28	34,7	28
29	93%	27	30,4	33,1	29	33,9	29	34,6	29
30	91%	27	30,2	32,7	30	33,4	30	33,4	30
31	90%	27	30,3	32,6	31	32,4	31	32,9	31
32	91%	27	30,1	32,7	32	31,8	32	32,7	32
33	92%	27	29,9	32	33	31,7	33	32,5	33
34	92%	27	29,8	32	34	31,2	34	31,9	34
35	91%	27	29,8	31,9	35	30,9	35	30,6	35
36	90%	27	29,7	31,8	36	29,9	36	30,6	36
37	90%	27	29,6	31,5	37	30,2	37	30,3	37
38	95%	27	29,3	31,1	38	29,9	38	30,4	38
39	95%	28	29,2	31,3	39	29,8	39	29,6	39
40	95%	28	29,2	30,8	40	29,2	40	29,4	40
41	95%	28	29,2	30,8	41	28,9	41	28,9	41
42	95%	28	29,3	30,8	42	28,5	42	28,5	42
43	95%	28	28,9	30,8	43	28,5	43	28,4	43
44	95%	27	28,7	30,5	44	28,4	44	28,4	44
45	95%	27	28,7	30,5	45	28,2	45	28,3	45
46	95%	27	28,6	30,2	46	28,1	46	28,4	46
47	95%	27	28,7	30,6	47	28,1	47	28,2	47
48	95%	27	28,6	30,4	48	28,2	48	28	48
49	95%	27	28,6	30,3	49	27,8	49	28	49
50	95%	27	28,6	30,2	50	27,8	50	27,7	50

HUMEDAD RELATIVA [%]	70-84							
RANGO DE TEMPERATUR A[°C]	20-25							
Hr %	0,50%	1%		2,50%		3%		Temperatura [°C]
	Tiempo [Min]	Temperatura [°C]	Tiempo [Min]	Temperatura [°C]	Tiempo [Min]	Temperatura [°C]	Tiempo [Min]	
74	1	23,2	1	23,9	1	25,5	1	25,3
79	2	23,2	3	24,6	2	25,9	2	26,5
79	4	23,9	5	25,9	3	26,9	3	28
80	6	23,5	6	26,5	5	29,1	4	29,4
73	8	23,6	7	27,4	6	29,6	5	30,5
75	9	23,6	9	28,7	7	31,3	6	32,1
84	10	24	10	30,6	8	32,1	7	32,9
73	12	24,5	11	30,3	9	32,3	8	35,6
78	13	25,1	12	31,8	10	33,6	9	36,8
84	14	25,9	13	32,8	11	35,9	10	37,1
77	15	26,7	14	34	12	37,3	11	39,5
75	16	26,9	15	34	13	37,4	12	39,9
79	17	28,2	16	36	14	38,5	13	42,4
79	18	28,8	17	36,2	15	40,1	14	42,9
75	19	28,9	18	37,1	16	39,6	15	46,9
71	20	29,5	19	36,8	17	42,5	16	47
76	21	29,9	20	36,1	18	40,5	17	47,5
80	22	30,8	21	37,8	19	40,8	18	47,8
71	23	31,3	22	38,8	20	43,4	20	48
81	24	31,5	23	38,7	21	45,4	21	51,2
82	25	31,7	24	38,7	22	46,5	22	50,8
71	26	31,8	25	40,3	24	47	23	49
81	27	32,4	26	39	25	47,2	24	48,3
71	28	33	28	38,2	26	45,4	25	48,1
83	29	32,5	29	37,9	27	42,1	26	45,9
72	31	31,1	30	36,8	28	42,4	27	44,7
83	32	31,5	31	37,2	29	43,3	28	42
79	33	31,1	32	36,9	30	42,7	32	38,7
73	34	31,3	33	36,5	31	40,6	34	37,1
75	35	30,8	34	36,1	32	41	39	32,3
70	36	31,2	35	35,3	36	35,7	44	29,9
72	37	30,6	36	34,6	38	35,4	49	28,3
82	38	30,3	40	32,3	43	31,4	59	25
76	39	29,4	42	32	48	29	69	23,9
84	43	28,6	47	30,5	53	27,7		
Hr %	0,50%	1%		2,50%		3%		Temperatura [°C]
	Tiempo [Min]	Temperatura [°C]	Tiempo [Min]	Temperatura [°C]	Tiempo [Min]	Temperatura [°C]	Tiempo [Min]	
70	45	27,9	52	29,3	63	24,8		
78	50	26,4	57	29,1	73	23,8		
76	55	25,6	67	26,3				
80	60	25,5	77	25,7				
80	70	23,9						
70	80	23,8						

HUMEDAD %		85-100			
TEMPERATURA °C		20-25			
		% DE MECK PERÓXIDO			
Hr %	TIEMPO	0,50%	1%	2,50%	3%
85	1	21,8	22,21	24	22,4
89	2	22,21	23,2	27	23,6
89	3	22,6	26,4	31,1	25,5
88	4	23,6	27,9	32,2	28,7
88	5	24	28,5	36,3	30,2
87	6	24,6	31,5	41,1	32
89	7	26,1	33,3	44,2	34,3
89	8	27,2	34,4	46,5	35,1
90	9	27,8	35,8	49,2	36
92	10	28,7	36,5	52,4	38,5
92	11	28,9	38,1	55,3	39,5
90	12	29,9	38,6	55,8	42,5
88	13	30,4	39,3	56,5	41,2
90	14	31,5	39,4	56,7	42
94	15	31,9	39,2	56,1	43,3
93	16	31,8	39,9	54,3	44,7
93	17	32,1	40,3	51,1	44,6
95	18	31,6	39,2	48,2	43,3
95	19	32,2	39,5	46	44,2
89	20	33	38,8	43,4	44,6
88	21	32,7	38,7	41,6	43,6
90	22	32,7	37,8	40,5	42,8
92	23	32,5	37,7	38,2	41,3
92	24	32,1	37,3	37	40,8
89	25	31,8	37	35,5	39,8
89	26	31,6	36,5	34,4	38,1
87	27	31,5	35,5	33,4	37,7
90	28	31,5	35,4	32,7	36,9
91	29	31,4	34,8	31,7	35,8
90	30	31,2	34,6	31,2	35
90	31	31,2	34	31,6	34,5
93	32	31,1	34	30,5	32,3
92	33	31	33,6	29,2	30,8
97	35	30,8	32,5	28,1	29,1
95	38	30,6	31,2	26,6	28,2
Hr %	TIEMPO	0,50%	1%	2,50%	3%
92	41	30,3	29,7	26,3	27,1
91	44	28,7	28,8	25,6	26,5
97	47	28,4	27,2	25,3	26
96	50	27,1	26,5	25	25,5
95	53	25,7	26,2	25	
92	56	25,7	25,7		
92	59	25,7			