



Trabajo de Grado, Departamento de Ingenierías
Q.C.A.

Código

1.2

Página

1 de 50

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO EN LOS DIFERENTES CONTROLES DE CALIDAD,
DEL PROCESAMIENTO PVC EXTRUIDO, CON EL FIN DE DISMINUIR LA
FABRICACIÓN DE COMPUESTO NO CONFORME Y PRODUCTO DEFECTUOSO
REALIZADO COMO PASANTIA INDUSTRIAL EN LA EMPRESA P.V.C GERFOR
S.A.**



Autor

LAURA VANESSA CARVAJAL MOGOLLÓN

Director

MARTHA LUCÍA PINZÓN BEDOYA
Ingeniera Química, Ph.D.

Co-Director

BLADIMIR AZDRUBAL RAMÓN VALENCIA
Ingeniero Metalúrgico, Ph.D.

**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL, AMBIENTAL Y QUÍMICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, Julio de 2019**



TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	6
Palabras Clave	6
Abstract.....	6
Key Words	6
1. Introducción.....	7
2. Planteamiento Del Problema	8
3. Justificación.....	8
4. Marco Teórico.....	9
Propiedades Básicas De Flujo De Polímeros	18
5. Antecedentes.....	20
6. Marco Conceptual	21
7. Objetivos.....	26
7.1 Objetivo General.....	26
7.2 Objetivos Específicos.....	26
8. Metodología.....	27
9. Resultados	34
10. Conclusiones Y Recomendaciones.....	47



TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Estructura molecular del PVC	12
Ilustración 2. Planta de P.V.C GERFOR S.A Colombia	17
Ilustración 3. Diseño Genérico de un extrusor.	18
Ilustración 4. Tubería de PVC GERFOR S.A	19
Ilustración 6. Reómetro de torque	22
Ilustración 5. Gráfica de una reología con sus diferentes puntos.....	25
Ilustración 7. Diagrama de flujo del proceso	33
Ilustración 17 Densidad 2018 y 2019	35
Ilustración 18 Fluidez 2018 y 2019.....	36
Ilustración 19 Humedad 2018 y 2019.....	37
Ilustración 20 Tiempo de fusión 2018 y 2019.....	39
Ilustración 21 Tiempo de degradación 2018 y 2019.....	41
Ilustración 22 Torque de fusión 2018 y 2019	42
Ilustración 23 Torque de degradación	43
Ilustración 24 Temperatura de fusión 2018 y 2019	44
Ilustración 25 Temperatura de degradación 2018 y 2019	46



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Controles de calidad para materias primas.....	9
Tabla 2. Controles de calidad para compuesto PVC.	24



TABLA DE GRÁFICAS

Gráfica 1.Distribución de Ventas de la Industria del PVC en Colombia. 5

Gráfica 2.Reología para tuberíaSanitaria.....30

Gráfica 1.Gráfica de Base de datos recolectada de la herramienta de simulación..31



RESUMEN

Este proyecto pretende mostrar la importancia del estudio reológico de la tubería PVC, debido a que con ayuda de este método se logra hacer una predicción muy cercana a la realidad del comportamiento de cualquier tipo de tubería, lo que facilita, a futuro, evitar fallas en el proceso de producción.

El estudio se llevó a cabo como pasantía industrial en la empresa P.V.C GERFOR S.A, específicamente, en el laboratorio de Materias Primas, donde se realizó la recolección y análisis de datos provenientes de la planta de extrusión, durante un periodo de tiempo, aproximadamente de un año (2018). Los datos recolectados, posteriormente fueron sometidas a un análisis estadístico, con el fin de realizar los ajustes correspondientes en las especificaciones de variables que inciden en la reología del compuesto PVC, obteniendo así para el año 2019 una mejora en todos los parámetros reológicos de los diferentes tipos de tubería.

PALABRAS CLAVE

Compuesto PVC, Análisis estadístico, Producto Conforme, Control de Calidad, Parámetros.

ABSTRACT.

This project aims to show the importance of the rheological study of PVC pipe, because with the help of this method it is possible to make a prediction very close to the reality of the behavior of any type of pipe, which facilitates, in the future, avoiding failures in the pipeline. the production process.

The study was carried out in the company PVC GERFOR SA, specifically, in the Raw Material laboratory, where the collection and analysis of data from the extrusion plant was carried out, during a period of time, approximately one year (2018).The data collected were subsequently subjected to a statistical analysis, in order to make the corresponding adjustments in the specifications of variables that affect the rheology of the PVC compound, obtaining for the year 2019 an improvement in all the rheological parameters of the different types of pipe.

KEY WORDS

Polyvinyl chloride, Statistical Analysis, Conforming Product, Quality Assurance, Parameters.



1. INTRODUCCIÓN

La presente investigación surge de la necesidad de realizar un análisis estadístico de datos obtenidos mediante uno de los controles de calidad que se lleva a cabo dentro de la industria de los polímeros, específicamente en la industria del PVC.

Se explica que la palabra polímero deriva del griego 'poli' que significa muchos y 'meros' que significa parte, luego, se infiere que este término se aplica a las moléculas gigantes compuestas por un gran número de unidades monoméricas interconectadas. Hoy en día se acuña a la palabra polímero, como una gran molécula formada por numerosas moléculas más pequeñas. Dentro de esta industria se encuentra el Policloruro de Vinilo, más conocido como PVC.

El Policloruro de Vinilo que en su traducción y siglas es PolyVinyl Chloride (PVC) es considerado como el plástico más versátil y su producción es solo superada por la del polietileno. Sus usos se enfocan en el sector de la construcción ⁽¹⁾

Dentro de la industria del PVC, el control de calidad más importante que se realiza, es el análisis reológico, procedimiento mediante el cual se estudian distintos parámetros del compuesto PVC cuando se encuentra a punto de entrar a la máquina extrusora, misma que se encarga de producir la tubería como producto final.

Los parámetros a tener en cuenta al llevar a cabo la reología son: Tiempo de fusión y Tiempo de Degradación, Torque de Fusión y Torque de Degradación, Temperatura de Fusión y Temperatura de Degradación. Estos valores son analizados para determinar si hay variaciones en los mismos y así llegar a conocer si existen fallas en el proceso o producto no conforme a los estándares de calidad exigidos.

Cabe resaltar que los conceptos anteriormente mencionados, se explicarán a mayor profundidad más adelante, no obstante, lo anterior, al hacerse una idea de lo brevemente expuesto, se explica que el contenido de esta investigación es el análisis estadístico de aquellos parámetros provenientes de la reología, tomados en la empresa PVC GERFOR S.A, en el periodo de tiempo correspondientes al año 2018 e inicios de 2019, con el fin de mejorar los estándares de producción. Datos analizados en el transcurso de la pasantía industrial adelantada en las instalaciones de esa misma empresa.



2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A medida que la industria se ha desarrollado a escala global, se ha podido evidenciar claramente, la necesidad de hacer uso de las nuevas tecnologías y herramientas a menor escala, para así poder disminuir fallos, uso de insumos y costos operativos, entre otros factores, con el propósito de mejorar los sistemas de producción en una planta. Dentro de este contexto, se hace necesario realizar trabajos como el enmarcado en este proyecto, en donde se va a hacer uso de herramientas estadísticas, para realizar el control de calidad de producto PVC, a partir de los cuales no solo se identificarán las causas de ciertos problemas, sino que se logrará una disminución de fallas que puedan tener los compuestos o materias primas, trayendo consigo la disminución de costos operativos en la planta de producción, con el consecuente ahorro de tiempo e insumos para la empresa, aumentando así su productividad.

La problemática a la que se intentó dar respuesta por medio del desarrollo de este trabajo investigativo, puede sintetizarse en resolver la siguiente pregunta.

¿Cómo lograr un mejor control estadístico en el proceso de elaboración de compuesto PVC que permita reducir la mala utilización de la materia prima y las pérdidas monetarias generadas?

Pregunta a la que se le dará respuesta con los resultados obtenidos en la presente investigación y expuestos más adelante.

3. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo se realiza con el fin de mejorar el nivel de productividad manejado por el área, adicionalmente minimizar los diferentes efectos generados por la materia prima, método, mano de obra, mediciones, maquinaria y medio ambiente en el proceso; factores internos o externos que disminuyen los niveles de productividad, aumentan los reprocesos del área e incrementan los costos de producción. Esta propuesta da solución y genera más eficiencia en el proceso, lo cual se verá reflejado en una mayor rentabilidad.

Al no tener un correcto control estadístico del proceso se puede tener:

- Mala utilización de la materia prima



- Producto fuera de especificación
- No cumplimiento de los requisitos del cliente interno y externo
- No conformidades potenciales dentro del Sistema de Gestión de Calidad
- Costos de producción excesivos
- Incremento de material a reprocesar

Lo que claramente nos muestra que hoy en día llevar ese control estadístico es la forma correcta de comenzar a corregir los errores desde la base de cualquier problema, debido las graves consecuencias que se pueden ocasionar si no se busca dar solución a las problemáticas del proceso.

4. MARCO TEÓRICO

Se define polímero, como una gran molécula formada por numerosas moléculas más pequeñas. Estas moléculas grandes pueden ser lineales, ligeramente ramificadas o altamente interconectadas. En este último caso, la estructura se desarrolla en una gran red tridimensional. ⁽²⁾

Las moléculas pequeñas utilizadas como bloques de construcción básicos para estas moléculas grandes se conocen como monómeros. Por ejemplo, el policloruro de vinilo, material comercialmente importante, está hecho del monómero de cloruro de vinilo. ⁽²⁾

Algunos ejemplos de plásticos de aplicación industrial y comercial de los productos poliméricos se pueden agrupar de acuerdo a su uso en diferentes formas, las más generales se describen a continuación. Envase y empaque, consumo, construcción, muebles, eléctrico-electrónico, transporte, adhesivos y recubrimientos, médico y agrícola, entre otros usos.

Los polímeros, a su vez, también tienen propia clasificación. En primer lugar, tenemos el Polietileno (PE), polímero que se obtiene a partir del etileno, el cual es un óptimo aislante eléctrico. Su empleo va desde los domésticos a los juguetes, al revestimiento de cables, botellas, a películas de embalaje, a las sierras para de uso agrícola a las tuberías. Las dos variedades comerciales más conocidas de este polímero son el polietileno de baja densidad (LDPE) y el de alta densidad (HDPE). La diferencia en sus propiedades y aplicaciones vienen dadas por el grado de cristalinidad que cada



uno puede alcanzar. ⁽³⁾

El LDPE, posee una estructura muy ramificada y por ende una baja cristalinidad. Sus principales aplicaciones son la fabricación de bolsas plásticas, tuberías y recubrimiento para cables. Por su parte el polietileno de alta densidad, que posee una mayor cristalinidad debido a su estructura prácticamente lineal, encuentra aplicaciones como tuberías, recipientes, enseres domésticos, aislamiento para cables, juguetes y asientos para uso público, entre otras.

El Polipropileno (PP) se obtiene mediante la polimerización del propileno. Cuando ésta se lleva a cabo por procesos de Ziegler-Natta se obtiene un polímero altamente estereorregular con un contenido de al menos 90% de polímero isotáctico. En términos generales las propiedades del PP son similares a las del HDPE. Se emplea para la elaboración de fibras para cuerdas, artículos textiles y películas para empaque de alimentos

En el Poliestireno (PS) la polimerización industrial del estireno se lleva a cabo mediante radicales libres con la ayuda de peróxidos. El poliestireno obtenido de esta manera es fundamentalmente atáctico. Existen tres tipos de poliestireno comercial: el poliestireno de alto impacto, empleado, por ejemplo, en la fabricación de vasos plásticos desechables, el poliestireno cristal que se emplea en la fabricación de recipientes y el poliestireno expandible que se usa entre otras cosas como material de empaque. La copolimerización del estireno con butadieno produce un caucho sintético con propiedades análogas al caucho natural.

El Polimetilmetacrilato (PMMA), al igual que otros polímeros vinílicos es un material amorfo y su propiedad más destacada es que posee características ópticas base, lo que hace que una de sus principales aplicaciones sea como sustituto del vidrio, también tiene aplicaciones en la construcción civil, mobiliario, señalización, industria automovilística, náutica, electrodomésticos y material para laboratorio.

El Politetrafluoroetileno más conocido como teflón es un material tenaz, flexible y de gran resistencia química y térmica, es además un excelente aislante térmico. Su uso se restringe a aplicaciones técnicas tales como sellantes, aislante eléctrico, recubrimientos inertes y válvulas. Estos materiales tienen su principal aplicación en la fabricación de fibras, sin embargo, muchos de ellos debido a su versatilidad, pueden ser usados en la fabricación de piezas de plástico, como ejemplo, se tiene el nylon-6,6, material industrial que se usa en la fabricación de rodamientos y engranajes. En



general, los plásticos de poliamida se usan para la fabricación de componentes y partes para automóviles y camiones.

El Polietilén tereftalato (PET) se emplea en la fabricación de botellas de refresco y películas para envoltorios. Son plásticos termoestables.

Las Resinas fenol formaldehído se preparan por una reacción de condensación entre el fenol y el formaldehído que forman polímeros con un grado de entrecruzamiento que puede ser controlado. Su principal aplicación es la producción de piezas eléctricas de muy diferente uso. Las resinas urea formaldehído tienen aplicaciones similares a las anteriores y muchas veces se prefieren a las primeras cuando la presentación del material es un factor por considerar. Las resinas epoxi, los poliuretanos y los poliésteres insaturados, también son materiales plásticos con infinidad de aplicaciones.

El policarbonato (PC) ha sido utilizado por los astronautas que se han posado en la luna, en los cascos, vidrios para ventanas, puertas de seguridad para los bancos, esferas para postes de luz (arbotantes), y escudos de protección para las fuerzas de policía.

Los poliuretanos (PU) se utilizan en forma flexible para fabricar cojines, colchones, muebles, revestimientos de tejidos, y en forma rígida son usados en la industria automovilística, la construcción civil y en muebles. Pueden sustituir al cuero y a la madera en la fabricación de revestimientos. Son un aislante térmico y acústico de óptima calidad.

Las resinas de poliéster son utilizadas en la fabricación de partes de autobuses, furgones, máquinas agrícolas, campers, vagones de ferrocarril. Hay numerosos otros empleos que van desde los botones a los trineos, desde los aislantes eléctricos hasta los artistas utilizan las resinas de poliéster. ⁽³⁾

El policloruro de vinilo en términos de producción mundial es uno de los tres polímeros más importantes en uso actual, los otros dos son el polietileno y el poliestireno. El PVC tiene numerosos usos, el más importante de ellos, es la fabricación de tubería PVC, incluyendo asilamiento de cables, empaques y juguetes. Se ha demostrado que el PVC tiene una estructura de cabeza a cola. La evidencia experimental típica de esto es cuando se disuelve dioxano y se trata con polvo de zinc, se somete a una reacción de tipo Wurtz para obtener un producto que contiene una pequeña cantidad de cloro



y ninguna instauración detectable. La estructura alternativa posible, los arreglos de cabeza a cabeza, son sitios insaturados donde se eliminan los átomos de cloro adyacentes.

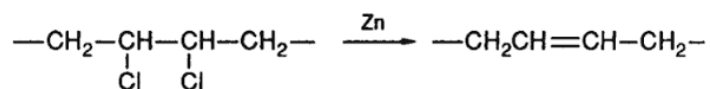



Ilustración 1. Estructura molecular del PVC

El PVC no compuesto es incoloro y rígido, posee poca estabilidad frente al calor y la luz, de hecho, el PVC es ciertamente el menos estable de los polímeros comerciales de alto tonelaje. La exposición a la luz o al calor a temperaturas muy por debajo del punto de reblandecimiento provoca una serie de cambios incomprensibles. Inicialmente, la decoloración es evidente, ya que el polímero se vuelve amarillo y pasa progresivamente a través del ámbar profundo al negro al aumentar el tiempo de exposición. Al mismo tiempo, el material se vuelve cada vez más frágil.

Estos cambios son causados por el polímero en proceso de deshidrocloración, la pérdida de HCl a lo largo de la columna vertebral. Dicha pérdida es autocatalítica, y puede continuar hasta que haya solamente rastros de cloro en la macromolécula. Tiene el efecto de reducir la flexibilidad molecular y de permitir la absorción de luz en la parte visible del espectro electromagnético. Estas alteraciones en las características moleculares conducen a los cambios observados en las propiedades del polímero a granel.

Para fabricar artículos de PVC y luego usarlos en lugares donde se expondrán a la luz solar, es necesario agregar estabilizantes en la etapa de separación. Se ha utilizado una gran cantidad de productos químicos como estabilizantes para el PVC, incluidos los jabones de plomo, los lauratos de bario y cadmio y los compuestos de organoestaño como el di-iso-octiltioglicolato de estaño. Estos últimos compuestos, las organosulfurtinas, son relativamente costosos, pero se utilizan donde la buena claridad y la ausencia de color son importantes en el compuesto final de PVC.

Los mecanismos de degradación y el modo de acción de los diversos estabilizantes de PVC han sido ampliamente estudiados. A menudo, al menos un aspecto de su operación es algún tipo de reacción con la primera traza de cloruro de hidrógeno envuelta. Esto elimina lo que de otro modo actuaría como catalizador para una mayor deshidrocloración, y por lo tanto retrasa significativamente el proceso de degradación. Además, muchos estabilizantes son capaces de reaccionar a través de cualquier doble

	Propuesta trabajo de grado, Departamento de Ingenierías Q.C.A.	Código	1.1 00
		Página	2 de 50

enlace formado, invirtiendo así el proceso que causa la decoloración y la fragilidad (ibíd., p 13)

A continuación, se mostrará un diagrama de flujo de proceso detallado, de la fabricación de tubería PVC.

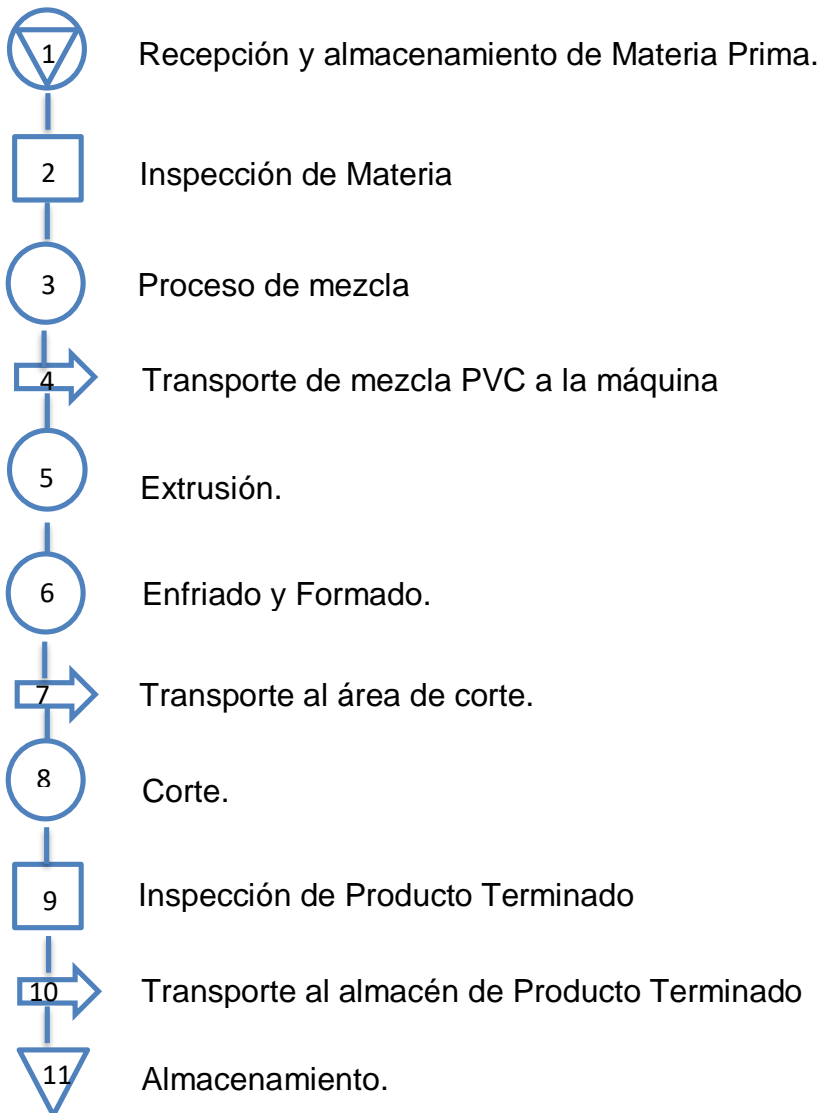


Imagen 1. Diagrama de Flujo de Proceso de Fabricación de Tubería PVC. ⁽⁴⁾

1) Recepción y Almacenamiento de Materia Prima

Como materia prima, se tienen las resinas, estabilizantes, lubricantes; que pueden ser externos (ceras polietilénicas), bifuncionales (ceras parafínicas) e internos, cargas o rellenos y finalmente los pigmentos. Estas materias primas se deben seleccionar dependiendo de la tubería que se desee fabricar.

2) Inspección de la Materia Prima

Se deben verificar las características de la materia prima como: son la viscosidad, el contenido de plomo, estaño, contenido de resina o valor k, densidad, humedad,



fluidez, entre otros, la cual es realizada por los inspectores del laboratorio de conformidad en materias primas.

3) Proceso de Mezcla para PVC

A la hora de realizar el proceso de mezcla, es fundamental tener en cuenta en el turbomezclador, las temperaturas y la cantidad específica de cada materia prima.

La resina es la primera en la mezcla, a partir de ella y de la subida de temperatura se adicionan los otros compuestos, finalmente se agregan las cargas o rellenos buscando una temperatura de aproximadamente 110°C, donde se debe dejar enfriar antes de llevar al proceso de extrusión.

4) Transporte del compuesto PVC a la máquina extrusora

El compuesto PVC se presenta en forma granular uniforme o en polvo, su presentación puede ser en sacos o bolsas de plástico de 25 kg, aunque puede variar según las necesidades del comprador. El lugar de almacenamiento tiene que ser fresco.

Los sacos que contienen la materia prima, son transportados con un montacarga o una banda transportadora a la máquina extrusora o extruder. (ibíd., p 14)

5) Extrusión

La extrusión es el método de transformación de termoplásticos que les confiere forma, forzando su pasaje a través de una abertura cuyo diseño está relacionado con la forma. Esta forma está limitada a dos dimensiones, es decir se desarrolla en el plano perpendicular al eje del movimiento del material.


Dado que los termoplásticos son sólidos a la temperatura ambiente, el equipo de extrusión debe encargarse de convertirlos en un fluido de viscosidad apropiada, por calentamiento y mezclado o amasado, y dotar a esa masa fluida de la presión suficiente para ser forzada por la sección de extrusión.

Los granos de PVC se vierten en la tolva de alimentación la cual tiene cierto ángulo de inclinación para facilitar su deslizamiento. El material baja por la tolva hasta la garganta de la misma, pasa a través de ésta y llega al cilindro de la máquina.

El cilindro aloja a un husillo que se divide en tres zonas: alimentación, transición o compresión y descarga.

En la zona de alimentación el husillo toma el material que se encuentra en forma de grano o polvo, lo transporta, lo comprime, lo precalienta a 140 °C y lo envía a la zona de compresión.

La zona de transición o compresión es así llamada debido a que aquí se efectúa la transición del termoplástico sólido a su estado viscoelástico. En esta zona no sólo se tiene que plastificar o fundir el material, sino que lo debe transportar a la zona de descarga como una masa fundida compacta y libre de burbujas de aire o de algún otro componente volátil. El calentamiento se produce por medio de resistencias eléctricas. En esta zona la temperatura debe ser de 170 °C.

	Propuesta trabajo de grado, Departamento de Ingenierías Q.C.A.	Código	1.1 00
		Página	2 de 50

La zona de descarga es la parte final del husillo que acepta el material plastificado proveniente de la zona de compresión, para homogeneizarlo, calentarlo eventualmente y enviarlo al cabezal, en esta área la temperatura varía entre 150 y 180 °C.

En el cabezal es donde se le da forma al tubo; esto se hará mediante un dado que le da forma a la parte exterior del tubo y un mandril le da forma al interior, el cabezal también tiene calentamiento para mejorar la plastificación del material. Una vez que pasa el material plastificado por el cabezal, sale con la forma de tubo pasando por el calibrador el cual da las dimensiones específicas al tubo. ^(ibíd., p 15)

6) Enfriado y Formado

Después del paso antes mencionado el tubo todavía caliente pasa por una tina de enfriamiento que tiene circulación de agua y enfría el material hasta hacerlo completamente rígido. Esta tina también contiene un formador que es el que le va a proporcionar la redondez definitiva al tubo.

7) Transporte a corte

Una vez que sale el tubo de la tina de enfriamiento completamente rígido pasa por un sistema de tiraje para lo cual se utiliza un jalador o puller el cual hará la función de jalar al tubo hacia el sistema de corte. Existen varios tipos de jaladores, los más comunes son los de orugas y los de llantas. Este transporte jalador además tiene la función de controlar el espesor de la tubería mediante la regulación de velocidad con lo que se pueden obtener tubos con paredes de diferente espesor.

8) Corte

El corte de los tubos se realiza una vez efectuada la medición de la longitud que tendrá el tubo, mediante la utilización de sierras de mano o eléctricas, que se van desplazando con el tubo mientras dura la operación y regresan manual o automáticamente al punto de medición una vez realizado el corte.

Cuando se fabrica tubo, cementar el proceso se termina en este punto, pero en el caso de fabricar tubería que lleva espiga o campana entonces pasa al departamento de acampanado en donde se realizan operaciones de achaflanado (espiga) y acampanado de los tubos para facilitar la inserción de los mismos.

9) Inspección del producto terminado

Aquí se realizan pruebas a una muestra del producto terminado, estas pruebas incluyen; peso, aplastamiento, impacto, espesor del cuerpo, presión mínima de reventamiento, longitud, presión sostenida a 1000 horas, absorción de agua, resistencia química, combustibilidad, deflexión por temperatura, etc. En el caso de que un lote no cumpla con las especificaciones requeridas el material puede molerse y reciclarse, recuperándolo en nuevos tubos.



10) Transporte al Almacén de Producto Terminado

Si la tubería cumple con las especificaciones de control de calidad, entonces pasa al almacén de producto terminado. El producto se transporta por medio de montacargas, siendo amarrados los tubos previamente.

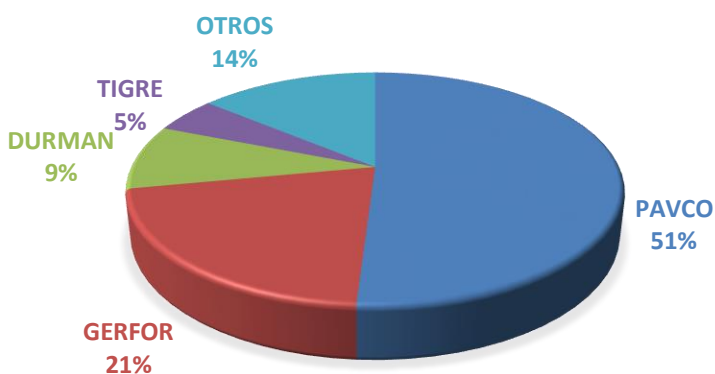
11) Almacenamiento

El producto terminado es almacenado y dispuesto para su venta. (ibid., p 16)

Mercado de PVC en Colombia

A continuación, se observará un diagrama circular, en donde se podrá realizar el análisis de cómo se encuentra distribuida la producción de PVC en Colombia y quiénes son sus principales líderes.

PORCENTAJE DE VENTAS EN LA INDUSTRIA DEL PVC EN COLOMBIA



Fuente: Superintendencia De Sociedades En Colombia

Gráfica 2. Distribución de Ventas de la Industria del PVC en Colombia.

Esta gráfica muestra los líderes nacionales de las ventas de la industria del PVC, donde PAVCO, abarca un 51% de las ventas, mientras GERFOR tiene el 21%, estas dos empresas, son las más representativas de la industria colombiana, han tenido una guerra constante por buscar quien es el líder del mercado. Debido a la última alianza de PAVCO con la empresa mexicana conocida como Mexichem, es quien la hace merecedora de este gran título por la cantidad de avances gracias a las ayudas monetarias que Mexichem le ha ofrecido. Por su parte GERFOR, se encuentra en constante cambio y evolución y sus plantas de Perú y Guatemala están en búsqueda



de ser líderes en dichos países y finalmente en tener la producción, venta y comercialización líder en Colombia.



Ilustración 2. Planta de P.V.C GERFOR S.A Colombia ⁽⁶⁾

P.V.C GERFOR S.A es una multinacional 100% colombiana con 50 años de experiencia en la producción y comercialización de tuberías y accesorios de PVC, grifería de uso doméstico, tejas en PVC y geosistemas; con presencia en diferentes países de Latinoamérica. Exporta productos a más de 10 destinos dentro de América y ofrece soluciones de altísima calidad para el uso eficiente del agua, comprometidos con el bienestar, desarrollo y riqueza en campos y ciudades de todos los países en los que Gerfor tiene presencia. Cuenta con plantas de producción en Cota – Colombia, Perú y Guatemala; y centros de distribución en El Salvador y Honduras. ⁽⁵⁾

Teniendo en cuenta que el polímero a estudiar es el PVC, dentro de su amplio campo de estudio se tiene la extrusión de polímeros, la cual es un proceso industrial, aunque también se puede utilizar a escala laboratorio, en donde se realiza una acción de prensado, moldeado del plástico, que, por flujo continuo de presión y empuje, se hace pasar por un molde encargado de darle la forma deseada.

El polímero fundido (o en estado ahulado) es forzado a pasar a través de un dado también llamado boquilla, por medio del empuje generado por la acción giratoria de un husillo (tornillo de Arquímedes) que gira concéntricamente en una cámara a temperaturas controladas llamada cañón, con una separación milimétrica entre ambos elementos. El material polimérico es alimentado por medio de una tolva en un extremo de la máquina y debido a la acción de empuje se funde, fluye y mezcla en el cañón y se obtiene por el otro lado con un perfil geométrico preestablecido. ^(ibíd., p 17)

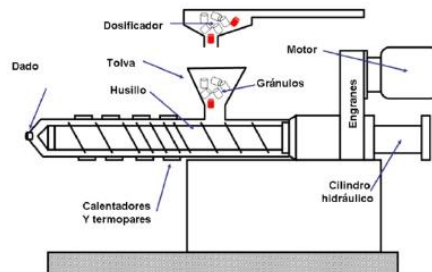


Ilustración 3. Diseño Genérico de un extrusor. (ibíd., p 18)

Propiedades básicas de flujo de polímeros

Es importante tener en cuenta, las propiedades mediante las que un polímero se rige dentro de la industria, mismas que se puede clasificar en dos. Flujo a través de un canal simple y a través de canal rectangular. En el Canal simple, el método utilizado en el procesamiento del PVC, para modelar el flujo de polímero que fluye a través de un canal, es necesario comenzar con ciertas consideraciones que podrían resumirse:

- En las paredes del canal el flujo es igual a cero
- El fluido fluye constante independientemente del tiempo
- En todo lo largo del canal, el perfil de flujo permanece constante
- La fuerza de gravedad es despreciable

Muchos problemas ingenieriles de flujo pertenecen a uno de estos dos grandes grupos: flujo en conductos, como por ejemplo el que ocurre en el bombeo de petróleo por tuberías, flujo de agua en canales abiertos, flujo de un fluido a través de un filtro y extrusión de plásticos, procedimiento objeto de estudio. Para el flujo alrededor de objetos sumergidos, por su parte, tenemos el movimiento de aire alrededor de las alas un avión, movimiento de fluidos alrededor de partículas de sedimentación y flujo a través de una bancada de tubos en un intercambiador de calor.

En los problemas de flujo en conducciones se trata generalmente de obtener la relación existente entre la caída de presión y la velocidad volumétrica de flujo. En los problemas de flujo alrededor de objetos sumergidos, lo que frecuentemente se desea conocer es la relación entre la velocidad de aproximación del fluido y la fuerza resistente. (ibíd., p 18)

El concepto bajo el cual la empresa PVC GERFOR S.A tiene al PVC (Policloruro de vinilo) es una combinación química de carbono, hidrógeno y cloro, el cual se obtiene por polimerización del cloruro de vinilo.



Las resinas de PVC se pueden producir mediante cuatro procesos diferentes: Suspensión, emulsión, masa y solución. La resina de PVC resultante de la polimerización es la más versátil de la familia de los plásticos, ya que además de ser termoplástica se pueden obtener productos rígidos y flexibles.

Por otro lado, se encuentra, el compuesto de PVC, el cual es una mezcla seca homogénea de resina de PVC más la adición de aditivos tales como: Estabilizantes, estearatos, ceras parafínicas, ceras polietilénicas, carbonatos de calcio, modificadores de impacto, ayudas de proceso, pigmentos, estabilizadores UV.

El policloruro de vinilo (PVC) es una combinación química de carbono, hidrógeno y cloro. Sus materias primas provienen del petróleo (en un 43%) y de la sal común (en un 57%). Se obtiene por polimerización del cloruro de vinilo, fabricado a partir de cloro y etileno. El PVC es un material termoplástico, es decir, que bajo la acción del calor se reblandece y puede así moldearse fácilmente; al enfriarse recupera la consistencia inicial y conserva la nueva forma. Pero otra de sus muchas propiedades es su larga duración.



Ilustración 4. Tubería de PVC GERFOR S.A ⁽⁸⁾

Por este motivo, el PVC es utilizado a nivel mundial en un 55% del total de su producción en la industria de la construcción. El 64% de las aplicaciones del PVC tienen una vida útil entre 15 y 100 años, y es esencialmente utilizado para la fabricación de tubos, ventanas, puertas, persianas, muebles, etc. Un 24% tiene una vida útil entre 2 y 15 años (utilizado para electrodomésticos, piezas de automóvil, mangueras, juguetes, etc.). El resto 12% es usado en aplicaciones de corta duración, como, por ejemplo, botellas, tarros herméticos, película de embalaje, etc., y tiene una vida útil entre 0 y 2 años. La mitad de este porcentaje (un 6%) es utilizado para envases y embalajes, razón por la que el PVC se encuentra en cantidades muy pequeñas en los residuos sólidos urbanos (RSU), tan sólo el 0,7%. (ibid., p 19)



Esta cantidad de envases y embalajes de PVC presente en los RSU, unido a la composición cualitativa de los mismos (no presencia de metales pesados), permite convenientemente la recuperación por valorización energética (incineración), además de la recuperación por reciclaje mecánico. Las propiedades del PVC que hicieron que tuviera un lugar privilegiado dentro de los plásticos son que era considerado: ligero; inerte y completamente inocuo; resistente al fuego no propaga la llama; impermeable; aislante térmico, eléctrico y acústico; resistente a la intemperie; de elevada transparencia; económico en cuanto a su relación calidad-precio y reciclable. Sin embargo, ya no se le identifica como un buen protector de alimentos y otros productos envasados, incluso tuvo lugar en aplicaciones médicas. (ibid., p 20)

5. ANTECEDENTES

En la empresa PVC GERFOR S.A, se han llevado a cabo diferentes mejoras y estudios en los distintos procesos y áreas que la empresa posee, por ello, es de vital importancia, mencionar los diferentes artículos realizados.

A nivel regional, se realizó un estudio en el año 2018 titulado: “Plan de mejora del proceso de mezclas en la planta de producción PVC GERFOR S.A” el cual consistió principalmente en mejorar los tiempos y métodos en el proceso de fabricación junto con minimizar la carga laboral de los operarios mediante la simplificación de las operaciones que realizan para la ejecución del proceso de mezclas, en donde al finalizar se propuso diferentes acciones de mejora, que según un estudio exhaustivo, mejoraría notablemente el rendimiento en el área.⁽⁹⁾

A nivel internacional se tienen en cuenta dos trabajos de suma importancia, el primero de ellos es un trabajo de la Universidad técnica de Ambato, titulado: “Análisis de la capacidad Estadística del proceso de extrusión del perfil machihembrado en la planta PETROCASA Perfiles I”, el cual fue realizado en PETROCASA, Guacara, Venezuela en donde se realizó el estudio del comportamiento y análisis de la capacidad del proceso de extrusión del perfil machihembrado y se aplicaron métodos de control estadísticos de procesos usando como herramienta el software MINITAB 17, y posteriormente se llevó a cabo la evaluación económica a través del método del valor presente neto (VPN) para alternativas múltiples. La aplicación de las herramientas estadísticas permitió determinar que la variable peso por metro lineal se encontraba por encima de las especificaciones del fabricante, por lo tanto, el proceso tiene pérdidas económicas significativas. Finalmente, se concluyó que al menos una de las



tres herramientas existentes, deben ser sustituidas para aumentar la productividad del proceso. ⁽¹⁰⁾

Por otro lado, se realizó un trabajo en la Universidad de Cuenca en Ecuador titulado: “Elaboración de un Sistema Informático para el Control Estadístico del Proceso en la Fábrica de Tubos Plásticos Rival”, El trabajo realizado fue un programa para el control de calidad, aplicado a las variables determinadas en la norma INEN, que se manejan en la fábrica de tubos Plásticos Rival, se realizó 100% en Excel, utilizando herramientas de programación básica, pero enfocada a la toma de decisiones a partir de datos recolectados diariamente de las variables. La herramienta informática convierte datos puntuales a un sistema de información de fácil utilización e interpretación cuya aplicación será de gran utilidad para la toma de decisiones y así contribuir al mejoramiento continuo de toda la empresa. Los resultados obtenidos mejoran la interpretación de los datos y su toma de decisiones, además de ayudar a mejorar la comunicación entre el área de calidad y producción, y mantener un proceso totalmente controlado. ⁽¹¹⁾

6. MARCO CONCEPTUAL

Teniendo en cuenta como la empresa PVC GERFOR S.A trabaja con el PVC, cabe resaltar algo muy importante como lo es la reología, la cual es un concepto indispensable dentro de la empresa y es por definición, la ciencia de la deformación y el flujo de la materia. El comportamiento reológico de los polímeros implica varios fenómenos muy diversos que pueden relacionarse en algún grado con diferentes mecanismos moleculares. Estos fenómenos y sus principales mecanismos asociados o propiedades mecánicas de los polímeros amorfos son los siguientes:

Flujo viscoso, es la deformación en masa irreversible del material polimérico asociada al deslizamiento irreversible, unas sobre otras, de las cadenas moleculares.

Elasticidad de los cauchos y afines, en la que se conserva la libertad de movimiento local asociada a los movimientos de cadena a pequeña escala, pero están impedidos los movimientos a gran escala (flujo) por la restricción de una estructura reticular difusa.

Viscoelasticidad, en la que la deformación de la muestra de polímero es reversible, pero depende del tiempo y está asociada (como la elasticidad en el caucho) con la distorsión de las cadenas de polímero a partir de sus conformaciones de equilibrio,



por un movimiento activado de los segmentos que implican rotación alrededor de los enlaces químicos.

Elasticidad de Hooke, en la que el movimiento de los segmentos de la cadena esta drásticamente restringido y probablemente solo implica alargamiento de los enlaces y deformación de los ángulos de enlace: el material se comporta como un cristal ⁽¹²⁾



Ilustración 5. Reómetro de torque ⁽¹³⁾

El reómetro de torque Brabender Plastograph EC / EC plus, es un reómetro de par con cabezal de medición para la investigación de materiales y el control de calidad. Este equipo mide: la velocidad, par y temperatura; las propiedades y comportamiento de fusión; diferentes evaluaciones como el comportamiento de fusión, la estabilidad al calor y al cizallamiento, la absorción de plastificantes de mezclas secas de PVC, etc.

Esto es importante, en la medida de que los valores calculados se refieren al comportamiento del material y permiten sacar conclusiones sobre las propiedades reológicas. Así mismo, existe una fácil repetición de la configuración del dispositivo para el desarrollo de mezclas y la posibilidad de procesos de alto nivel.

Los campos de aplicación de esta prueba son el desarrollo de materias primas y mezclas, los ensayos de materiales, el control de calidad paralelo a la producción, la optimización del proceso de producción, la producción a escala de laboratorio de muestras para su posterior investigación.

Los componentes que forman un reómetro son la medición de par real hasta 200 Nm, conectable con diferentes cabezales de medición (diferentes tipos de mezcladores de medición, extrusoras de medición de Ø 19 mm y extrusoras cónicas de doble husillo CTSE).

El beneficio de la misma, es que permite realizar pruebas de calidad a escala de laboratorio, medir la calidad de la materia prima de antemano y reaccionar

rápidamente a las variaciones de calidad antes de que la materia prima se utilice en la producción, utiliza una cantidad significativamente menor de material para llevar a cabo sus ensayos y configura el sistema de acuerdo con su aplicación específica. Por último, presenta un diseño compacto que permite que el diseño de sobremesa ahorra espacio en su laboratorio

Una muestra en polvo de resina de PVC es adicionada a una cámara de mezcla con rodillos de calentamiento y es transformada en masa fundida. La curva de torque resultante puede ser utilizada para determinar propiedades reológicas de un compuesto de PVC:

- Tiempo, torque y temperatura de Fusión. Tiempo, torque y temperatura de Degradación. Energía específica. Los resultados del método se leyeron directamente en la interfaz del software del reómetro. Con las siguientes unidades: torque en miligramos (mg), temperatura en grados Celsius (°C), tiempo en minutos con segundos (mm:ss) y energía específica en Kilo newton por metro por kilogramo (KNm/Kg.).

Además de la reología, las materias primas y los compuestos, poseen sus propios controles de calidad, es decir, diferentes pruebas que se deben realizar para comprobar su efectividad en el proceso y evitar a futuro pérdidas dentro de la planta, de las cuales se tiene:

Tabla 1. Controles de calidad para Materias Primas. *(ibíd., p 23)*

Resinas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Apariencia ✓ Valor K ✓ Humedad ✓ Densidad aparente
Estabilizantes	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Apariencia ✓ Contenido de estaño ✓ Contenido de azufre ✓ Mezcla y reología para verificación de estabilidad térmica
Estearatos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Apariencia ✓ Mezcla y reología para verificación de fusión
Ceras Parafínicas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Apariencia ✓ Mezcla y reología para verificación de fusión
Ceras Polietilénicas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Apariencia ✓ Mezcla y reología para verificación de fusión



Carbonatos de calcio	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Apariencia ✓ Humedad ✓ Densidad aparente ✓ Recubrimiento de ácido esteárico
Modificadores de impacto	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Apariencia ✓ Cenizas
Ayudas de proceso	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Apariencia
Pigmentos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Apariencia ✓ Mezcla y lamina
Estabilizadores U.V.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Apariencia

La tabla anterior, nos muestra todas las materias primas utilizadas para la elaboración de la tubería PVC, claramente algunas se usan más que otras dependiendo del tipo de tubería o de proceso que se requiera, del lado izquierdo, se muestran los controles de calidad necesarios para que haya conformidad en las materias primas y así continuar con el proceso.

Dentro de estos controles de calidad se destaca la apariencia y la prueba reológica, en esta última, se puede evidenciar cualquier tipo de falla y dependiendo del parámetro afectado en la reología, se puede deducir qué materia prima se debe revisar.

Tabla 2. Controles de calidad para compuesto PVC. (ibíd., p 24)

COMPUESTO	ENSAYOS DE LABORATORIO						
	Apariencia	Reología	Densidad	Fluidez	Humedad	Tamiz	Lamina
Original Extrusión Solidas	X	X	X	X	X		
Original Extrusión Corrugadas	X	X	X	X	X		
Original Extrusión Tejas	X	X	X	X	X		X
Original Inyección	X	X	X	X	X		
Recuperado pulverizado	X	X	X	X	X	X	
Recuperado molido	X					X	

Esta segunda Tabla, nos muestra los controles de calidad para el compuesto PVC, ya fabricado en el área de mezclas, dentro de los compuestos hay seis grupos, cada uno



con un fin distinto. En donde el fin a estudiar, se encuentra en el primer y segundo grupo como los compuestos de Extrusión Sólida y Corrugada.

Una vez se tiene claro el área de muestreo, es necesario estudiar más a fondo sobre los controles de calidad que se deben realizar, dentro de ellos tenemos:

La densidad aparente, que se puede definir como la relación de la masa de una muestra de polvo sin asentar y su volumen. La fluidez, definible como medida del tiempo requerido para que una cantidad estándar de material pase a través de un túnel de dimensiones especificadas; y la humedad, como cantidad de material que emite en forma de gases o vapor de agua de un material sólido cuando es sometido a determinada temperatura.

El tamiz, que se puede determinar el tamaño de partícula y/o determinar si el compuesto presenta contaminación. La lámina se realiza principalmente a los compuestos de Teja transparente y Marfil para aprobación de apariencia

Finalmente, la reología, definida como el estudio de las propiedades de un material que se somete a esfuerzos, aumentando presión y temperatura, con el fin de deformarlo para que obtenga las propiedades de un fluido.

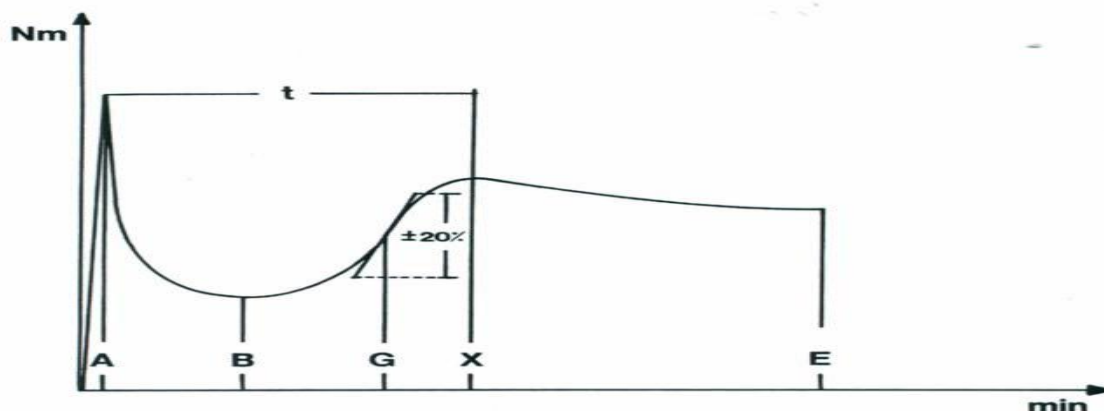



Ilustración 6. Gráfica de una reología con sus diferentes puntos. (ibíd., p 25)

A: Torque de Carga → Fuerza requerida para compactar el material dentro de la cámara del equipo.

B: Torque Mínimo → Fuerza mínimo previo al inicio del proceso de fusión del material.

X: Torque Máximo y= Tiempo de fusión → Características del punto de fusión del material.

G: Punto de inflexión

	Propuesta trabajo de grado, Departamento de Ingenierías Q.C.A.	Código	1.1 00
		Página	2 de 50

La reología nos permite identificar los siguientes parámetros:

- ✓ Tiempo de fusión → Tiempo en que tarda en fundirse el compuesto.
 - ✓ Torque de fusión → Fuerza requerida para fundir el compuesto.
 - ✓ Temperatura de fusión → Temperatura máxima requerida para fundir el compuesto.
 - ✓ Tiempo de degradación → Tiempo en que tarda en degradarse el compuesto.
 - ✓ Torque de degradación → Fuerza requerida degradar el compuesto.
 - ✓ Temperatura de degradación → Temperatura máxima requerida para degradar el compuesto.
- Energía específica → Consumo de energía para llevar a cabo el proceso. ⁽¹³⁾

Para el estudio de la reología, es necesario un reómetro de torque, el cual es un instrumento de laboratorio que se usa para medir la forma en que fluye un líquido, mezcla o suspensión bajo la acción de fuerzas externas. Se emplea para fluidos que no pueden definirse con un único valor de viscosidad y por tanto requieren más parámetros que los que puede proporcionar un viscosímetro. Mide la reología del fluido.

Por último, tenemos las partes del reómetro: cilindro giratorio, cilindro estacionario, resorte de restitución, dial de lectura, conjunto de engranajes, palanca posicionadora de velocidades, perilla, manivela y soporte. ⁽¹⁴⁾

7. OBJETIVOS

7.1 Objetivo General

Establecer las condiciones de operación para el procesamiento de compuesto PVC extruido, mediante el análisis estadístico para los diferentes controles de calidad, para disminuir la fabricación de compuestos no conforme y productos defectuosos.

7.2 Objetivos específicos

- Recolectar la información correspondiente al comportamiento del compuesto generado por los controles de calidad desarrollados.
- Realizar el análisis estadístico de los controles de calidad al compuesto PVC mediante la herramienta de simulación *ajuste de especificaciones 2.2*.



- Elaborar un estudio comparativo de los datos obtenidos con la ayuda de las nuevas especificaciones generadas.
- Obtener mejoras y proponer la optimización del proceso de extrusión, con base en los resultados obtenidos del análisis estadístico, para disminuir la fabricación de compuesto no conforme y productos defectuosos.

8. METODOLOGÍA

8.1 Tratamiento y recolección de muestra

En primer lugar, con ayuda del área de mezclas y de los inspectores de materias primas, se realizó la recolección en planta de muestras por tubería en cada máquina, la cual se hizo de manera diaria durante todo el año. Cabe resaltar, que algunos tipos de tubería se fabrican con mayor frecuencia y volumen, por lo tanto, tienen más datos que otros tipos de tubería ya que se solicitan de forma más irregular.

8.2 Pruebas de Densidad, Fluidez, Humedad y Evaluación Reológica

Para las pruebas de densidad y fluidez, fue necesario utilizar un cono de fluidez y un picnómetro metálico con la ayuda de un cronómetro, midiendo así el tiempo de caída y pesando en la balanza analítica. Por otra parte, para la prueba de humedad fue necesario un horno junto con un desecador y una balanza con resolución de 0,01g de precisión, la cual se calculó por diferencia de pesos.

La evaluación reológica de materias primas y compuestos se llevó a cabo con la ayuda del reómetro de torque marca Plastógrafo EC Plus Brabender y el manual de *Determinación Reológica de Materias Primas y Compuestos.*⁽¹⁵⁾

Allí, se tuvo en cuenta la tolva de alimentación de acero, una pesa de 5 Kilogramos (Kg.) de acero, guantes Aislantes, un cepillo de bronce, espátula en bronce, y pistón de Acero. Todos estos materiales fueron indispensables a la hora de llevar a cabo el trabajo realizado a la hora de obtener los parámetros reológicos.

En cuanto a los reactivos, se usó el Compuesto de PVC, formulado con la mezcla variable de Resina de PVC, estabilizante térmico, lubricantes, ayuda de proceso,



modificadores de impacto, pigmentos y rellenos, el cual era un compuesto por máquina para cada día de los diferentes tipos de tubería que existen.

Los compuestos de PVC estudiados, son compuestos de extrusión que se nombran a continuación.

1. Tubería Perfilada
2. Tubería Presión
3. Tubería Conduit
4. Tubería Sanitaria
5. Tubería CPVC
6. Tubería Alcantarillada Gris
7. Tubería Predial
8. Tubería TDP 3"
9. Tubería TDP 6"
10. Tubería Drenaje
11. Tubería Presión Grandes Diámetros
12. Tubería Ventilación 3-4
13. Tubería Ventilación 1-2
14. Tubería Alcantarillada Grandes Diámetros
15. Tubería Tubeco Conduit
16. Tubería Tubeco Sanitaria
17. Tubería Ducto
18. Compuesto Tubería Alcantarillada Grandes Diámetros 34 PHR
19. Compuesto Tubería Alcantarillada Grandes Diámetros 40 PHR

Para la ejecución del ensayo de reología, se encendió el reómetro junto al computador con el software del mismo. Donde se inició el programa del reómetro y se asignó un nuevo archivo con el nombre del compuesto a analizar y nombre del operador. Se precalentó el reómetro hasta que alcanzara una temperatura de stock de 188 °C y de controles de 190 °C.

En seguida se pesaron 60 g de muestra de Compuesto de PVC donde se llevó a la tolva de alimentación sobre la cabeza del reómetro. Se colocó el pistón dentro de la tolva y encima de este la pesa, cuando la curva de torque indicó que se había alcanzado el máximo torque de fusión se retiró la tolva y el peso.

Se continuó con el proceso hasta que el torque de equilibrio desarrolló un estado



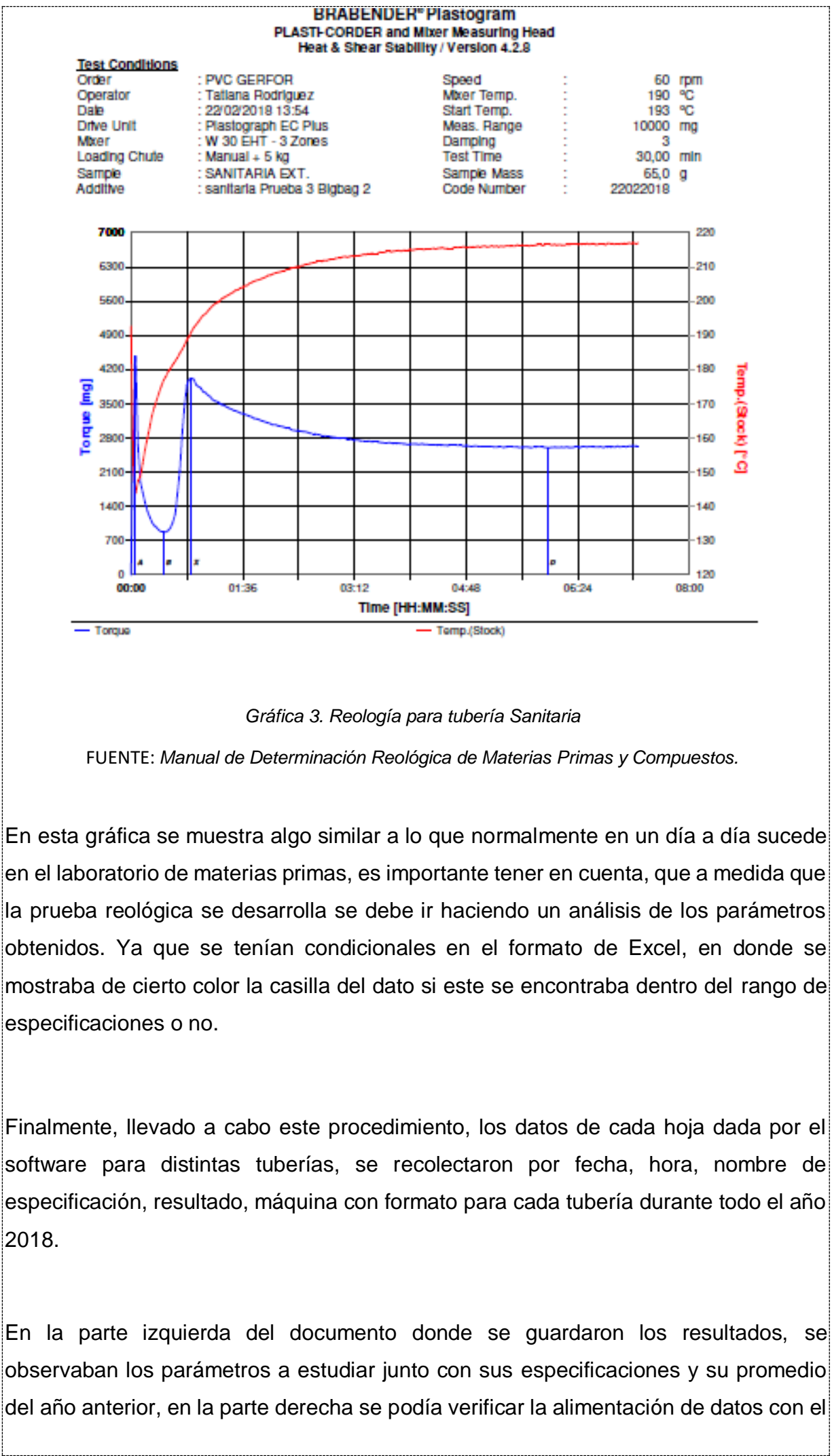
estable, es decir donde se observó un incremento pronunciado en la pendiente de la curva. En ese momento, se detuvo el reómetro, se abrió la cámara, y finalmente se extrajo el compuesto fundido con precaución, ya que se encontraba caliente.⁽¹⁵⁾

Los ensayos se realizaron en el laboratorio de conformidad en materias primas de P.V.C. GERFOR S.A. junto al Inspector de Materias Primas o el Inspector de Conformidad. Toda la información recolectada de este ensayo se llevó a la organización de la data donde se recolectó por un año.

8.3 Análisis y Recolección de Data

Para el análisis fue necesario utilizar el software del reómetro (confidencialidad por parte de la compañía) con el cual, al generar la gráfica del compuesto, se localizaron todos los parámetros que se mencionaron anteriormente para estudiarlos (tiempo de degradación y fusión, torque de degradación y fusión, temperatura de degradación y fusión).

Una vez localizados los puntos dentro la gráfica, se procedió a obtener una hoja de datos por el software donde resultaron los datos lo más posiblemente exactos para los parámetros deseados.



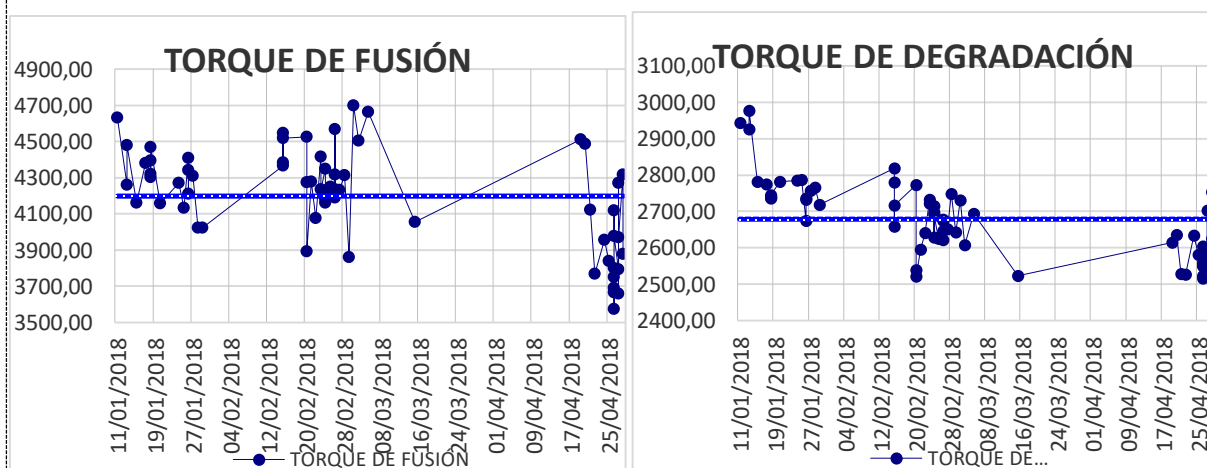


nombre del inspector, fecha y algo muy importante, cuando la casilla se coloreaba de rojo por el condicional que tenía, el resultado obtenido se salía de los parámetros, por el contrario, cuando se coloreaba de blanco, era porque cumplía con las especificaciones deseadas.

8.4 Generación de Nuevas Especificaciones

Se ejecutó el análisis de la información recolectada y la realización de nuevas especificaciones o parámetros, con ayuda de la herramienta de simulación que tiene por nombre *ajuste de especificaciones 2.2* La herramienta utilizada para la generación de las nuevas especificaciones, fue elaborada anteriormente por uno de los practicantes que allí se encontraban y lo que se hizo fue lo siguiente:

Para formar las bases de las nuevas especificaciones, donde el fin, era hacer una limpieza o eliminar aquellos datos del año 2018 donde presentaron fallas, o un producto no conforme, para ello se tuvo en cuenta, aquellos datos que se encontraban de forma incoherente fuera del rango de especificaciones planteada para ese año, fue necesario realizar esta limpieza también, con ayuda de las gráficas que se obtuvieron de estos datos.



Gráfica 4. Gráfica de Base de datos recolectada de la herramienta de simulación.

Estas gráficas fueron de gran ayuda, ya que facilitaron el trabajo de la eliminación de datos.

Para llevar a cabo la limpieza, no se tenía un rango predeterminado de desfase, simplemente aquel dato que estuviese muy alejado de su promedio, es decir, picos



muy altos o puntos demasiado bajos para el promedio, se eliminaban, buscando así resultados ideales.

Adentrándose a la herramienta de simulación, para ello, fue necesario completar los datos de los parámetros del año 2018 y es allí donde inicialmente se comenzó a buscar esa mejora.

En la última parte de la herramienta, se tiene un instructivo, el cual orientó para la realización de las nuevas especificaciones. Es importante tener en cuenta que hay un ítem que habla de la selección de propuesta, allí hay ciertas opciones que arrojan resultados a veces similares y otras veces alejados entre sí del resultado esperado, para elegir la mejor opción es necesario tener en cuenta la experiencia que se tiene en planta. Para esta selección fue necesario recibir la ayuda de la Ingeniera de Materias Primas.

Para la selección de la nueva propuesta de especificación se tuvo en cuenta las opciones: Límites de control (99%) y Confianza (95%), siempre poniendo por encima, el conocimiento en planta como se dijo anteriormente, se elegían estas dos opciones, ya que eran las que tenían un porcentaje más alto de veracidad en sus resultados lo cual sería la base para obtener mejor producto terminado a futuro.

De esta forma fue como se generaron las nuevas especificaciones por parámetros de cada uno de los tipos de tubería mediante la macro de Excel *Ajuste de especificaciones 2.2*. Cada pequeña tabla de esta última hoja era el rango dentro del cual cada tubería debía estar para su respectivo parámetro.

Así es como finalmente, *ajuste de especificaciones 2,2* nos arrojó el resultado final de las nuevas especificaciones, con estos datos fue como se obtuvo el nuevo Excel para la recolección de datos del año 2019.

8.5 Puesta en Marcha de Nuevas Especificaciones

Con objeto de poner en marcha para iniciar el año 2019 las especificaciones de parámetros obtenidas, se llevó a cabo en la primera semana del mes de enero, durante esta semana, la planta frenó su proceso productivo, lo cual facilitó la inserción de estas nuevas especificaciones al laboratorio de materias primas.



Una vez se insertaron las especificaciones, se realizaron pruebas con los inspectores de calidad para comprobar que tan viable se encontraba este nuevo formato. Dando como resultado para los primeros meses, una gran ayuda y mejor entendimiento de la reserva de datos.

8.6 Comparativo de mejoras

Una vez instaladas completamente las especificaciones, se hizo uso de ellas, durante el tiempo de la practica (seis meses) se logró obtener nuevos resultados para el año 2019 de las especificaciones, hasta inicios del mes de marzo.

Y hoy en día estas especificaciones se usan en el laboratorio de materias primas de la empresa P.V.C GERFOR S.A.

Lo anteriormente explicado, puede ser mejor comprendido mediante el siguiente diagrama de flujo.

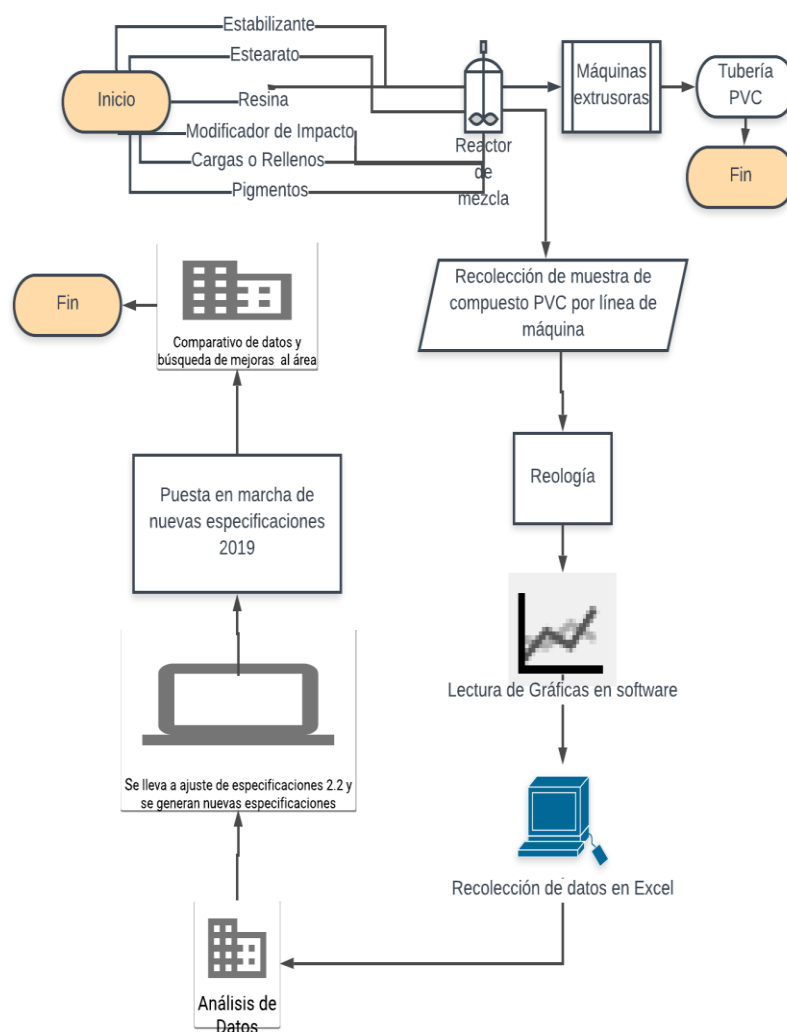


Ilustración 7. Diagrama de flujo del proceso



9. RESULTADOS

Teniendo como ejemplo una de las tuberías estudiadas, se pudo observar que para la tubería sanitaria en las fechas 15–20 de diciembre de las muestras recolectadas, muchos de sus parámetros estuvieron fuera de especificaciones ya que la mayoría de sus casillas, se encontraron de color rojo (por el condicional que se desarrolló). En este momento, mediante la alimentación de datos y la identificación de errores y a futuro, problemas de fallas, lo que se puede evidenciar, es que existen no conformidades contundentes dentro del proceso, que lleva a problemas en la planta de extrusión si no se detecta o avisa a tiempo. Problemática por la cual, hoy en día, se ha reducido de manera significativa, gracias a la generación de nuevas especificaciones.

Entrando más a fondo con los resultados de ambos años, se construyeron gráficas por cada parámetro estudiado, con las diferentes tuberías. Es importante tener en cuenta que, en el año 2018, se obtuvo resultados de todos los meses, pero para el año 2019 se recolectó datos hasta inicios de marzo.

Dentro de este proceso, la herramienta de simulación utilizada fue de gran ayuda, para mí es una gran propuesta inicial para el gran trabajo que se está realizando en el laboratorio de materias primas de PVC GERFOR, quizás en uno o dos años, sería recomendable un software más avanzado aun, que pueda ser más exacto y preciso para cada vez obtener mejores resultados.

Por otro lado, se implementó el nuevo formato de especificaciones para el año 2019, esta nueva presentación, además de tener el rango de parámetros obtenido para cada tubería, tuvo ciertos cambios superficiales, como los colores que indicaban si un parámetro se encontraba fuera de especificaciones, la orientación de los datos para conseguir una mejor lectura de ellos entre otros cambios.

Así fue como se elaboró el formato final para el año 2019 de la recolección para los datos de tubería, además de esto, cabe resaltar que así como esta tubería (presión), todas las otras tuberías para el año 2019 con este formato están obteniendo mejores resultados, puesto que en este caso, el color morado es ahora el indicador para un resultado fuera de parámetros, y como se pudo observar en el formato, son muy pocos los datos que se quedan por fuera de ellas, lo que nos indica que se realizó un excelente trabajo con el ajuste de especificaciones el cual concuerda con los resultados del producto obtenido en el área de mezclas.



Como se pudo observar anteriormente, hay parámetros fundamentales que se estudiaron, la idea del trabajo surge de buscar una mejora continua en los procesos de la compañía PVC GERFOR, es por eso, que se evidencia de forma necesaria el comparativo entre los resultados obtenidos de parámetro por tubería, comparado con los datos que se alcanzaron a recolectar para el año 2019 y así poder realizar un estimado de resultados con lo que se tiene.

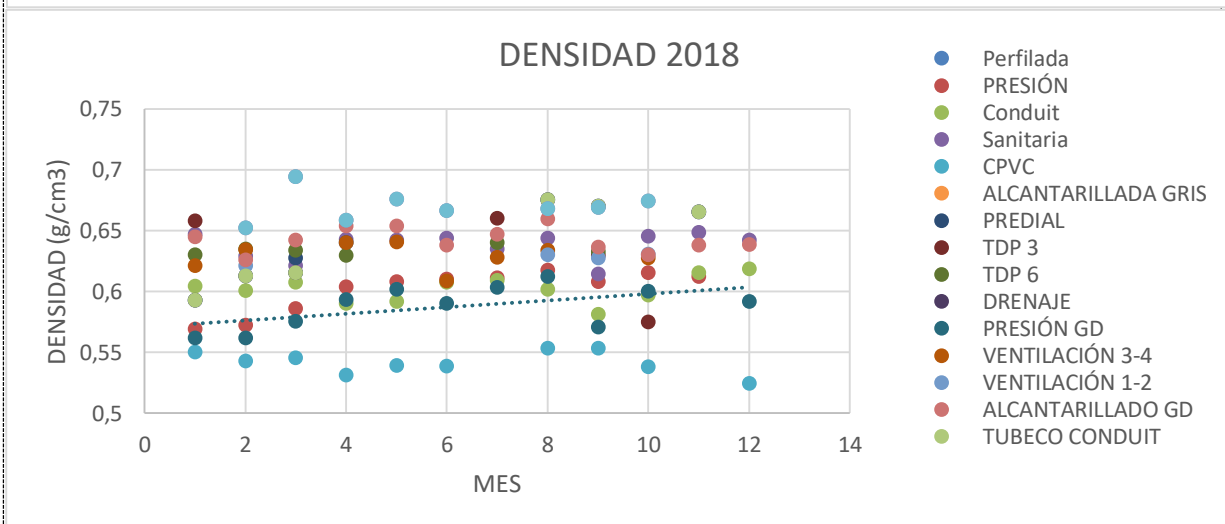
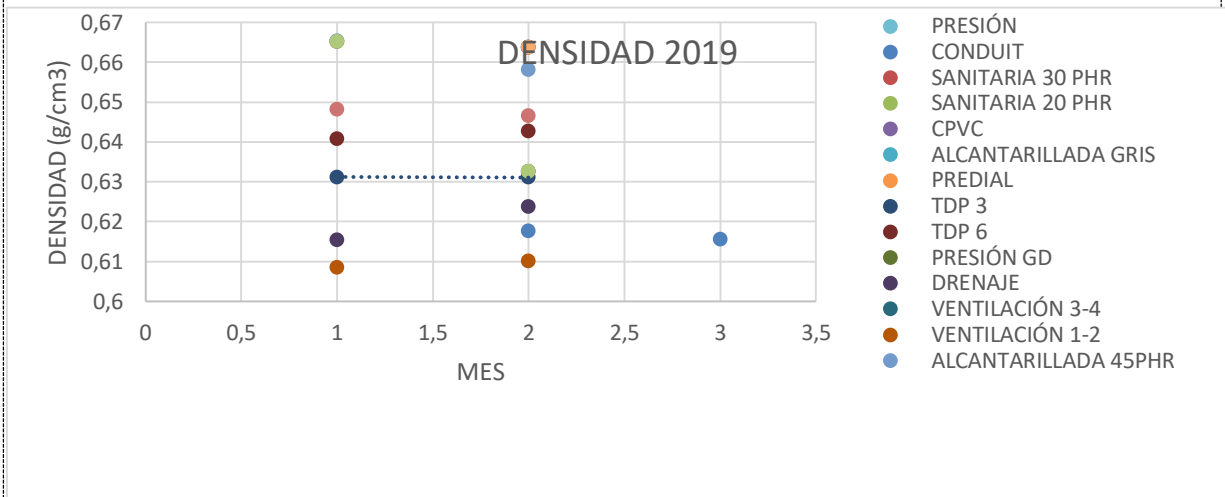


Ilustración 8 Densidad 2018 y 2019

El PVC, al igual que otros materiales termoplásticos, se caracteriza por su baja densidad, comparado con la mayoría de los materiales utilizados en la fabricación de tubos. Esto permite obtener un tubo liviano, sin que por ello resulte débil.

En la gráfica del año 2018, algunas de las tuberías no poseen datos promediados por mes, ya que, en determinados casos, la fabricación de ciertas tuberías se da, solo cuando el consumidor final lo requiera.



En la gráfica del año 2018 se puede observar que se obtuvo un rango de densidad de 0,5 a 0,7g/cm³ y para los datos que se muestran en el año 2019, este rango es un poco más pequeño, de 0,61 a 0,67g/cm³. Lo que nos indica (a pesar que cada tubería tiene sus propias especificaciones) que al menos en los primeros meses del año 2019, esta tendencia de desfase se ha ido reduciendo, porque los valores entre sí, han comenzado a estar en una tendencia lineal.

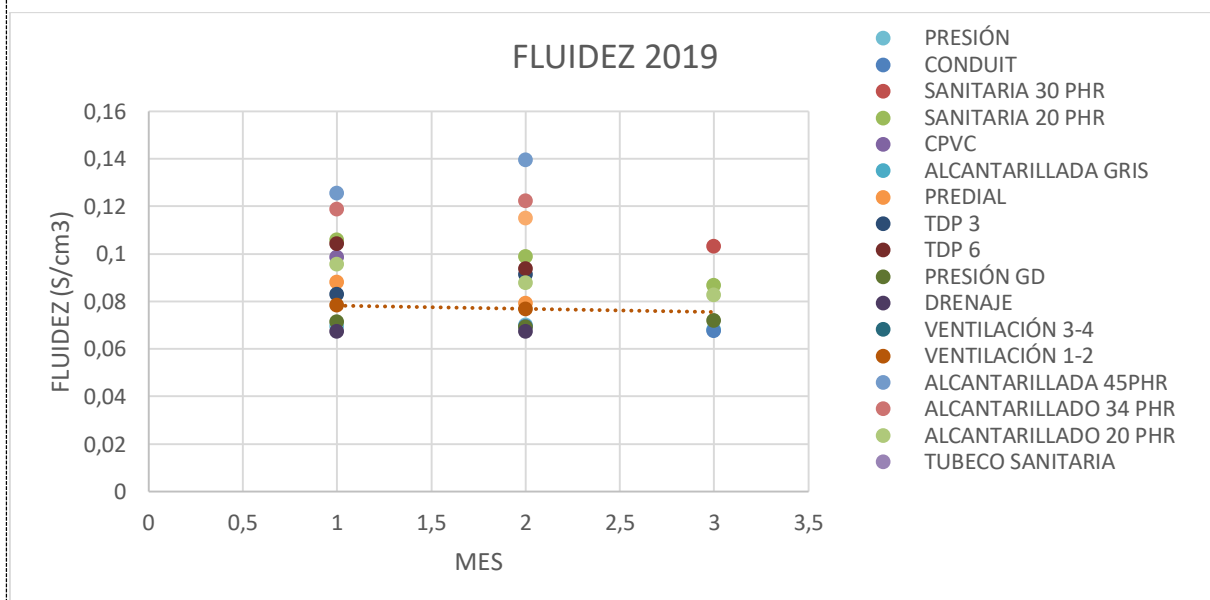
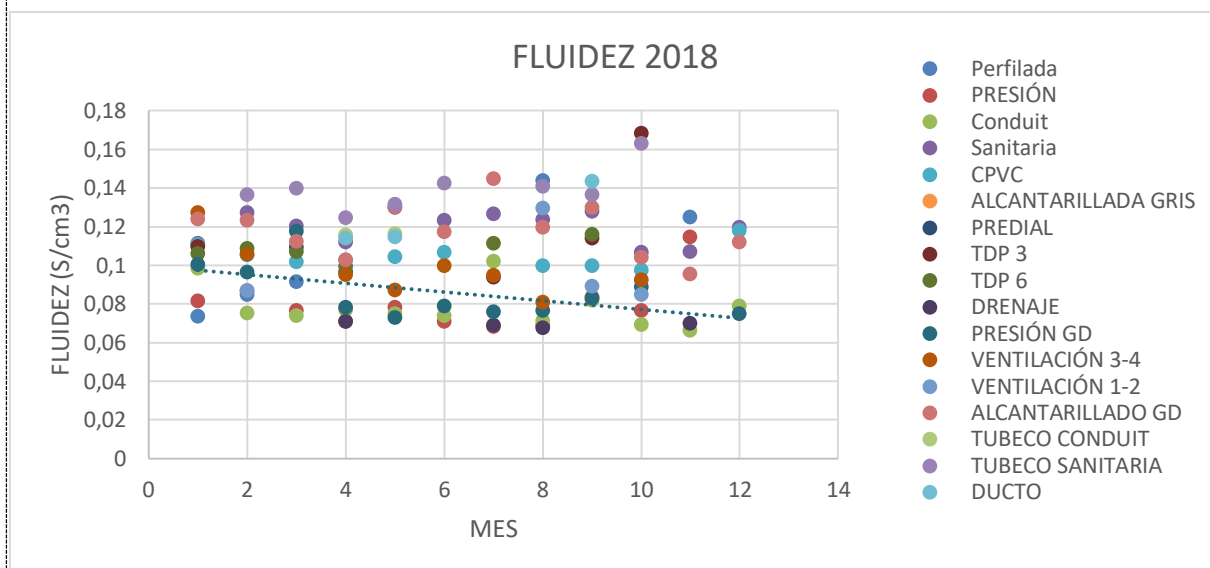


Ilustración 9 Fluidez 2018 y 2019

La fluidez de un polímero tiene que ver con el peso molecular del mismo, por tanto, la medición de la fluidez se convierte en importante para determinar las propiedades de un plástico.

Esta relación de peso molecular y fluidez es relativa. Se pueden dar casos en que, añadiendo cargas o lubricantes internos, entre otros, en la formulación del plástico se puede modificar la fluidez de un polímero sin alterar su peso molecular, la medición de esta se utiliza para determinar en algunos casos la procesabilidad de un material,



inicialmente fue concebido para poder controlar el peso molecular debido a la relación entre peso molecular y propiedades.

Para la gráfica de fluidez del año 2018, se puede percibir notoriamente, que cada tubería tiene rango de especificación más alejado para el de otra tubería y, además, se comienza a analizar pequeñas fallas en algunos de estos datos.

Por otro lado, para los datos del año 2019, se muestra algo similar en cuanto al rango de especificaciones, pero su tendencia también se muestra lineal y en lo posible, de los meses estudiados se ha mantenido.

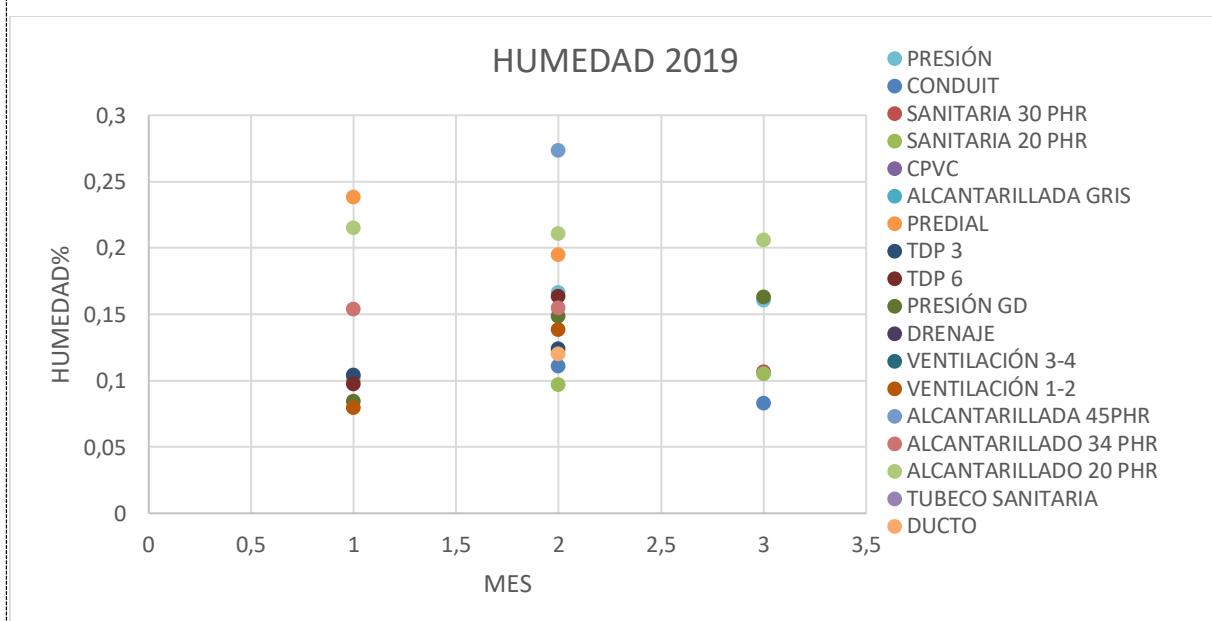
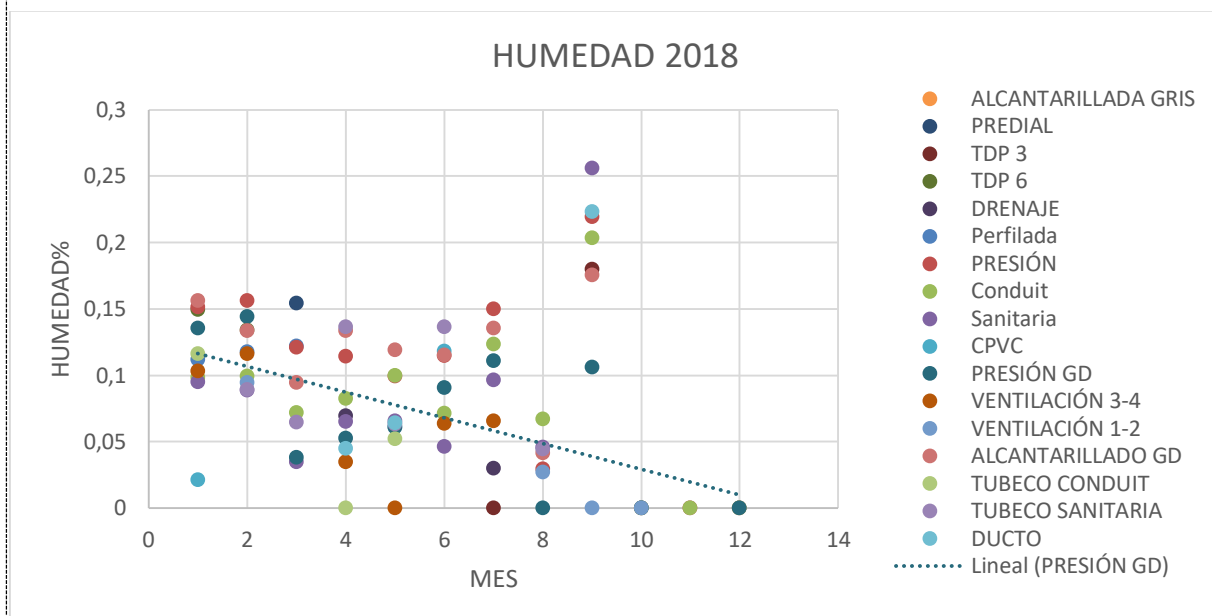


Ilustración 10 Humedad 2018 y 2019



El parámetro de humedad es muy importante a la hora de estudiarse, debido a que este puede llegar a afectar directamente el proceso, por las temperaturas que se pueden manejar.

La humedad, tanto externa como interna, afecta negativamente a la calidad superficial y funcional de la tubería. El agua puede convertirse en vapor de agua, dando lugar a la formación de rayas, burbujas de la superficie, tensiones estructurales, deformación, roturas, aspecto mate, líneas de soldadura débiles, piezas incompletas, manchas entre otras.

El agua y la temperatura de fusión del polímero, pueden reaccionar rápidamente con las cadenas moleculares del mismo y provocar la escisión de las cadenas y, en consecuencia, una disminución del peso molecular. (Aumenta la fluidez y disminuye la viscosidad)ⁱ⁽¹⁶⁾

Para el año 2018, cabe resaltar, que en el mes de septiembre (9), la mayoría de compuestos PVC, tuvieron un aumento notable del porcentaje de humedad, lo cual lastimosamente, se detectó como fallas del proceso final, afectando así al proceso de producción de la mayoría de tuberías que se fabricaron ese mes.

En cuanto a los parámetros dados por la reología, se tienen el tiempo, torque y temperatura de fusión o derretimiento, es un proceso físico que resulta en la transición de fase de una sustancia de un sólido a un líquido. Esto ocurre cuando aumenta la energía interna de los sólidos, típicamente por la aplicación de calor o presión, el cual aumenta la temperatura de la sustancia al punto de fusión.

Las sustancias en el estado fundido generalmente reducen su viscosidad con el aumento de temperatura. Una excepción a este principio es el azufre, cuyos aumentos de viscosidad son debidos a la polimerización, disminuyendo a temperaturas más altas en su estado fundido⁽¹⁷⁾

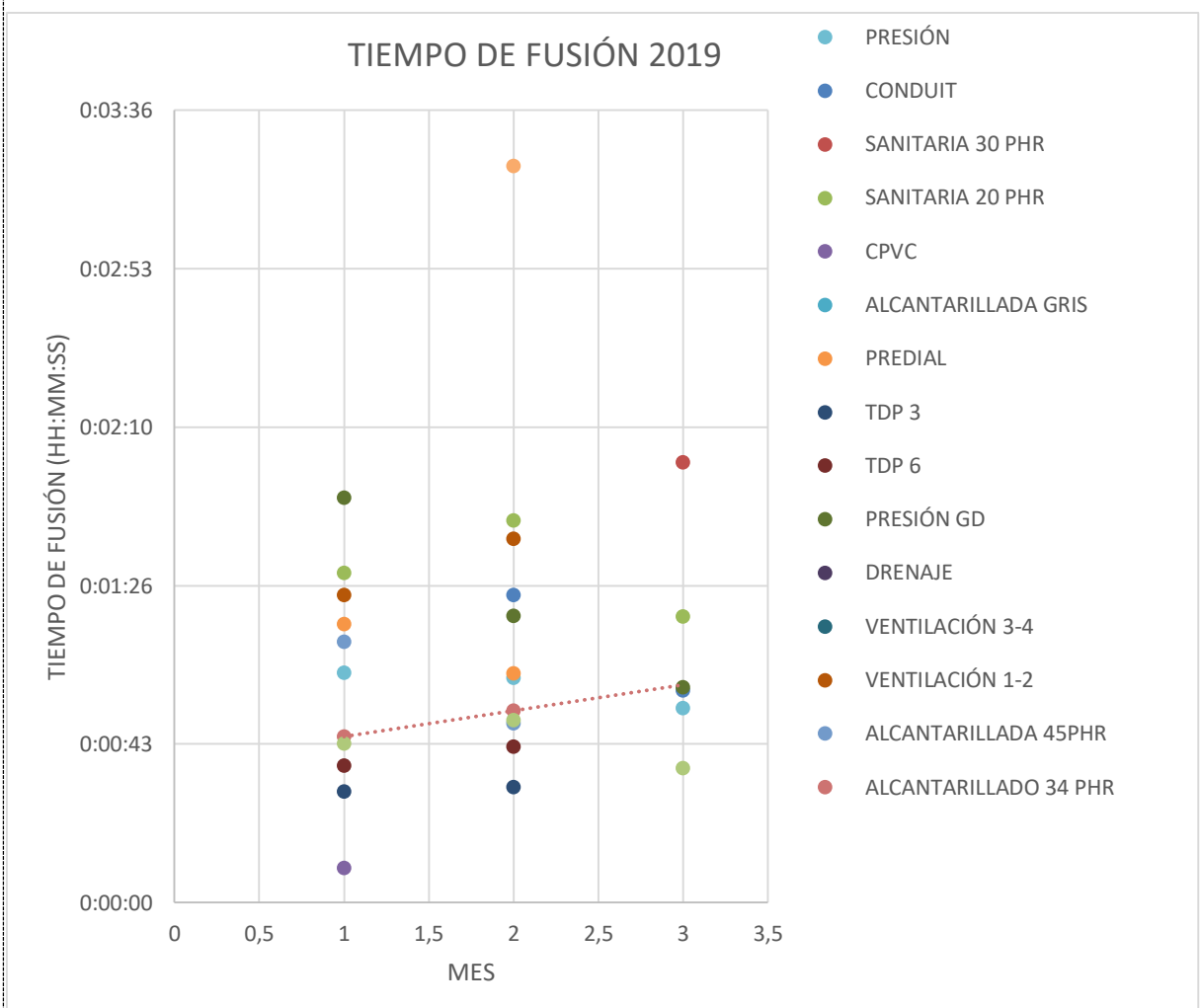
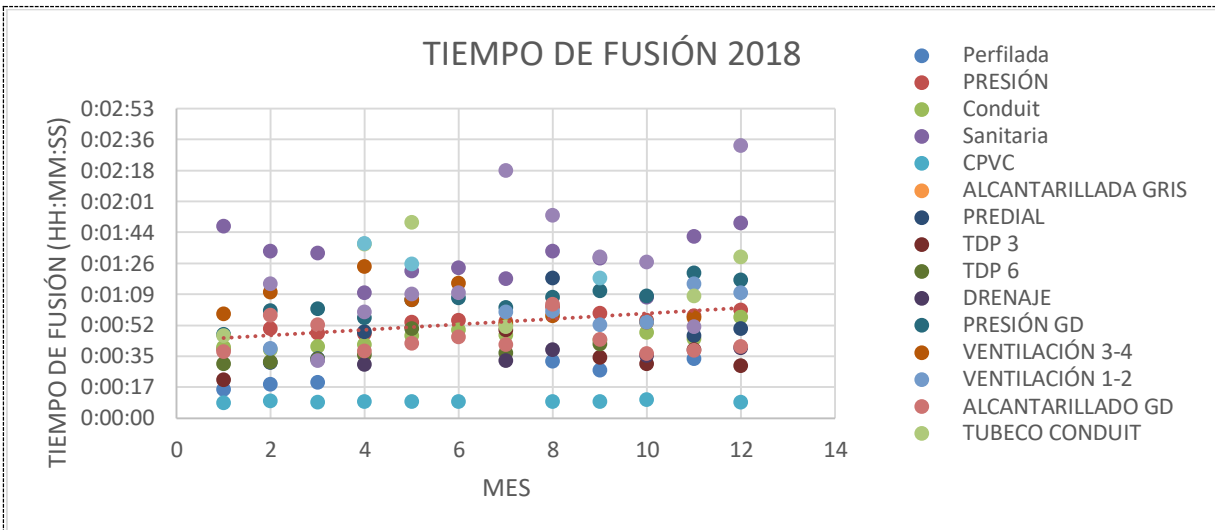


Ilustración 11 Tiempo de fusión 2018 y 2019

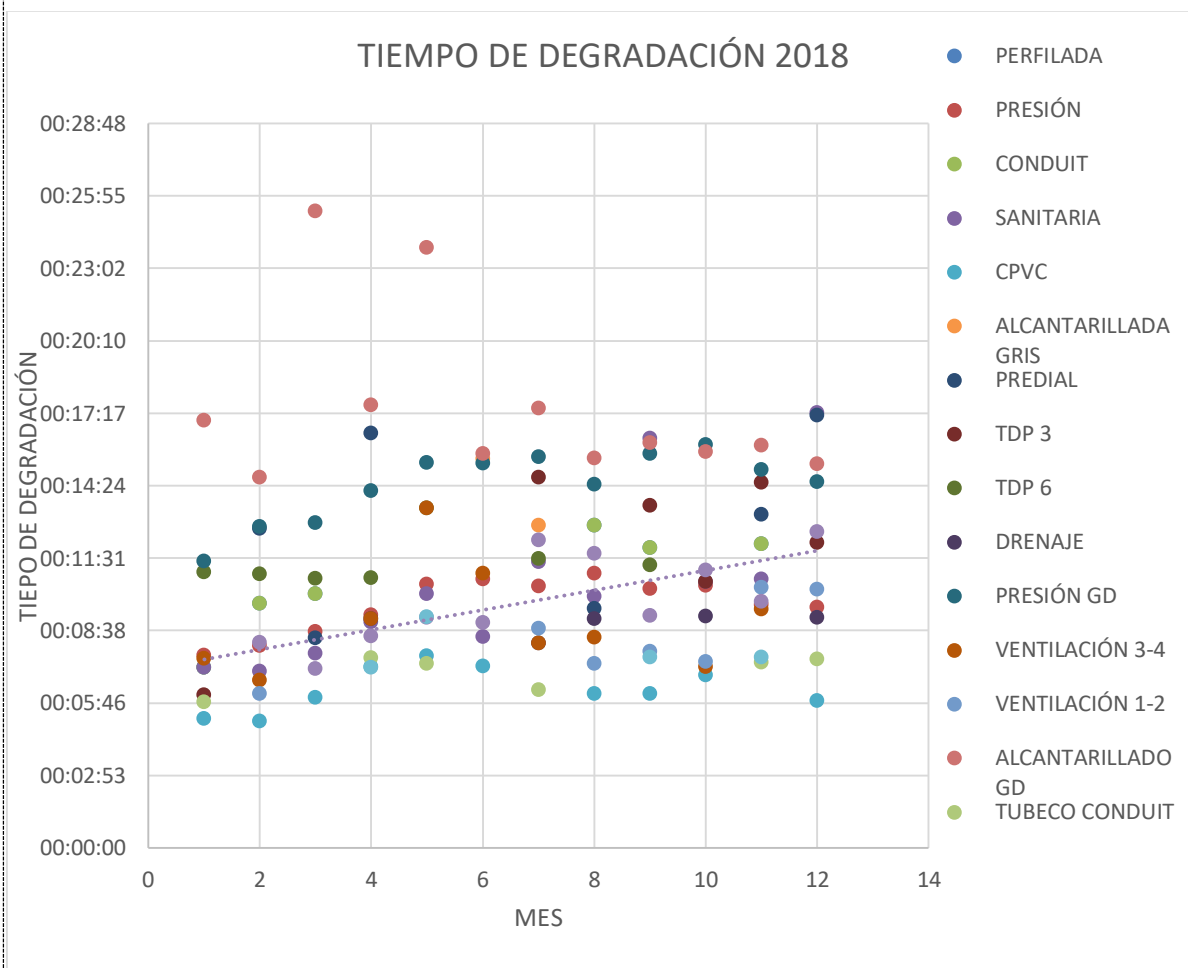
Este tiempo nos indica, lo que puede llegar a tardar en pasar de un estado granulado (sólido) a un estado líquido para poder luego moldearse como tubería.

Este parámetro es de los más importantes por no decirlo el mas, porque este preciso instante en donde la fusión se da, es representativo, ya que es allí en donde las fallas de la tubería pueden empezar a sobresalir.



La tubería de la gráfica de 2018, la cual posee picos bastante altos y desfasados es la tubería tubeco sanitaria, se le llama de esta forma, debido a que es una tubería con una calidad media, la cual se puede conseguir de forma económica y es de las tuberías que tiene a presentar más fallas debido a la relación de sus componentes para poder fabricarla más económica.

Por otro lado, la tubería Sanitaria para el año 2018, presenta un ascenso del tiempo de fusión en el mes de febrero y luego un descenso en el mes de marzo, el cual no es muy significativo, ya que puede mantenerse dentro de los parámetros, pero se puede interpretar como un aviso en el área de mezclas para tener mayor cuidado a la hora de fabricar este compuesto.



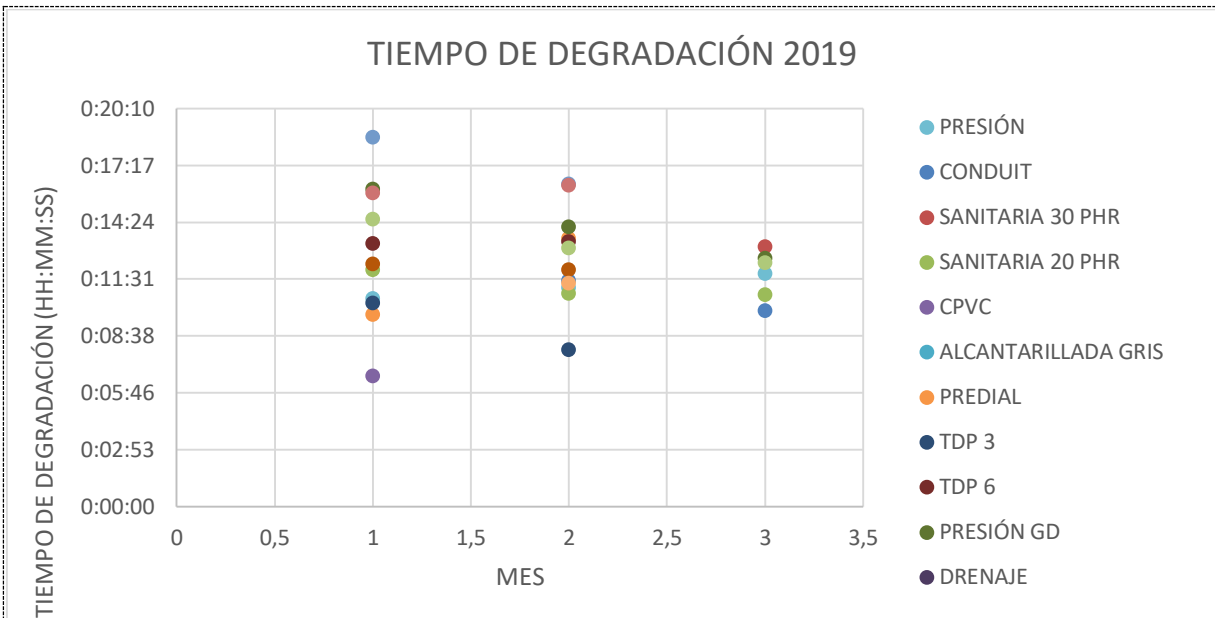
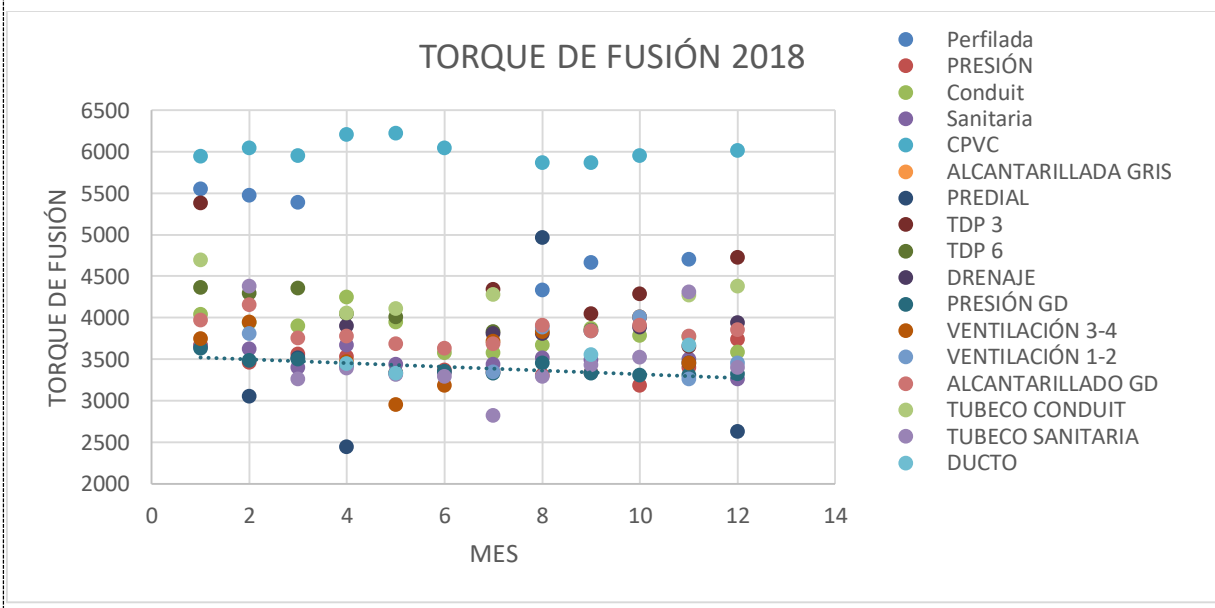


Ilustración 12 Tiempo de degradación 2018 y 2019

A diferencia del tiempo de fusión, el tiempo de degradación se caracteriza por ser el lapso en el que la tubería ya está lista para su moldeo, una especie de punto crítico que puede llevar a la tubería a dañarse, descomponerse o a pasar a ser la tubería como tal.

La gráfica del año 2018, muestra notablemente, como cada una de las tuberías posee especificaciones muy diferentes entre sí, pero de nuevo, la tubería alcantarillada de grandes diámetros tuvo tiempos muy largos de degradación, lo cual significa que es necesario recibir la formula con la que se produjo y consultar directamente con el área de mezclas, para dejar ese lote como producto no conforme y en definitiva fuera de las especificaciones. Para el año 2019, los resultados se mantienen de forma relativamente constante para cada uno de ellos, pero de nuevo se muestra que no hay similitud de ellos entre sus especificaciones.



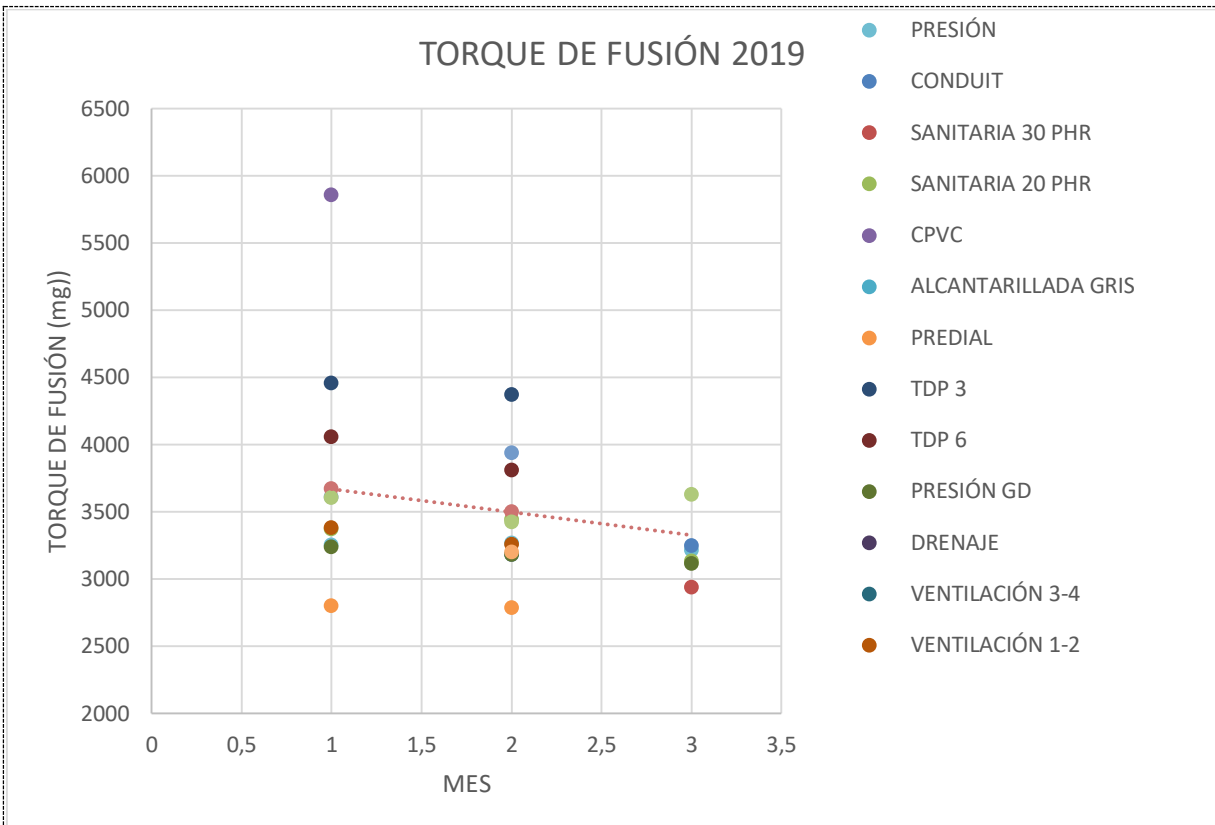


Ilustración 13 Torque de fusión 2018 y 2019

La torsión se caracteriza geoméricamente porque cualquier curva paralela al eje de la pieza deja de estar contenida en el plano formado inicialmente por las dos curvas. En lugar de eso una curva paralela al eje se retuerce alrededor de él.

El estudio general de la torsión es complicado porque bajo ese tipo de sollicitación la sección transversal de una pieza en general se caracteriza por dos fenómenos:

Aparecen tensiones tangenciales paralelas a la sección transversal. Si estas se representan por un campo vectorial sus líneas de flujo "circulan" alrededor de la sección. Cuando las tensiones anteriores no están distribuidas adecuadamente, cosa que sucede siempre a menos que la sección tenga simetría circular, aparecen alabeos seccionales que hacen que las secciones transversales deformadas no sean planas.⁽¹⁸⁾

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, la importancia del torque de fusión dentro de la reología se da por lo que puede llegar a suceder a la hora de fabricarse la tubería y sus secciones puedan llegar a ser planas. Teniendo en cuenta la gráfica del año 2018, la tubería no presentó anomalías en sus puntos, trató de mantenerse estable en lo posible, pero para lo que se alcanzó a trabajar en el 2019 se puede determinar, una tendencia casi que lineal en todos sus compuestos PVC, lo que una



vez más, muestra cómo ha podido influir el ajuste de estos parámetros en el estudio reológico.

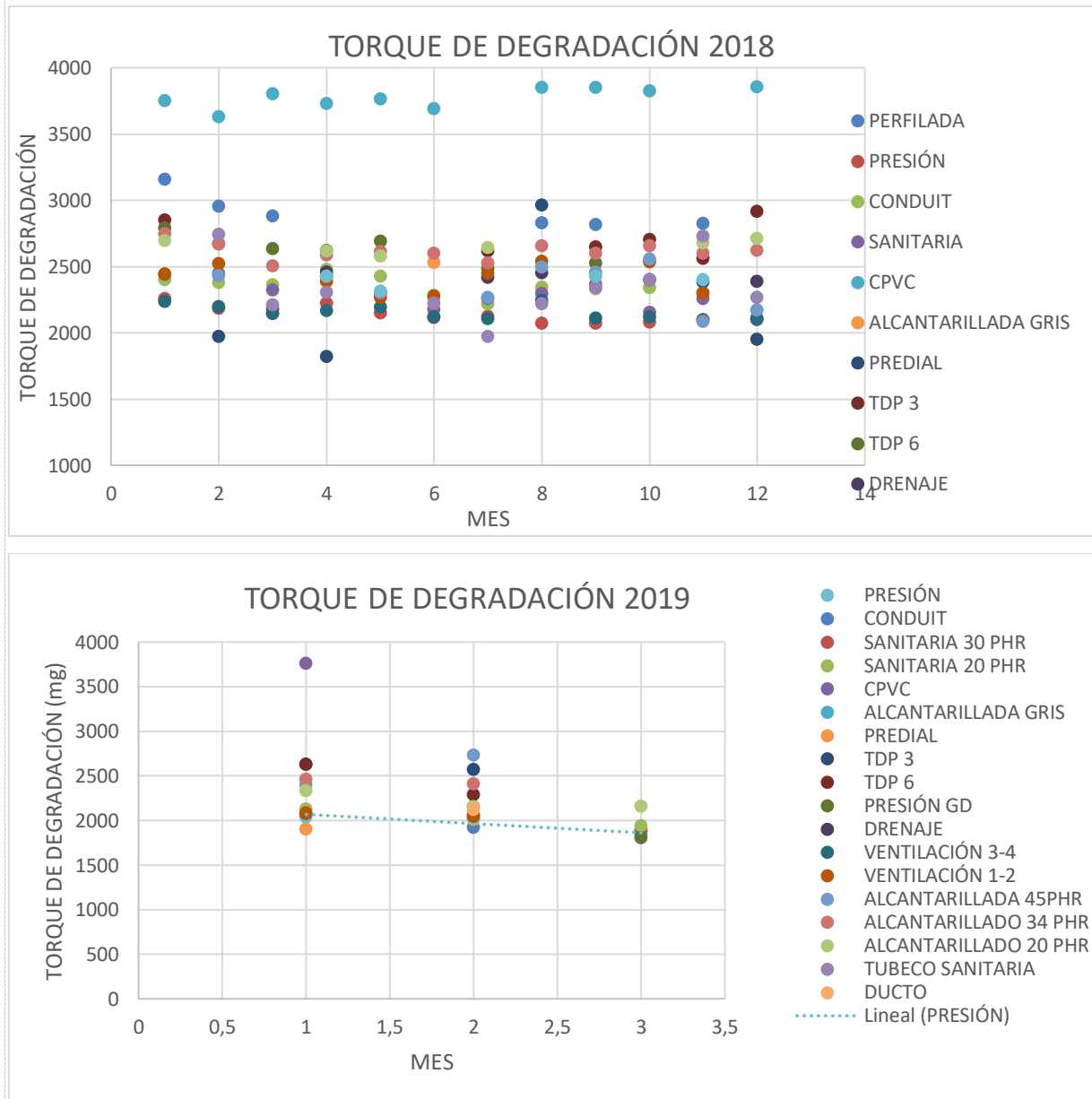


Ilustración 14 Torque de degradación

Para las gráficas 2018 y 2019 se puede analizar cómo el torque de degradación puede mantenerse constante durante todo el año, pero por obvias razones, los datos que se muestran en el 2019 su tendencia se encuentra mejor estructurada, lo que una vez más, nos indica como la influencia de un análisis estadístico, puede empezar desde lo más mínimo a buscar esas mejorar continuas en donde radicalmente se ve beneficiado o afectado el proceso final de fabricación.

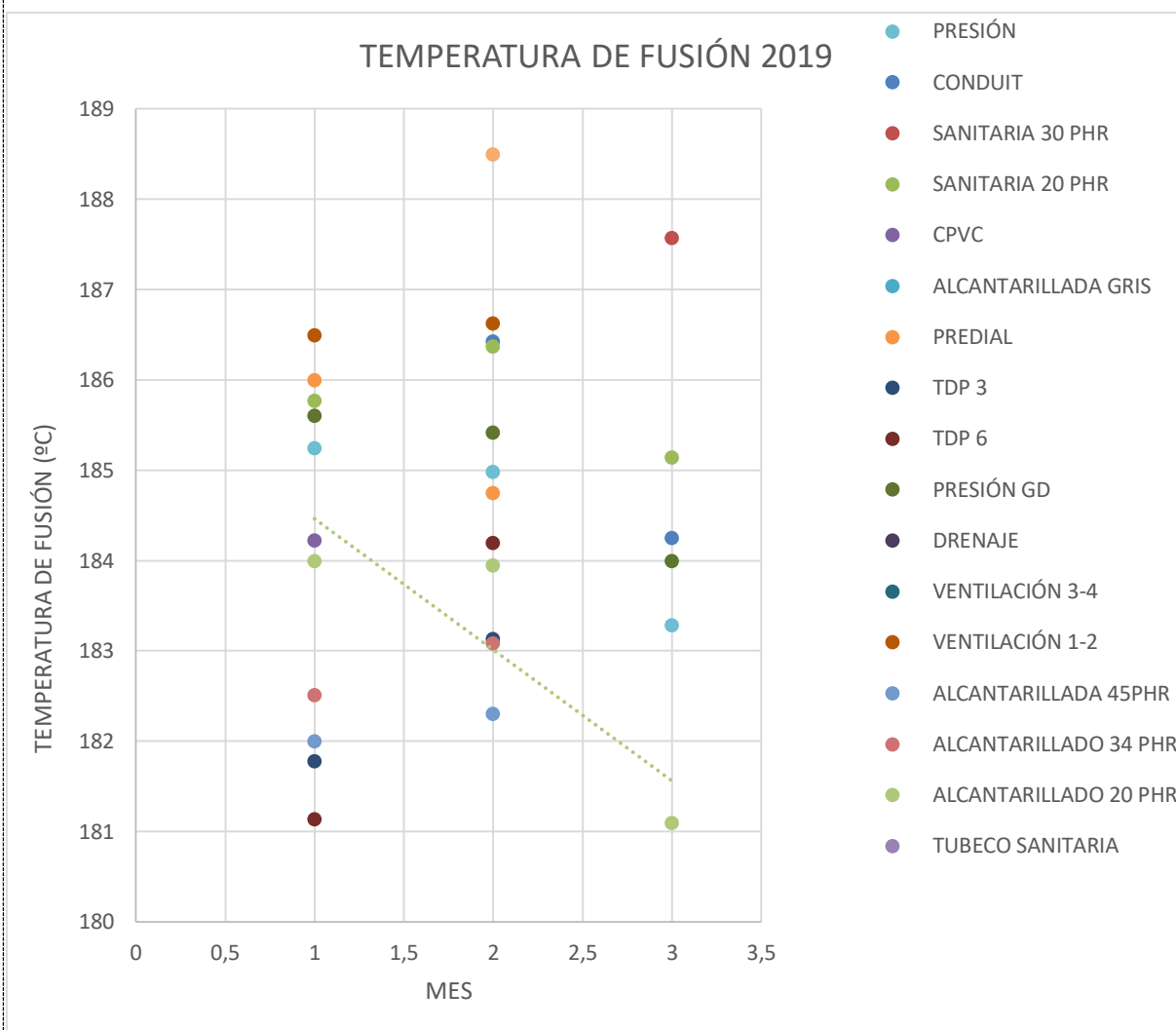
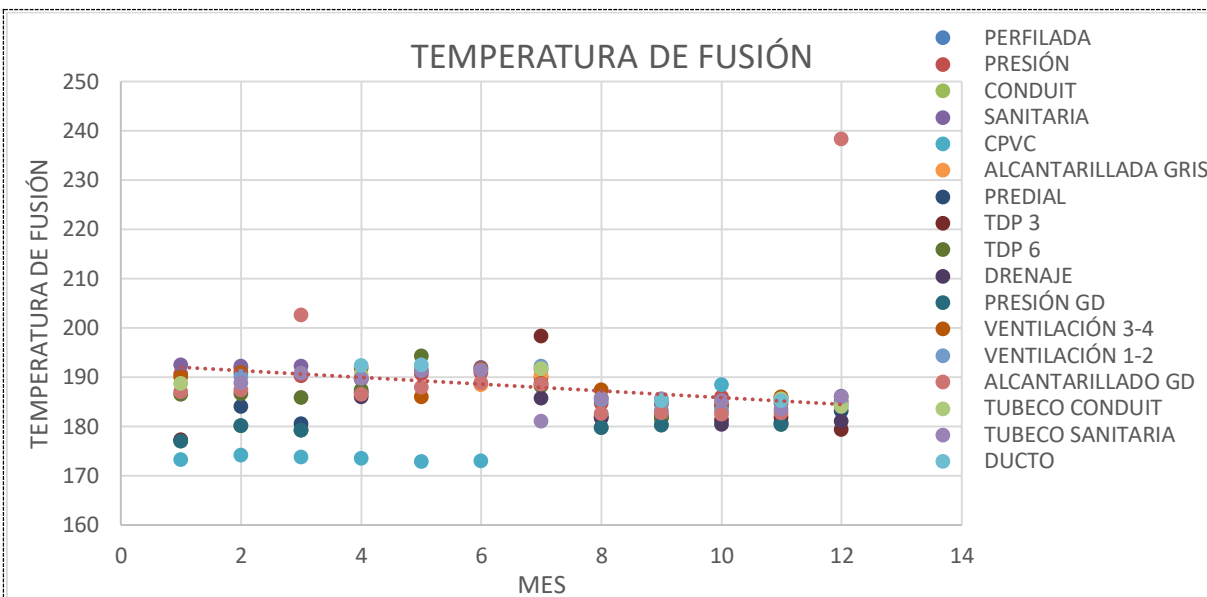


Ilustración 15 Temperatura de fusión 2018 y 2019

La temperatura es una magnitud referida a las nociones comunes de calor medible. En física, se define como una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de la termodinámica. Más específicamente, está relacionada con la energía cinética, la cual se entiende como la energía asociada a los movimientos de las partículas del sistema, sea en un sentido traslacional, rotacional, o en forma de vibraciones. A medida que sea mayor la energía

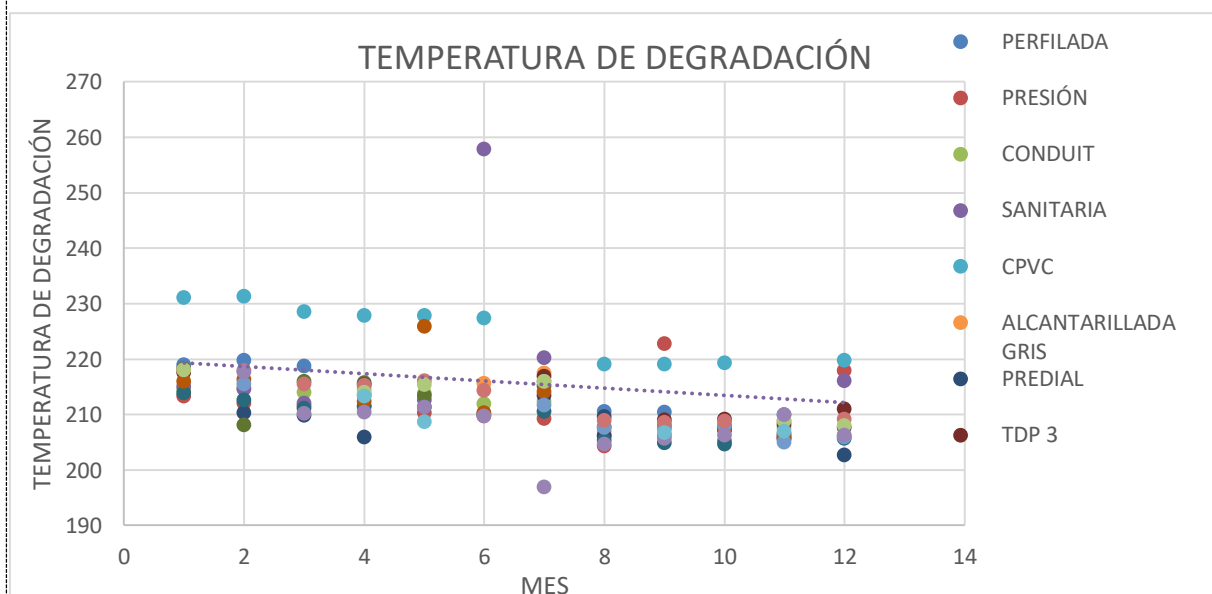


cinética de un sistema, se observa que este se encuentra más «caliente»; es decir, que su temperatura es mayor. En el caso de un sólido, los movimientos en cuestión, resultan ser las vibraciones de las partículas en sus sitios dentro del sólido.

Multitud de propiedades fisicoquímicas de los materiales o las sustancias varían en función de la temperatura a la que se encuentren, como por ejemplo su estado (sólido, líquido, gaseoso, plasma), su volumen, la solubilidad, la presión de vapor, su color o la conductividad eléctrica. Así mismo es uno de los factores que influyen en la velocidad a la que tienen lugar las reacciones químicas.

Dentro de la gráfica para el año 2018, la temperatura de fusión que nos muestra, es una temperatura que va en un rango de 170°C a 200°C, pero se debe tener en cuenta el desfase de la temperatura Alcantarillado Grandes Diámetros, este tipo de tubería es de los que más se fabrica en la empresa, así que se debe tener mucho cuidado con cualquier falla, es de los tipos de tubería que presenta más cantidad de fallas por la cantidad que se produce diaria, semanal y mensualmente.

Este tipo de desfases en temperatura afecta directamente a la producción e incluso puede llegar a arrojar un resultado no conforme, que incluso fue lo que sucedió en ese momento, por ser una de las tuberías más importantes junto con uno de los parámetros más característicos ⁽¹⁹⁾



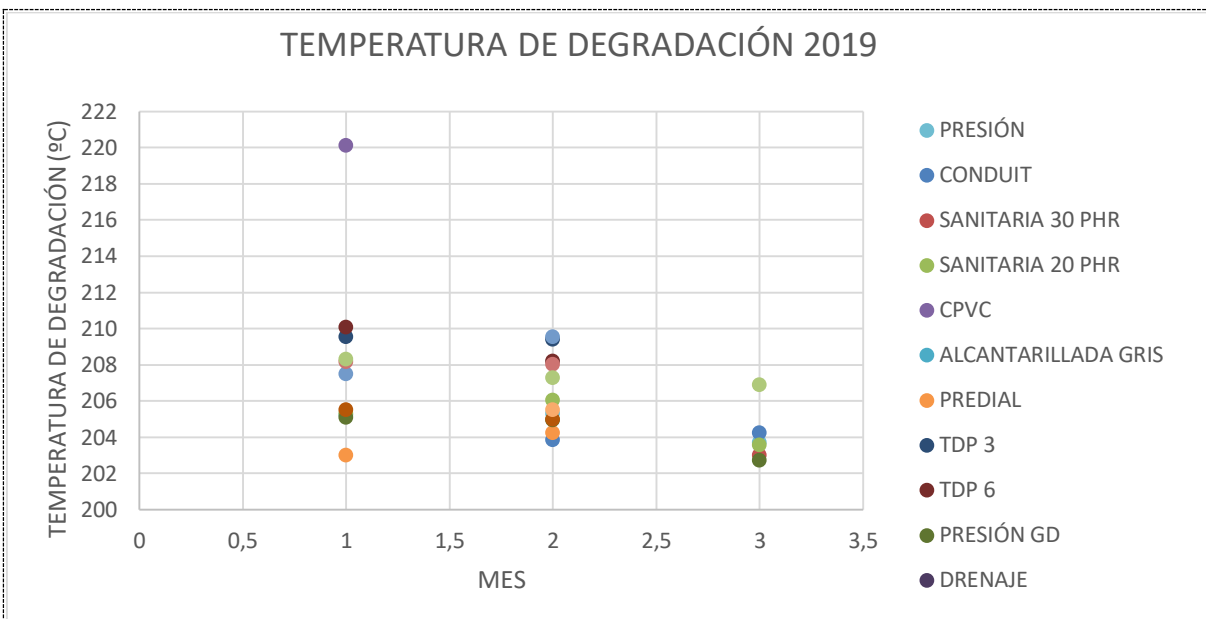



Ilustración 16 Temperatura de degradación 2018 y 2019

En la gráfica de 2018, se muestra como en la mayoría de las tuberías se mantiene cierta estabilidad en la temperatura, pero para la tubería sanitaria, se observa un pico bastante significativo, lo cual puede llegar a afectar la parte final del proceso de extrusión por lo que al excederse en temperatura puede dañarse el compuesto y no moldearse como tubería. ⁽²⁰⁾

Finalmente, a la hora de obtener mejoras, se resalta lo anteriormente mencionado sobre el nuevo uso de especificaciones para el presente año y los resultados que se están empezando a obtener, donde claramente se evidencia, resultados mejorados que comienzan a observarse, desde el momento de la recolección de data en Excel.

Por otro lado, proponer una optimización para el proceso de extrusión es algo relevante, ya que, para ello, se hizo en primera instancia, identificar partes del proceso, en donde el objetivo final era obtener tubería de distintos tipos, de excelente calidad y en lo posible evitar cada vez menos fallas, producto final no conforme, quejas, entre otros. El proceso comienza desde el momento en que las materias primas llegan a la planta PVC GERFOR, es allí donde se comienza a inspeccionar la materia prima y finaliza en el momento en que la tubería se entrega al consumidor final.

Dentro de las actividades llevadas a cabo para cumplir el fin del proceso, los controles de calidad de materias primas, la fabricación de compuesto en el área de mezclas, la recolección de este y seguidamente el control de calidad del compuesto PVC, para luego llevar a las máquinas extrusoras, son las principales actividades que pueden afectar o mejorar el proceso, en donde los principales involucrados son el área de

	Propuesta trabajo de grado, Departamento de Ingenierías Q.C.A.	Código	1.1 00
		Página	2 de 50

conformidad en materias primas, el área de mezclas y el área de extrusión. Buscando un trabajo en conjunto, se pueden llevar a cabo de manera más sencilla, las mejoras que se proponen.

Una vez esto sucede, se identificaron los posibles cambios, buscando así, de gran importancia, la recolección de datos, donde se realizó el análisis estadístico, con grandes cambios para el presente año y al iniciarlo se comenzó a implementar por los inspectores de materia prima.


Y como parte final, es indispensable llevar el seguimiento para el año 2019, al finalizar este año se puede repetir el mismo procedimiento, claramente en la macro de Excel utilizada, se pueden hacer mejoras para incluso facilitar más el trabajo, pero si una vez más se demuestra que este procedimiento ha realizado cambios significativos en el área, es decir, que ha sido probado y aprobado, se podría llegar a automatizar, distribuyéndolo por toda la empresa para poder ver la reducción de gastos, la prevención de errores, la disminución de desperdicios y una mayor productividad.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ✓ El análisis estadístico hoy en día puede ser una herramienta vital en cualquier proceso, utilizarla fue de gran ayuda en este trabajo, es un gran aliado a la hora de buscar problemas de base y mejoría.
- ✓ La empresa PVC GERFOR S.A facilitó este trabajo, ya que poseen equipos, laboratorios y un personal competente en cada una de sus áreas, pero recomendaría que se busque un trabajo en conjunto más fuerte, así la comunicación de fallas se da desde el inicio.
- ✓ A la hora en que una tubería presente fallas, se debe analizarla más a fondo hasta encontrar su problema. Muchas veces se descuida esta parte del proceso por falta de tiempo, pero si los problemas se analizan y resuelven de raíz, no existirán próximas veces.
- ✓ Se recomienda a futuro, buscar un software que pueda hacer el mismo trabajo que el utilizado, para facilitar el trabajo y hacerlo cada vez más efectivo.



- ✓ Para lograr un mejor control estadístico, es necesario tener en cuenta distintos factores, tales como la recolección de datos verídicos o que realmente ayuden a obtener resultados reales de lo que sucede en la planta, en segundo lugar, un software que nos ayude a realizar correcciones de aquellas fallas presentadas para así mostrar cada vez mayor mejora y menos fallas durante el proceso, lo que finalmente conlleva a unas mejoras significativas en cuanto a la situación monetaria de la empresa.
- ✓ Las materias primas de cualquier empresa son una parte fundamental de ella, ya que es la base de todo el proceso y si se obtienen excelentes resultados en los controles de calidad de éstas y del compuesto antes de comenzar el proceso, mejoraremos significativamente todo el proceso.
- ✓ Adquirir un equipo como el reómetro de torque, facilita el trabajo por lo que puede lograr. Para el laboratorio de materias primas, este equipo es un simulador ideal de la tubería, el cual, al detectar fallas tempranas, puede evitar producto no conforme a futuro. Recomendaría en la cuestión de recolección de muestra, un proceso más eficiente y actualizado en donde al inspector de materias primas o la persona que realice la recolección, se le facilite el trabajo ya que es un método antiguo, el cual se puede analizar la pérdida de tiempo para el laboratorio, pudiéndose utilizar llevando a cabo la reología a tiempo para notificar fallas o que generaría pérdidas monetarias a raíz de pérdidas de tiempos. Si se sigue esta recomendación, comenzando por los factores más simples o sencillos a diario, se comienza a ver beneficios para la empresa y disminución de trabajo pesado para los encargados.

	Propuesta trabajo de grado, Departamento de Ingenierías Q.C.A.	Código	1.1 00
		Página	2 de 50

11. BIBLIOGRAFÍA

1. Carrasquero, Francisco López. *Fundamentos de Polímeros*. Mérida : s.n., 2004.
2. Nicholson, John W. *The Chemistry of Polymers*. Chatham, Kent, UK : RSCPublishing, 2006.
3. Mijares, Francisco López Serrano Ramos / Eduardo Mendizábal. *Introducción a la ciencia de los polímeros*. Guadalajara : s.n., 2015.
4. S.A, Organización y Métodos P.V.C GERFOR. *Diagrama de Proceso de Fabricación de Tubería P.V.C en GERFOR S.A*. Cota, Cundinamarca : s.n., 2019 .
5. P.V.C Gerfor S.A. (s.f.). Quienes somos. Gerfor. Recuperado de: gerfor.com/index.php/compania/quienes-somos-gerfor
6. Ramos. *Extrusión de plásticos, principios básicos*. s.l. : Limusa, 2002.
7. Bird, R.B, Stewart, W.E, Lightfoot. *Fenómenos de transporte*. s.l. : Editorial Reverté, 1996.
8. Mijares, Francisco López Serrano Ramos / Eduardo Mendizábal. *Introducción a la ciencia de los polímeros*. Guadalajara : s.n., 2015.
9. Mantilla, C., Castaño, H., & Cadena Nava, J. A. (2018). Plan de Mejora del Proceso de Mezclas en la Planta de Producción PVC GERFOR SA.
10. Cooz, G., Gallardo, A., Fernández, Y., & Vela, M. (2016). Análisis de la capacidad Estadística del proceso de extrusión del perfil machihembrado en la planta PETROCASA Perfiles I. *Semilleros*, 3(5), 75-75.
11. Vega, Z., & Miguel, J. (2016). Elaboración de un sistema informático para el control estadístico del proceso en la Fábrica de Tubos Plásticos Rival (Bachelor's thesis).
12. Fred W. BILLMEYER, JR. *Ciencia de los Polímeros*. New York : Editorial Reverté, 2004.



13. Capacitación plan de entrenamiento laboratorio de materias primas por Ing. Jenny Rodríguez

14. Manual de *Determinación Reológica de Materias Primas y Compuestos*- NTC 1880 plásticos. Compuesto de PVC. Determinación de la estabilidad térmica. Primera actualización POR PVC GERFOR S.A

15. K. Walters (1975) *Rheometry* (Chapman & Hall)

16. S.A., Laboratorio de ensayos de Materias Primas de P.V.C. GERFOR. *DETERMINACIÓN REOLÓGICA DE MATERIAS PRIMAS Y DE COMPUESTOS*. Cota, Cundinamarca : s.n.

17. Información suministrada de la fuente:
uca.edu.sv/facultad/clases/ing/m210031/Tema%2017.pdf

18. C. Michael Hogan (2011) *Sulfure*, Encyclopedia of Earth, eds. A.Jorgensen and C.J.Cleveland, National Council for Science and the environment, Washington DC.

19. Kollbruner, C.F. & Basler, K., *Torsión in structures, an engineering approach*, Springer, 1969.

20. *Química general: introducción a la química teórica*. Escrito por Cristóbal Valenzuela Calahorro. Página 360.