

**DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE MEJORA EN EL PROCESO DE
RECUPERACIÓN DE MATERIAL NO CONFORME EN LA PRODUCCIÓN DE
BOTAS DE PVC PARA LA EMPRESA CROYDON COLOMBIA S.A.**

**LINA MARÍA CASTRO JAIME
ERIKA LORENA PLAZAS BARBOSA**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2017**

**DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE MEJORA EN EL PROCESO DE
RECUPERACIÓN DE MATERIAL NO CONFORME EN LA PRODUCCIÓN DE
BOTAS DE PVC PARA LA EMPRESA CROYDON COLOMBIA S.A.**

**LINA MARÍA CASTRO JAIME
ERIKA LORENA PLAZAS BARBOSA**

**Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO**

**Director
Oscar Fabián Arias Celis
Ingeniero Químico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2017**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Ing. Diego Nicolás Rodríguez Serrano
Jurado orientador

Ing. Edubiel Jhobany Salcedo Varela
Jurado 1.

Ing. Oscar Chamarraví Guerra
Jurado 2.

Bogotá, DC. Agosto de 2017

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García – Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García – Peña

Decano Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director Programa Ingeniería Química

Ing. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este proyecto agradecen:

A DIOS por habernos permitido llegar hasta la culminación exitosa de nuestras carreras.

A nuestras familias por el apoyo que nos brindaron en todo momento.

Al ingeniero OSCAR FABIÁN ARIAS CELIS, por ser el director y guía de este proyecto, por haber puesto su confianza en nosotras y por brindarnos su apoyo y sus conocimientos para desarrollar nuestro trabajo de grado.

A la empresa CROYDON COLOMBIA S.A. por abrirnos las puertas para desarrollar el presente proyecto y por considerar nuestras opiniones para el mejoramiento de sus procesos.

A los operarios de la empresa por brindarnos su tiempo y apoyo necesario para la ejecución del proyecto.

A los docentes de la Fundación Universidad de América que de una u otra manera fueron partícipes del desarrollo de este proyecto brindándonos su dedicación, apoyo y conocimientos.

A DIEGO NICOLÁS RODRÍGUEZ por ser nuestro asesor y guía en el desarrollo de este proyecto, por todos los aportes y conocimientos transmitidos.

DEDICATORIA

“A mis abuelos, a mis tíos, a mi padre Oscar Orlando y en especial a mi hermano Oscar Iván y a mi madre Isabel, quienes sin importar las circunstancias me han apoyado para cumplir todos mis sueños”
Lina María Castro Jaime

“A Dios por darme la fortaleza y sabiduría para salir triunfante, a mis padres José y Carmenza por su comprensión y apoyo constante, en especial a mi madre por sus consejos, confianza y aportes brindados a lo largo de mi carrera y finalmente a mi mejor amiga Angie”
Erika Lorena Plazas Barbosa

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	26
OBJETIVOS	27
1. MARCO TEÓRICO	28
1.1 POLICLORURO DE VINILO (PVC)	28
1.2 ADITIVOS PARA EL PVC EN LA PRODUCCIÓN DE BOTAS	28
1.2.1 Plastificantes	28
1.2.2 Estabilizantes térmicos	29
1.2.3 Cargas o rellenos	29
1.2.4 Pigmentos	29
1.2.5 Lubricantes	30
1.3 EQUIPOS INVOLUCRADOS EN EL PROCESO DE RECUPERACIÓN Y PRODUCCIÓN DE BOTAS DE PVC	30
1.3.1 Molino de rodillos	30
1.3.2 Molino de cuchillas	30
1.3.3 Mezclador Henschel	31
1.3.4 Enfriador	31
1.3.5 Peletizadora	31
1.3.6 Máquina inyectora	31
1.3.6.1 Parámetros principales a tener en cuenta en el proceso de inyección	32
1.4 TERMINOLOGÍA CROYDON	34
1.4.1 Escaso material en pierna, suela y puntera	34
1.4.2 Exceso de rebaba	34
1.4.3 Filtración de materia	35
1.4.4 Mala dispersión del material	36
1.4.5 Pierna contaminada	36
1.4.6 Pierna y suela quemada	37
1.4.7 Puntos de inyección	38
1.4.8 Puntera y suela contraída	38
1.4.9 PVC recuperado post-consumo	39
1.4.10 Bota sin media	39
2. DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN PREVIO A LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	40
2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN ACTUAL	40
2.1.1 Homogeneización y laminado	43
2.1.2 Disminución del tamaño de VION	44
2.1.3 Mezcla de material puro con recuperado	46

2.1.4	Moldeo por inyección	47
2.2	IDENTIFICACIÓN DE POSIBLES CAUSAS Y PROBLEMAS PRESENTES EN EL PROCESO DE RECUPERACIÓN	48
2.2.1	Posibles causas que ayudan a la aparición de defectos de las líneas de botas que utilizan material recuperado	48
2.2.2	Problemas	49
2.3	ANÁLISIS DE CAUSA-EFECTO	50
2.4	RECOMENDACIONES PRODUCTO DEL DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN	56
3.	DISEÑO PRE-EXPERIMENTAL Y EXPERIMENTACIÓN DE ALTERNATIVAS	58
3.1	PLANEACIÓN PRE – EXPERIMENTAL	58
3.1.1	Clasificación de variables	58
3.1.2	Nivel de significancia	60
3.1.3	Planteamiento de hipótesis	60
3.1.4	Elección del diseño experimental	62
3.1.5	Pre-experimentación para evaluar la implementación de un tamiz en el molino de cuchillas	62
3.1.5.1	Resultados de análisis de tamaño de partícula realizado por Laboratorios M&G	62
3.1.5.2	Determinación de mallas para realizar análisis por tamizado	62
3.1.5.3	Coefficiente de uniformidad (CU) y tamaño efectivo (TE)	63
3.2	EXPERIMENTACIÓN DE ALTERNATIVAS	63
3.2.1	Variación de calibres en el molino de rodillos	64
3.2.1.1	Planteamiento de hipótesis	64
3.2.1.2	Consolidación de datos	64
3.2.1.3	Análisis de Varianza	65
3.2.2	Evaluación del análisis por tamizado para las tres muestras tomadas de cada calibre	65
3.2.2.1	Resultados del análisis por tamizado, coeficiente de uniformidad y tamaño efectivo	66
3.2.3	Variación de las proporciones de purga, picas, puntos de inyección y bota sin media para la formación de las láminas de VION	68
3.2.3.1	Planteamiento de hipótesis	69
3.2.3.2	Consolidación de datos	70
3.2.3.3	Análisis de varianza	70
3.2.4	Evaluación del comportamiento de diversas mezclas de material puro con recuperado	71
3.2.4.1	Planteamiento de hipótesis	71
3.2.4.2	Consolidación de datos	71
3.2.4.3	Análisis de Varianza	72
4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS	73

4.1	DATOS HISTÓRICOS DEL PORCENTAJE DE <i>SCRAP</i> Y DE LOS DEFECTOS DEL PRODUCTO NO CONFORME	73
4.2	ALTERNATIVA 1. ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LAS CARACTERÍSTICAS DEL VION EN LA HOMOGENEIZACIÓN	76
4.3	ALTERNATIVA 2. VARIAR EL CALIBRE EN EL MOLINO DE RODILLOS	77
4.3.1	Análisis del porcentaje de <i>scrap</i> obtenido en la experimentación	78
4.3.2	Análisis de defectos de calidad de la experimentación	79
4.3.2.1	Calibre bajo	80
4.3.2.2	Calibre medio	81
4.3.2.3	Calibre alto	82
4.3.2.4	Conclusiones del análisis de defectos de calidad presentados durante la experimentación	83
4.3.3	Análisis de los perfiles de temperatura manejados durante la inyección	83
4.3.3.1	Calibre bajo	84
4.3.3.2	Calibre medio	85
4.3.3.3	Calibre alto	86
4.3.3.4	Comparación de las temperaturas obtenidas entre los tres calibres manejados	87
4.4	ALTERNATIVA 3. IMPLEMENTAR TAMICES EN LA ETAPA POSTERIOR AL MOLINO DE CUCHILLAS	88
4.4.1	Calibre bajo	88
4.4.2	Calibre medio	89
4.4.3	Calibre alto	90
4.4.4	Determinación de la implementación del tamiz de acuerdo a los resultados de la experimentación	91
4.5	ALTERNATIVA 4. VARIAR LAS PROPORCIONES DE PURGA, PICAS, PUNTOS DE INYECCIÓN Y BOTA SIN MEDIA PARA LA FORMACIÓN DE LAS LÁMINAS DE VION	92
4.5.1	Análisis del porcentaje de <i>scrap</i> obtenido en la experimentación	93
4.5.2	Análisis de defectos de calidad presentados durante la experimentación	94
4.5.2.1	Proporción 1	95
4.5.2.2	Proporción 2	96
4.5.2.3	Proporción 3	97
4.5.2.4	Proporción 4	98
4.5.3	Análisis de los perfiles de temperatura manejados durante la inyección	99
4.6	ALTERNATIVA 5. EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS DE MATERIAL NUEVO CON RECUPERADO EN LA ETAPA DE INYECCIÓN	99
4.6.1	Análisis del porcentaje de <i>scrap</i> obtenido en la experimentación	99
4.6.2	Análisis de defectos de calidad presentados durante la experimentación	100

4.6.2.1	Mezcla Z-180 C	101
4.6.2.2	Mezcla Z-180 D	102
4.6.2.3	Mezcla Z-180 L	102
4.6.3	Análisis de los perfiles de temperatura manejados durante la inyección	104
4.6.3.1	Mezcla Z-180 C	104
4.6.3.2	Mezcla Z-180 D	105
4.6.3.3	Mezcla Z-180 L	106
4.7	ALTERNATIVA 6. EVALUAR LA NECESIDAD DE IMPLEMENTAR ADITIVOS EN EL PROCESO DE RECUPERACIÓN	107
4.8	PROPUESTA DE MEJORA EN EL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE MATERIAL NO CONFORME PARA SU APROVECHAMIENTO EN LA ETAPA DE INYECCIÓN	108
5.	COMPARACIÓN DE LOS COSTOS INVOLUCRADOS EN EL PROCESO DE RECUPERACIÓN	110
5.1	RESTRICCIONES DE LOS COSTOS INVOLUCRADOS	110
5.2	ESTIMACIÓN DE COSTOS EN EL PROCESO DE HOMOGENEIZACIÓN Y LAMINADO	110
5.2.1	Costos sin proyecto	111
5.2.2	Costos con proyecto	112
5.2.3	Análisis comparativo de costos para el proceso de homogeneización y laminado	112
5.2.4	Proyección a un año de los costos totales del proceso de homogeneización y laminado sin y con proyecto	114
5.3	ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS PARA LA MEZCLA Z-180	115
6.	CONCLUSIONES	116
7.	RECOMENDACIONES	117
	BIBLIOGRAFÍA	118
	ANEXOS	120

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Valores típicos de temperaturas programadas en una máquina inyección para la transformación de PVC flexible teniendo en cuenta las zonas de la figura 1.	33
Tabla 2. Abertura y números de malla (basados en la norma ASTM E-11-87) correspondientes a los tamices seleccionados para el análisis por tamizado de las tres muestras de material.	62
Tabla 3. Datos de porcentaje de <i>scrap</i> para cada uno de los calibres propuestos.	64
Tabla 4. Cálculos del análisis de varianza hallados con la herramienta “Análisis de datos” de Microsoft Excel® para los diferentes valores del porcentaje de <i>scrap</i> , usando como referencia los datos de la tabla 3.	65
Tabla 5. Resultados del análisis por tamizado para la muestra tomada del calibre bajo.	66
Tabla 6. Resultados del análisis por tamizado para la muestra tomada del calibre medio.	67
Tabla 7. Resultados del análisis por tamizado para la muestra tomada del calibre alto.	67
Tabla 8. Valores calculados con las ecuaciones 3 y 4 del coeficiente de uniformidad y tamaño efectivo para las muestras de cada calibre.	68
Tabla 9. Datos de porcentaje de <i>scrap</i> para cada proporción, con cuatro réplicas para cada una.	70
Tabla 10. Cálculos del análisis de varianza hallados con la herramienta “Análisis de datos” de Microsoft Excel® para los diferentes valores del porcentaje de <i>scrap</i> , usando como referencia los datos de la tabla 9.	70
Tabla 11. Proporciones en phr de las mezclas de compuesto de pvc puro y recuperado usadas en la tercera experimentación.	71
Tabla 12. Datos del porcentaje de <i>scrap</i> calculados para cada mezcla durante la tercera experimentación.	72
Tabla 13. Cálculos del análisis de varianza hallados con la herramienta “Análisis de datos” de Microsoft Excel® para los diferentes valores del porcentaje de <i>scrap</i> , usando como referencia los datos de la tabla 12.	72
Tabla 14. Temperaturas preestablecidas por el personal de Croydon Colombia S. A. para la máquina inyectora ottogalli 3 durante la experimentación del calibre bajo.	84
Tabla 15. Temperaturas preestablecidas por el personal de Croydon Colombia S. A. para la máquina inyectora Ottogalli 3 durante la experimentación del calibre medio.	86
Tabla 16. Temperaturas preestablecidas por el personal de Croydon Colombia S. A. para la máquina inyectora Ottogalli 3 durante la	

experimentación del calibre alto.	87
Tabla 17. Temperaturas recomendadas a manejar en la inyección de material recuperado.	88
Tabla 18. Temperaturas preestablecidas por el personal de Croydon Colombia S. A. para la máquina inyectora ottogalli 3 durante la experimentación de la mezcla Z-180 C.	105
Tabla 19. Temperaturas preestablecidas por el personal de Croydon Colombia S. A. para la máquina inyectora ottogalli 3 durante la experimentación de la mezcla Z-180 D.	106
Tabla 20. Temperaturas preestablecidas por el personal de Croydon Colombia S. A. para la máquina inyectora ottogalli 3 durante la experimentación de la mezcla Z-180 L.	107
Tabla 21. Costos fijos por kilogramo de material tratado en el proceso de homogeneización y laminado.	111
Tabla 22. Cantidad inyectada, cantidad de <i>scrap</i> con su participación en el proceso y el costo de procesar ese material en el molino de rodillos sin proyecto, considerando los datos de la tabla 21 para el año 2017.	112
Tabla 23. Cantidad inyectada, cantidad de <i>scrap</i> con su participación en el proceso y el costo de procesar ese material en el molino de rodillos con proyecto, considerando los datos de la tabla 22 para el año 2017.	112
Tabla 24. Comparación de la situación sin y con proyecto del promedio de los costos involucrados en la etapa de homogeneización y laminado.	113
Tabla 26. Comparación de la situación sin y con proyecto de la proyección a un año de los costos involucrados en la etapa de homogeneización y laminado.	114
Tabla 26. Costos por kilogramo para realizar el compuesto puro Z-180 y las diversas mezclas con material recuperado.	115

LISTA DE IMÁGENES

	pág.
Imagen 1. Defecto de suela escaso material que se presenta en la producción de botas de PVC.	34
Imagen 2. Defecto de exceso de rebaba que se presenta en la producción de botas de PVC.	35
Imagen 3. Defecto de filtración de material que se presenta en la producción de botas de PVC.	35
Imagen 4. Defecto de mala dispersión del material que se presenta en la producción de botas de PVC.	36
Imagen 5. Defecto de pierna contaminada por PVC de otro color (a) y perna contaminada por media (b) que se presentan en la producción de botas de PVC.	37
Imagen 6. Defecto de pierna quemada (a) y suela quemada (b) que se presentan en la producción de botas de PVC.	37
Imagen 7. Material denominado como puntos de inyección cuando está en los orificios entre la boquilla y el molde (a) y cuando se lleva a bolsas de acuerdo a su color (b).	38
Imagen 8. Defecto de puntera contraída (a) y suela contraída (b) presentes en las botas de PVC.	38
Imagen 9. Operario cargando material no conforme de PVC en el molino de rodillos.	43
Imagen 10. Operario vertiendo material molido entre rodillos para formar banda.	44
Imagen 11. Operario vertiendo las láminas de VION en el molino de cuchillas 3.	45
Imagen 12. Operario llenando sacos de lona de 24 kg cada uno.	45
Imagen 13. Imagen microscópica de partícula de PVC obtenida por Suspensión.	47
Imagen 14. Tolva que descarga hacia el husillo la mezcla de material puro con recuperado.	47
Imagen 15. Máquina inyectora Ottogalli 3, en donde se observa el husillo que arrastra el material hacia los moldes.	47
Imagen 16. Montaje para realizar análisis por tamizado.	66

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Datos históricos correspondientes al porcentaje de <i>scrap</i> .	73
Gráfica 2. Diagrama de Pareto de los defectos correspondientes a los datos históricos.	75
Gráfica 3. Datos del porcentaje de <i>scrap</i> (tabla 3) tomados en seis horas diferentes del segundo turno para la evaluación de la segunda alternativa.	78
Gráfica 4. Diagrama de Pareto para los diez principales defectos presentados en la evaluación del calibre bajo.	80
Gráfica 5. Diagrama de Pareto para los diez principales defectos presentados en la evaluación del calibre medio.	81
Gráfica 6. Diagrama de Pareto para los diez principales defectos presentados en la evaluación del calibre alto.	82
Gráfica 7. Relación de las temperaturas del material en diversas zonas de la máquina inyectora Ottogalli 3 con el porcentaje de <i>scrap</i> para el calibre menor.	85
Gráfica 8. Relación de las temperaturas del material en diversas zonas de la máquina inyectora Ottogalli 3 con el porcentaje de <i>scrap</i> para el calibre medio.	86
Gráfica 9. Relación de las temperaturas del material en diversas zonas de la máquina inyectora Ottogalli 3 con el porcentaje de <i>scrap</i> para el calibre alto.	87
Gráfica 10. Representación gráfica del análisis por tamizado para la muestra del calibre bajo.	89
Gráfica 11. Representación gráfica del análisis por tamizado para la muestra del calibre medio.	90
Gráfica 12. Representación gráfica del análisis por tamizado para la muestra del calibre alto.	91
Gráfica 13. Porcentajes manejados de bota sin media, puntos de inyección, picas (producto no conforme) y purga utilizados en las cuatro proporciones utilizadas en la evaluación de la cuarta alternativa.	93
Gráfica 14. Datos del porcentaje de <i>scrap</i> relacionados en la tabla 9, con cuatro réplicas para cada una de las proporciones evaluadas.	93
Gráfica 15. Diagrama de Pareto para los defectos presentados en la evaluación de la proporción 1.	95
Gráfica 16. Diagrama de Pareto para los defectos presentados en la evaluación de la proporción 2.	96
Gráfica 17. Diagrama de Pareto para los defectos presentados en la evaluación de la proporción 3.	97
Gráfica 18. Diagrama de Pareto para los defectos presentados en la evaluación de la proporción 4.	98
Gráfica 19. Datos del porcentaje de <i>scrap</i> (tabla 12) tomados en seis horas diferentes del segundo turno para la evaluación de la quinta alternativa.	100

Gráfica 20. Diagrama de Pareto para los defectos presentados durante la evaluación de la mezcla Z-180 C.	101
Gráfica 21. Diagrama de Pareto para los defectos presentados durante la evaluación de la mezcla Z-180 D.	102
Gráfica 22. Diagrama de Pareto para los defectos presentados durante la evaluación de la mezcla Z-180 L.	103
Gráfica 23. Relación de las temperaturas del material en diversas zonas de la máquina inyectora Ottogalli 3 con el porcentaje de <i>scrap</i> para la mezcla Z-180 C.	104
Gráfica 24. Relación de las temperaturas del material en diversas zonas de la máquina inyectora Ottogalli 3 con el porcentaje de <i>scrap</i> para la mezcla Z-180 D.	105
Gráfica 25. Relación de las temperaturas del material en diversas zonas de la máquina inyectora Ottogalli 3 con el porcentaje de <i>scrap</i> para la mezcla Z-180 L.	106

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Zonas principales de una máquina de inyección.	33
Figura 2. Plano del cuarto de recuperación de PVC de la empresa Croydon Colombia S. A.	45
Figura 3. Plano cuarto de mezclado y enfriamiento del PVC en la empresa Croydon Colombia S. A.	46
Figura 4. Diagrama genérico de la distribución asimétrica de Fisher	61

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Fórmula para hallar el porcentaje de <i>scrap</i> en una máquina inyectora de acuerdo al departamento de ingeniería industrial de la empresa CROYDON COLOMBIA S.A.	60
Ecuación 2. Fórmula para determinar el valor de F calculado por medio de la distribución Fisher.	61
Ecuación 3. Cálculo del coeficiente de uniformidad para las muestras analizadas por tamizado.	63
Ecuación 4. Tamaño efectivo para las muestras analizadas por tamizado.	63
Ecuación 5. Costos totales de procesamiento.	111
Ecuación 6. Porcentaje de <i>scrap</i> para el procesamiento de VION.	111

LISTA DE DIAGRAMAS

	pág.
Diagrama 1. Diagrama de flujo del proceso (PFD) de recuperación de PVC implementado en la empresa Croydon Colombia S. A.	42
Diagrama 2. Diagrama Ishikawa en donde se exponen las causas a nivel general que ocasionan la aparición de <i>scrap</i> en el proceso de producción de botas de PVC	50
Diagrama 3. Diagrama Ishikawa para analizar la aparición de los defectos de pierna y suela quemada en las botas de PVC.	52
Diagrama 4. Diagrama de Ishikawa para analizar la aparición de los defectos pierna contaminada y pierna contaminada por media en las botas de PVC.	52
Diagrama 5. Diagrama de Ishikawa para analizar la aparición del defecto de mala dispersión de material en las botas de PVC.	53
Diagrama 6. Diagrama de Ishikawa para analizar la aparición de defectos como exceso de rebaba y filtración de material en las botas de PVC.	53
Diagrama 7. Diagrama de Ishikawa para analizar la aparición del defecto media filtrada en las botas de PVC.	54
Diagrama 8. Diagrama de Ishikawa para analizar la aparición de los defectos pierna, suela y puntera escaso material en las botas de PVC.	54
Diagrama 9. Diagrama de Ishikawa para analizar la aparición de los defectos suela y puntera contraídas en las botas de PVC.	55
Diagrama 10. Diagrama de Ishikawa para analizar la aparición del defecto suela despegada en las botas de PVC.	55

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Clasificación de las variables involucradas en el proceso de acuerdo a sus características.	59

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Prueba de granulometría realizada por laboratorios M&G	121
Anexo B. Tabla de equivalencia internacional de tamices, con sus aberturas	122
Anexo C. Pruebas de calidad realizadas a muestras de producto final de las mezclas Z-180 C, Z-180 D y Z-180 L	123

GLOSARIO

ADITIVOS: sustancias agregadas en los plásticos antes, después o durante su procesamiento para modificar sus propiedades.

CARGA DEL MOLINO: es la cantidad en kilogramos de material que no se transforma en producto final como *scrap*, purgas, bota sin media, PVC recuperado post-consumo, puntos de inyección, material contaminado de diversos colores que sale de la peletizadora y recorte de zapatón principalmente; dichas fuentes de PVC a recuperar se llevan al molino de rodillos para ser homogeneizado y laminado.

COMPUESTO VIRGEN O PURO: mezclas realizadas en el mezclador Henschel de la empresa Croydon Colombia S.A a base de PVC con diferentes aditivos.

DEFECTOS: conjunto de imperfecciones presentes en las botas de PVC que no son producto final. En total se identifican catorce desperfectos en las líneas de producción de PVC las cuales son: Filtración de material, media filtrada, suela y pierna quemada, pierna, puntera y suela escaso material, mala dispersión de material, exceso de rebaba, pierna, puntera y suela contraída, pierna contaminada y pierna contaminada por media por media.

DUREZA SHORE: se calcula mediante una aguja que presiona el material a ensayar. La profundidad de penetración define la dureza del material. Cuanto mayor sea el valor, menor será la profundidad de penetración y consecuentemente mayor dureza, se determina como la resistencia a la indentación basada en la profundidad de penetración de un indentador con geometría cónica.

FLEXIÓN CAPELLADA: prueba de calidad que consiste en someter una muestra la pierna de material en PVC a 20000 ciclos de flexión, dicha prueba se realiza en seco. Esta prueba se realiza para observar si hay rotura del material en los ciclos definidos.

GOLLETE: son pequeños excesos de rebaba que aparecen en todos los productos inyectados, los cuales pueden ser retirados de forma manual por los operarios sin afectar el producto final.

MEDIA FILTRADA: imperfección que se evidencia en el producto cuando el textil de poliéster (utilizado en la fabricación de las botas de PVC) queda puesto de forma incorrecta en el molde, haciendo que éste sobresalga en la superficie de la pierna de la bota.

MEZCLA DE PVC RECUPERADO: mezclas más conocidas en la empresa como Z-180 que contiene un porcentaje material recuperado proveniente de un proceso de homogenización, laminación y disminución de partícula con mezcla original.

MIGRACIÓN DE PIGMENTOS: prueba de calidad realizada a las botas de PVC, la cual consiste someter una muestra de la pierna de la bota a altas presiones y temperaturas. La muestra del material se coloca en medio de dos láminas blancas del mismo material para posteriormente colocar una probeta sobre éstas, finalmente se lleva a un horno a una temperatura de 80°C por cinco horas.

MOLDEO POR INYECCIÓN: proceso bajo calor y presión que con la ayuda de un husillo, se da forma al producto terminado.

OTTOGALLI: marca de máquina inyectora usada en CROYDON S.A. Consta de 14 estaciones de inyección, en donde se manejan 3 tiempos principales que son: inyección del PVC, retención de material y plastificado del compuesto.

PELLET: es el producto de llevar al proceso de extrusión el compuesto de PVC formado en el mezclador y enfriador. Dicho producto presenta formas circulares o cilíndricas, de longitudes de aproximadamente 5mm.

PHR: unidad de medida que corresponde a las partes por cien de resina pura de PVC utilizadas en las proporciones de mezclas del diseño experimental.

POLIMERO: son macromoléculas formadas por la unión repetida de una o varias moléculas unidas por enlaces covalente, son de origen natural o sintético y se forman por reacciones de polimerización.

PURGA: es compuesto de PVC que ingresa a la inyectora pero no se lleva a los moldes. Este tipo de material se retira de la máquina Ottogalli 3 con el objetivo de evitar contaminar con material carbonizado o contaminado el producto final. La purga se realiza controladamente por un operario, la cual se lleva al proceso de recuperación.

SCRAP: es el conjunto de botas de PVC no conformadas, es decir, el producto defectuoso obtenido del proceso de inyección, el cual proviene de las máquinas Ottogalli 1, 2, 3, 4 y 5. La no conformidad del producto se manifiesta con diversos defectos como pierna contaminada, pierna quemada, mala dispersión del material, filtración, exceso de rebaba, escaso material, entre otros.

SUELA DESPEGADA: defecto que se manifiesta en el producto cuando parte de la suela no queda adherida a la caña.

TERMOPLÁSTICO: material polimérico que puede fundirse y moldearse en repetidas ocasiones sin degradarse

TEXTIL DE POLIESTER: el poliéster es una fibra sintética proveniente de los polímeros, cuya cadena está formada por monómeros unidos por funciones éster,

se utiliza para la elaboración de medias las cuales van en el interior de las botas de PVC.

VION: es el material proveniente de diversas fuentes de PVC, el cual ha sido recuperado en procesos como homogenización y laminado (molino de rodillos), disminución de tamaño (molino de cuchillas) e inyección (Ottogalli 3) para poder ser reincorporado al proceso.

RESUMEN

En el desarrollo de una propuesta de mejora en el proceso de recuperación de material no conforme, se realizó un diagnóstico de dicho proceso antes de la implementación del proyecto, en donde se encontraron un conjunto de falencias en la forma de operar de los trabajadores, las cuales contribuyen a la generación de producto no conforme en el proceso. Con la información recolectada, se proponen las primeras recomendaciones para mejorar las características del material recuperado, las cuales se mencionan al final del capítulo 2.

Posteriormente, se realizó el diseño pre-experimental y la experimentación de las alternativas descritas en el tercer capítulo, en donde en primera medida se varían los calibres en el molino de rodillos, se realiza un análisis por tamizado al material recuperado triturado, se varían proporciones de diversas fuentes de dicho material y finalmente se evalúan tres diferentes mezclas de compuesto virgen de policloruro de vinilo (PVC) con el recuperado. Cada una de las experimentaciones tuvo el objetivo de comprobar o rechazar un conjunto de hipótesis planteadas para cada alternativa.

En las experimentaciones se recolectaron los datos de producto no conforme, los defectos de calidad de las botas y las temperaturas manejadas en el proceso de inyección. Dichos datos fueron comparados con los históricos manejados por la empresa (a excepción de las temperaturas, las cuales se contrastaron con valores teóricos), para determinar un antes y un después en el proceso de recuperación y de inyección de las líneas de color negro que utilizan material recuperado. De acuerdo a los análisis realizados, se exponen las propuestas de mejora del proceso de recuperación, para aprovechar el compuesto de PVC recuperado en la etapa de inyección.

Para darle una propuesta de valor al proyecto, se comparan los costos del proceso de recuperación mes a mes, centrandó la vista al tratamiento de las picas o *scrap*. En este aspecto, se enfatiza en la importancia de la reducción del costo si se disminuye el porcentaje de producto no conforme en el proceso de inyección.

Finalmente, se exponen un conjunto de recomendaciones para continuar en la tarea de disminuir el producto no conforme en la etapa de inyección, considerando el diagnóstico, las experimentaciones y los análisis realizados en el proyecto.

Palabras clave: Defectos, fuentes de material no conforme, inyección, mezclas, *scrap*, VION

INTRODUCCIÓN

Alrededor del 8% de las botas de PVC fabricadas por Croydon Colombia S. A, presentan defectos de calidad que afectan la producción del proceso. De acuerdo a lo anterior y a que el departamento de calidad busca estrategias para reducir dicho porcentaje hasta 3,8%, se planeó el presente proyecto, en donde se enfocaron las propuestas hacia mejorar las características del material recuperado.

Las propuestas realizadas en el proyecto, fueron pensadas para contribuir a la reducción del producto no conforme relacionado con el material recuperado negro.

De acuerdo a los antecedentes, en donde se mencionan diversas formas de recuperar plásticos e incorporarlos a nuevos procesos de transformación, es importante aclarar que el proceso de recuperación manejado por Croydon Colombia S. A. es estrictamente mecánico. Dichos procesos involucran la homogeneización del material, disminución de tamaño, mezcla del material reciclado con compuesto virgen y la implementación de un proceso de transformación, que para este proyecto es inyección. Por lo anterior, se plantearon un conjunto de alternativas que involucran a los equipos utilizados en el dicho proceso, para determinar la influencia de las variables de las máquinas en el producto no conforme.

En la ejecución de las alternativas, se realizó un diagnóstico que permitió identificar las falencias del proceso y determinar las condiciones de éste antes de ejecutar el proyecto. De acuerdo a ese diagnóstico se plantean unas recomendaciones que se llevan a cabo durante las experimentaciones.

Debido a que en cada experimentación fue evaluado un factor o variable, los resultados fueron encadenados, para al final, en la última alternativa ejecutada, encontrar los valores más bajos del porcentaje de *scrap*, los cuales se acercan a la meta propuesta por el departamento de calidad en cuanto a la reducción de la no conformidad en las líneas de botas de PVC.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta de mejora en el proceso de recuperación de material no conforme en la producción de botas de PVC para la empresa Croydon Colombia S.A.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar el proceso actual de recuperación de material no conforme.
- Determinar las características apropiadas del material no conforme en la etapa de recuperación.
- Evaluar los cambios de las características del material no conforme en la etapa de inyección y su influencia en el producto final.
- Comparar la variación de costos totales del proceso de recuperación en el estado inicial y final del proyecto.

1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se exponen los conceptos principales que se deben considerar para contextualizar el contenido del trabajo. Las definiciones se relacionan directamente con el material utilizado, los equipos involucrados en el proceso de recuperación y transformación del policloruro de vinilo, y la terminología común utilizada por Croydon Colombia S. A. en el proceso de producción de botas de PVC.

1.1 POLICLORURO DE VINILO (PVC)

Es uno de los polímeros más usados a nivel mundial, y su monómero (cloruro de vinilo) se puede obtener de dos recursos naturales: sal (cloro) y petróleo (etileno). El PVC es termoplástico, característica que le permite ser sometido a cambios de temperatura para ser nuevamente moldeado sin sufrir cambios en su estructura química¹.

Las propiedades del policloruro de vinilo están relacionadas directamente con el peso molecular promedio que adquiera después del proceso de polimerización, y de acuerdo a este uso está recomendado para ser usado como PVC rígido o flexible; y junto con aditivos puede ser sometido a procesos de extrusión o inyección para tomar la forma de un producto final.

Para el PVC flexible se implementa principalmente el polímero obtenido por suspensión, gracias a que este proceso le permite a la partícula tener la porosidad suficiente para poder absorber el plastificante².

1.2 ADITIVOS PARA EL PVC EN LA PRODUCCIÓN DE BOTAS

Los siguientes aditivos son utilizados por Croydon Colombia S. A. en la formulación del compuesto de PVC flexible para la producción de botas.

1.2.1 Plastificantes. En una definición muy general, un plastificante es un material que se incorpora en otro que usualmente es plástico o elastómero para darle propiedades de flexibilidad, elongación, trabajabilidad o distensibilidad. El plastificante puede ayudar a reducir la temperatura de transición vítrea o reducir el módulo de elasticidad del polímero aditivado³.

¹ PATRICK, Stuart. Practical Guide to Polyvinyl Chloride. illustrated edition ed. GB: Ismithers Rapra, 2005. p. 1.

² WILKES, Charles E.; SUMMERS, James W. And DANIELS, Charles A. PVC handbook. Munich [u.a.]: Hanser, 2005.

³ Ibíd., p. 175.

De acuerdo con Wilkes⁴, para que un plastificante sea útil en su uso con PVC debe tener una parte polar que tenga afinidad con el polímero creando una interacción que le de las propiedades mencionadas anteriormente y una parte apolar que controle la interacción para evitar que se destruya la cristalinidad del plástico. El balance entre la parte polar y apolar del aditivo es fundamental para la compatibilidad entre este y el PVC.

1.2.2 Estabilizantes térmicos. Estos aditivos ayudan a retardar la deshidrocloración y oxidación del material que causa a futuro que el producto se fragmente. Adicionalmente, un estabilizante térmico ayuda a reparar los daños que ya tenga el polímero y tiene la capacidad de reaccionar con radicales libres para evitar que el PVC pierda su color por ser sometido a estrés, altas temperaturas o procesos fotoquímicos. En ocasiones puede actuar como lubricante⁵.

Existen diferentes tipos de estabilizantes térmicos que en esencia son sales metálicas o jabones, y están presentes en forma sólida o líquida.

1.2.3 Cargas o rellenos. Son materiales (comúnmente minerales) que se utilizan principalmente para reducir el costo de la resina de PVC, aunque también pueden ayudar a mejorar características físicas del compuesto. De acuerdo a eso, es importante que la carga tenga propiedades ópticas, pureza y tamaño de partícula específicos⁶.

La carga aumenta la densidad del compuesto y tiene influencia en el acabado superficial de la resina y el material más empleado es el carbonato de calcio (CaCO_3)⁷.

1.2.4 Pigmentos. Son aditivos que absorben parte de las ondas que están dentro del espectro visible (longitud de onda entre 400 y 700 nm), y reflejan o transmiten el resto, creando así la percepción al cerebro un color en especial (longitud de onda reflejado). El pigmento que absorbe todas las longitudes de onda es de color negro, cuando las transmite todas su color es blanco.

Los pigmentos, a diferencia de las tintas, son poco solubles al medio en donde se encuentran generalmente en forma de polvo, por lo cual el tamaño de partícula de este tipo de colorante es muy importante para su adecuada dispersión en el material polimérico.

⁴ Ibíd., p. 175.

⁵ PATRICK, op. cit, p. 22.

⁶ WILKES, op. cit, p. 235.

⁷ PATRICK, op.cit, p. 44.

Dependiendo del color, se van a agregar más o menos partes de pigmento por 100 partes de PVC.⁸

1.2.5 Lubricantes. Son compuestos que disminuyen la fricción entre partícula-partícula y partícula-limites externos. Los primeros, generalmente son llamados lubricantes internos, gracias a que son más compatibles con la resina de PVC; los segundos son lubricantes externos, puesto que son incompatibles con el policloruro de vinilo en su estado visco elástico. Como lubricantes externos se pueden utilizar ácido esteárico, ceras de parafina, estearato cálcico, entre otros con similares características. En cuanto a los lubricantes internos se emplean derivados de ceras, alcoholes de cadena larga, ésteres de glicerol, ácidos grasos entre otros⁹.

1.3 EQUIPOS INVOLUCRADOS EN EL PROCESO DE RECUPERACIÓN Y PRODUCCIÓN DE BOTAS DE PVC

Los equipos descritos en los siguientes numerales realizan operaciones de homogeneización y laminado, corte y trituración, mezcla e inyección para reutilizar el material recuperado de PVC en la empresa.

1.3.1 Molino de rodillos. Este equipo es utilizado para plastificar y mezclar elastómeros o termoplásticos. El molino de rodillos cuenta con dos cilindros que son calentados con agua a elevadas temperaturas (alrededor de 90-100°C para tratar el PVC) y que giran en sentidos contrarios para lograr atrapar el material añadido, disminuyendo su tamaño y posteriormente homogeneizándolo. De esta máquina se obtienen láminas del material trabajado.

1.3.2 Molino de cuchillas. Es una máquina rotativa con hileras de cuchillas montadas sobre un soporte fijo, los cuales están aislados dentro de una carcasa comúnmente llamada cámara de molienda. La distancia entre cuchilla-cuchilla y cuchilla-carcasa es de apenas unos pocos milímetros y, por acción de la gravedad y el giro de las cuchillas, se va cortando el material hasta que alcanza el tamaño adecuado para salir de la cámara de molienda y ser depositado en un embudo recolector u otro sistema de almacenamiento¹⁰.

⁸ GROSSMAN, Richard F. Handbook of vinyl formulating. 2. ed. ed. Hoboken, NJ: Wiley-Interscience, 2008. p.137

⁹ PATRICK, Stuart. PVC Compounds and Processing. Shrewsbury: iSmithers Rapra Publishing, 2004. p.20.

¹⁰ CÁRDENAS, Daniel; SHOMAR, Bernardo and SOLORIO, Alejandro. Análisis de cuchillas de molino para termoplásticos MOD. 2650 y diseño para una mayor duración. Instituto Politécnico Nacional, 2012. p. 5.

1.3.3 Mezclador Henschel. Es un equipo que se utiliza para obtener el compuesto de PVC por medio de la mezcla vigorosa del polímero y sus aditivos. El Henschel cuenta con dos cuchillas rotatorias en el fondo del recipiente mezclador. La velocidad de dichas cuchillas es variable, el cizallamiento en el proceso es extremadamente alto y la distancia entre cuchillas puede cambiar con ayuda de espaciadores¹¹.

El trabajo mecánico de la máquina y la fricción entre partículas permite que el polímero aumente su temperatura para poder agregar los aditivos en el siguiente orden: PVC, estabilizantes, lubricantes y plastificantes y rellenos¹².

1.3.4 Enfriador. El enfriador es un equipo complementario al mezclador en donde se agrega el pigmento al compuesto de PVC y, como su nombre lo indica, enfría la resina. El enfriador es un recipiente de diámetro largo y bajo peso, equipado con una serie de aspas (que giran a velocidades relativamente bajas) que tienen como función agitar el material para que éste gradualmente disminuya su temperatura¹³.

1.3.5 Peletizadora. La peletizadora utilizada por la empresa está formada principalmente por¹⁴:

- **Extrusor:** Encargado de fundir el material de forma continua (a diferencia del proceso de inyección) y de empujarlo hacia la boquilla.
- **Malla de peletizado:** Cumple la función de boquilla, esta herramienta le da el diámetro al *pellet* que sale en forma de tirillas.
- **Cuchilla rotatoria:** Herramienta que determina la longitud del *pellet*. Se encuentra justo fuera del extrusor y al lado de la malla de peletizado.

1.3.6 Máquina inyectora. Esta máquina tiene como función producir piezas discontinuas a partir de masas de moldeo (en este caso el compuesto de PVC), utilizando elevadas presiones en el proceso. El principio de funcionamiento de la máquina consiste esencialmente de calentar el material (que viene en forma de *pellet*) para transformarlo en una masa plástica dentro de un cilindro de plastificación para inyectar el material posteriormente a un molde por acción del movimiento de un husillo¹⁵.

¹¹ NASS, Leonard. Encyclopedía of PVC. Segunda ed. Nueva York, Estados Unidos: Dekker, 1992. p. 30.

¹² HERRERA, Andrés. Introducción a los polímeros, Cloruro de polivinilo PVC. Bogotá, Colombia: 2016. p. 11.

¹³ NASS, op. cit, p. 31.

¹⁴ RODRÍGUEZ, Juan and HELGUERO, Manuel. Diseño de una máquina peletizadora para laboratorio. [Consultado el 20 de mayo de 2017]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/2148/1/4250.pdf>

¹⁵ BODINI, Gianni and PESSANI, Franco. Moldes y máquinas de inyección para la transformación de plásticos. Segunda ed. México D. F.: McGraw-Hill, 1992. p. 184.

A nivel general, la máquina inyectora cuenta con cuatro partes características que son¹⁶:

- **Unidad de inyección:** Consta del cilindro de plastificación, el husillo, y el conjunto de resistencias que indirectamente calientan el material.
- **Unidad de cierre:** Sistema hidráulico que contrarresta la fuerza que ejerce el material inyectado sobre el molde, evitando con esto que la herramienta utilizada se abra generando rebabas en la pieza.
- **Unidad del proceso de control:** Es un controlador lógico programable que permite ajustar los parámetros en el proceso de inyección.
- **Unidad de potencia:** Son sistemas eléctricos, hidráulicos y mecánicos que transmiten la energía necesaria para llevar a cabo el proceso de inyección.

1.3.6.1 Parámetros principales a tener en cuenta en el proceso de inyección. A continuación se presentan los cuatro parámetros más importantes involucrados en la inyección de botas de PVC, en donde a nivel general se encuentran variables como velocidades, fuerza de cierre, presiones y temperaturas¹⁷.

- **Velocidades.** Dentro de las velocidades manejadas durante la inyección están: Velocidad de inyección, la cual determina la expansión del material en el molde y; velocidad de giro del husillo, esta variable es fundamental para transportar el compuesto, plastificarlo y llevarlo hacia la boquilla del inyector.
- **Fuerza de cierre.** Esta fuerza está controlada por la unidad de cierre, y se calcula por la presión que ejerce el material dentro del molde y el área proyectada del instrumento que ejerce la presión.
- **Presiones.** Durante el proceso, se identifican diversos tipos de presiones como: Presión de inyección, que es requerida para vencer la resistencia del material a fluir por el cilindro; contrapresión, la cual es ejercida por el material en la punta del husillo que obliga al compuesto fundido a retroceder (esta variable puede modificarse con la velocidad de giro del husillo).
- **Temperaturas.** Gracias a que la viscosidad es un parámetro fundamental para la determinación del movimiento de los fluidos (en este caso el policloruro de vinilo), es importante controlar las temperaturas manejadas en el proceso de inyección para evitar la aparición de defectos en el producto final. Es por esto,

¹⁶ ARENAS, Pedro. Parametrización del proceso de inyección en plásticos de ingeniería. México, D. F.: Universidad Nacional Autónoma de México, 2014. p. 11.

¹⁷ *Ibid.*, p. 35, 36, 37, 40, 45.

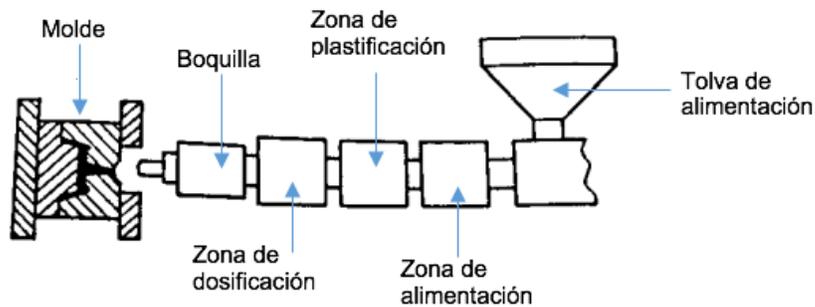
que Bodini y Pessani proponen el manejo de un rango de temperaturas específico para cada una de las zonas principales de la máquina inyectora (figura 1); dichos valores relacionados en la tabla 1 se recomiendan para el proceso de inyección de compuestos de PVC flexibles.

Tabla 1. Valores típicos de temperaturas programadas en una máquina inyección para la transformación de PVC flexible teniendo en cuenta las zonas de la figura 1.

Zona	Valor inferior (°C)	Valor superior (°C)
Alimentación	130	160
Plastificación	140	170
Dosificación	150	180
Boquilla	150	180
Molde	20	40

Fuente: BODINI, Gianni and PESSANI, Franco. Moldes y máquinas de inyección para la transformación de plásticos. Segunda ed. México D. F.: McGraw-Hill, 1992. p. 119.

Figura 1. Zonas principales de una máquina de inyección.



Fuente: BODINI, Gianni and PESSANI, Franco. Moldes y máquinas de inyección para la transformación de plásticos. Segunda ed. México D. F.: McGraw-Hill, 1992. p. 119.

En el caso específico de la máquina inyectora utilizada por Croydon Colombia S. A. (equipo comúnmente llamado Ottogalli 3), ésta presenta cinco temperaturas a controlar durante el proceso de inyección, las cuales están relacionadas a continuación:

- Z-3: Corresponde a la zona de alimentación.
- Z-2: Zona donde empieza a fundirse y comprimirse el material.
- Z-1: Zona de plastificación.
- BOQUILLA: Zona de dosificación del material.
- PAI: En esta zona se utiliza la ayuda de un émbolo para la inyección del PVC.

Los parámetros mencionados anteriormente dependen uno del otro para llevar a cabo exitosamente el proceso de inyección y, un mal manejo o control de dichas variables ocasiona un conjunto de defectos que se verán con más detalle en el siguiente numeral.

1.4 TERMINOLOGÍA CROYDON

Los términos que se explican a continuación están relacionados con los defectos del producto no conforme presentes en la etapa de inyección. También se definen las diversas fuentes de material a recuperar por la empresa. Cada concepto se apoya con imágenes, las cuales fueron tomadas directamente del proceso de producción de botas de PVC y permiten ilustrar al lector los términos más utilizados en el trabajo.

1.4.1 Escaso material en pierna, suela y puntera. Es un defecto que se presenta posteriormente al proceso de inyección y se debe a que el material en la máquina inyectora no es suficiente para llenar los moldes, lo que se asocia con el uso de presiones bajas durante el tiempo de inyección y; manejo de temperaturas bajas, en donde se ve afectada la viscosidad del material (evitando una mayor fluidez). El escaso material se manifiesta cuando el molde no se llena completamente, por lo que el producto sale incompleto.

En la imagen 1 se observa el defecto escaso material suela. En el caso de la pierna, el defecto se manifiesta de la misma forma.

Imagen 1. Defecto de suela escaso material que se presenta en la producción de botas de PVC.



1.4.2 Exceso de rebaba. Defecto visto en el producto, el cual se puede identificar cuando en la bota se presenta exceso de material que se rebosó del molde. Se debe al aumento de temperatura y la baja viscosidad del material. Otras causas pueden deberse a tiempos de inyección prolongados, presiones de inyección altas, inyección excesiva del PVC. Es posible que este problema se presente al tiempo con pierna quemada. En la imagen 2 se aprecia la manifestación de este defecto en una bota de la línea La Macha alta.

Imagen 2. Defecto de exceso de rebaba que se presenta en la producción de botas de PVC.



1.4.3 Filtración de material. En términos generales, es un defecto en la bota que se identifica cuando el material de la pierna (caña) ocupa el espacio de la suela o viceversa. Más específicamente, se presentan los siguientes casos:

- **Filtración caña-suela:** Ocurre cuando se inyecta la caña y en algunos casos presenta un exceso de rebaba, generando que ocupe parte del espacio perteneciente a la suela.
- **Filtración suela-caña:** En este caso, este defecto se presenta debido a una alta presión de la inyección de la suela; causando que el material de la caña se desplace.

En ocasiones, la filtración de material se manifiesta cuando en una única unidad de producto la suela ocupa el espacio de la pierna y, la caña ocupa el espacio de la suela. Esto se debe al uso de presiones elevadas en la inyección de la suela, causando un desplazamiento del PVC que conforma la pierna de la bota. Lo anterior se ilustra en la imagen 3.

Imagen 3. Defecto de filtración de material que se presenta en la producción de botas de PVC.



1.4.4 Mala dispersión del material. Defecto en las botas que se presenta principalmente cuando el compuesto contenido en el inyector no se funde completamente, lo cual se va a manifestar con partes del material sin fundir en el producto, haciendo que la superficie de la bota no se vea uniforme. Este defecto se aprecia en la imagen 4, en donde la mala dispersión del material se encuentra dentro de la franja blanca.

Imagen 4. Defecto de mala dispersión del material que se presenta en la producción de botas de PVC.



1.4.5 Pierna contaminada. Defecto en el producto ocasionado por la presencia de material diferente al compuesto de PVC utilizado en el proceso de inyección de un producto en especial. Este problema manifiesta de dos formas:

- **Directa:** Presencia de material de PVC de otro color, debido a una mala homogenización en el material recuperado; presencia de material textil como la media de poliéster y barrido de material.
- **Mixta:** Presencia de material diferente al PVC (como el caucho o partes metálicas), que se mezcla con el material recuperado y llega a las máquinas inyectoras provocando este defecto.

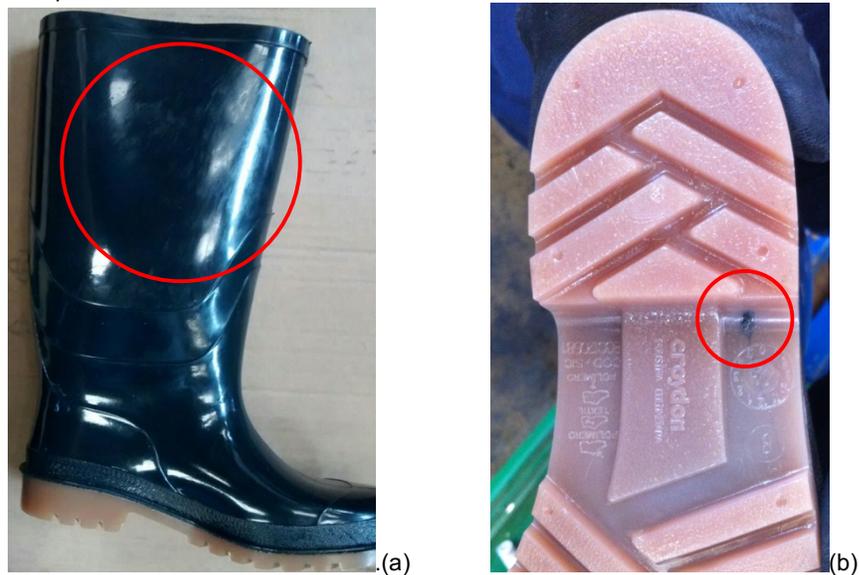
Un defecto que la empresa considera independiente, pero que maneja el mismo concepto del problema mixto es **pierna contaminada por media**, en donde el producto final en su superficie presenta partes de textil de poliéster proveniente del material recuperado. En la imagen 5 se resaltan los defectos de pierna contaminada directa y pierna contaminada por media. Este defecto no debe confundirse con media filtrada, el cual se relaciona con el textil de poliéster que el operario coloca en el molde previo a la inyección del compuesto de PVC; en cambio el textil presente en el defecto de pierna contaminada por media se debe al *scrap* que llega al proceso de recuperación.

Imagen 5. Defecto de pierna contaminada por PVC de otro color (a) y perna contaminada por media (b) que se presentan en la producción de botas de PVC.



1.4.6 Pierna y suela quemada. Son dos defectos que se presentan cuando el compuesto de PVC se degrada, debido al uso de temperaturas elevadas en el proceso de inyección. La pierna y suela quemada se manifiestan cuando el producto presenta una apariencia carbonizada u opaca como se observa en la imagen 6.

Imagen 6. Defecto de pierna quemada (a) y suela quemada (b) que se presentan en la producción de botas de PVC.



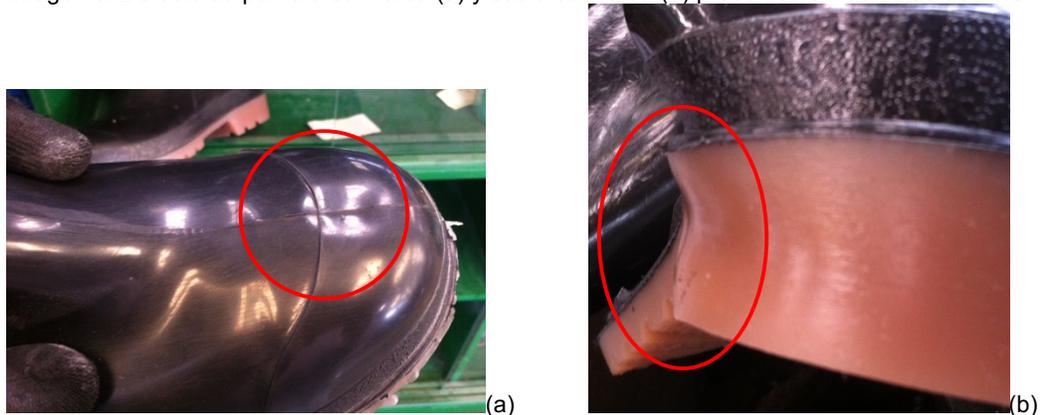
1.4.7 Puntos de inyección. Son los residuos de PVC que se depositan en los orificios que sirven como canal para transferir el plástico desde la máquina inyectora hacia los moldes correspondientes, lo cual se puede apreciar en la imagen 7 (a). De acuerdo a lo anterior, los puntos de inyección aparecen en cada una de las estaciones de las máquinas Ottogalli a la hora de llenar los moldes. Este residuo es retirado por un operario y se clasifica por colores en bolsas para su recolección y posterior reincorporación al proceso (imagen 7 (b)).

Imagen 7. Material denominado como puntos de inyección cuando está en los orificios entre la boquilla y el molde (a) y cuando se lleva a bolsas de acuerdo a su color (b).



1.4.8 Puntera y suela contraída. Defectos visto en diversas zonas de la bota de PVC, los cuales se deben al uso de presiones e inyección demasiado bajas. También puede estar asociado a temperaturas bajas en el molde, causando que el material se contraiga y se manifieste con lo que varios autores denominan como rechupes o huecos. En la imagen 8, se aprecia claramente la manifestación de dichos defectos.

Imagen 8. Defecto de puntera contraída (a) y suela contraída (b) presentes en las botas de PVC.



1.4.9 PVC recuperado post-consumo. Se trata del PVC proveniente del Programa de Post-consumo, el cual es liderado por el Departamento de Gestión Ambiental y consiste en que los clientes finales hagan devolución de las botas de PVC una vez terminada su vida útil para obtener de ello beneficios de tipo ambiental y económico.

1.4.10 Bota sin media. Es el material inyectado a los moldes que no está destinado para ser producto final, debido a que sobre los moldes no se pone previamente el textil de poliéster (media). Dicho proceso se lleva a cabo cuando la máquina inyectora empieza a trabajar después de haber estado varias horas detenida.

2. DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN PREVIO A LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

Desde el año 2007, Croydon Colombia S. A. ha manejado el proceso de recuperación descrito en el numeral 2.1, dándole uso a material no conforme represado en periodos anteriores, pero en el afán de convertir ese PVC, no se ha realizado un análisis exhaustivo sobre la influencia que puede tener el recuperado sobre el producto terminado.

De acuerdo a lo anterior, se realizó un diagnóstico del proceso de recuperación actual describiéndolo con ayuda del diagrama 1. Posteriormente se identificaron una serie de causas-problema que se presentan a lo largo de las etapas involucradas en la recuperación y se relacionaron con los defectos del producto terminado. Finalmente se plantean unas recomendaciones que pueden ayudar a disminuir el impacto de las causas-problema sobre los defectos de las botas o evitar el daño en los equipos involucrados en este proceso.

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN ACTUAL

Comparando métodos de reciclaje mecánico de plásticos mencionado por Al-Salem¹⁸ junto con el proceso de recuperación que implementa Croydon Colombia S. A. para reincorporar el material no conforme, se encuentran métodos de homogeneización, corte (disminución de tamaño de VION) y moldeo (por inyección) que se llevan a cabo en equipos como un molino de rodillos, molinos de cuchillas y máquinas inyectoras. Cada una de estas máquinas reciben material no conforme de diferentes fuentes como:

- Puntos de inyección.
- Bota sin media.
- Picas o *scrap*.
- Recorte de botas Disney.
- Material de las peletizadoras que se contamina al cambio de color.
- Material post-consumo y devoluciones por calidad.
- Purgas.
- Barredura (material PVC que cae al suelo).
- Gollete.

La empresa maneja tres turnos que van así:

- **Primer turno:** Desde las 22:00 hasta las 6:00
- **Segundo turno:** Desde las 6:00 hasta las 14:00

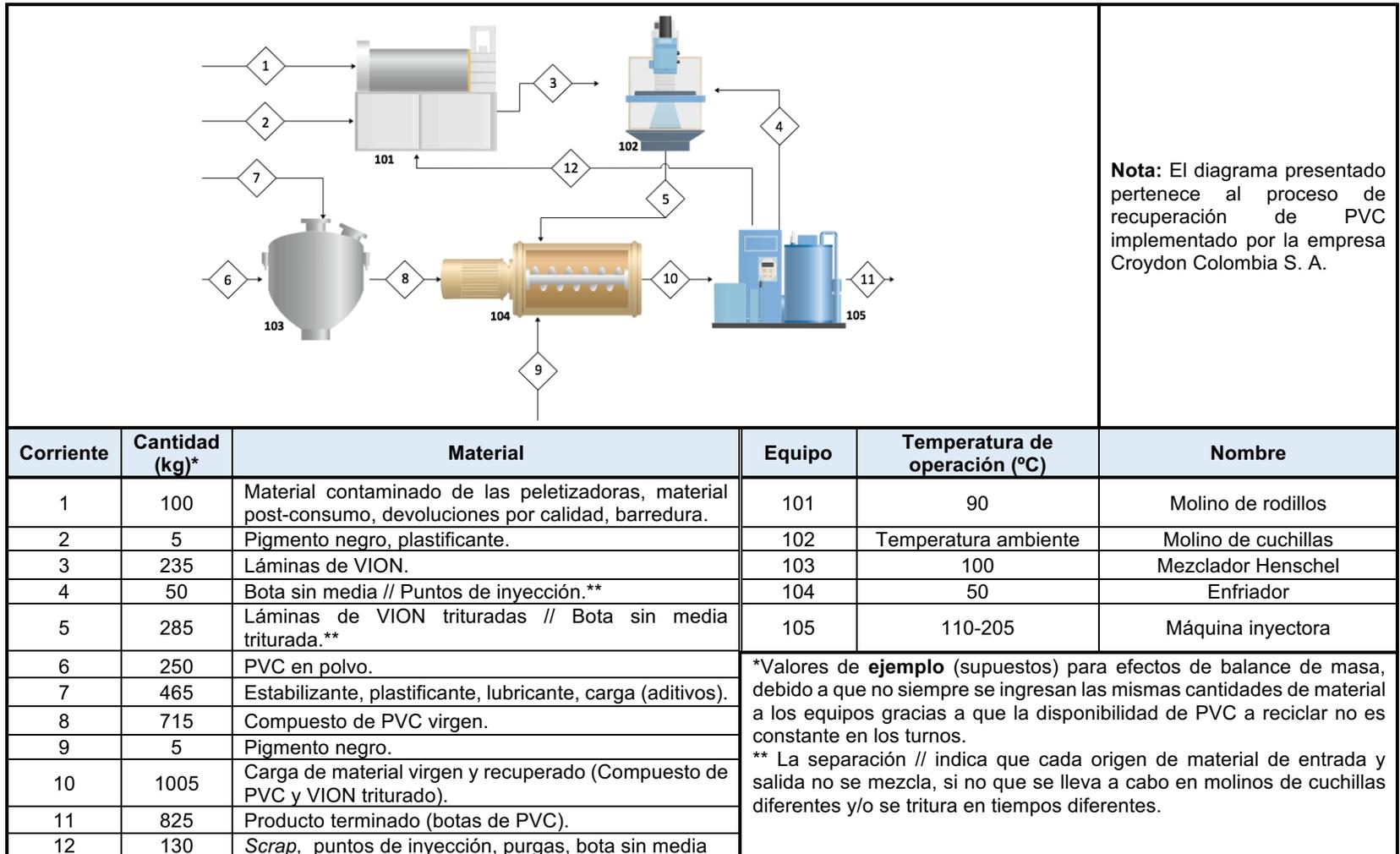
¹⁸ AL-SALEM, S. M.; LETTIERI, P. and BAEYENS, J. Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. En: WASTE MANAGEMENT. vol. 29, no. 10, p. 2625-2643

- **Tercer turno:** Desde las 14:00 hasta las 22:00

En cuanto a los turnos en los que se realiza cada etapa, el proceso de homogeneización y laminado se ejecuta en el segundo y tercer turno; disminución de tamaño de VION en el primer turno y en ocasiones en el segundo turno (esta actividad sólo se realiza en un turno por día); el mezclado se realiza en los mismos turnos de la homogeneización y laminado; y finalmente la inyección se realiza en los tres turnos. Todo el proceso de producción de las botas de PVC se detiene el tercer turno del sábado para iniciar actividades nuevamente el primer turno del lunes (realmente inicia en la noche del domingo).

Para identificar rápidamente las operaciones que hacen parte del proceso de recuperación, se expone a continuación el diagrama 1, en donde se ilustra cada uno de los equipos involucrados junto con un balance de masa de ejemplo. El diagrama mencionado va a tomarse como referencia para indicar entradas y salidas en cada una de las etapas.

Diagrama 1. Diagrama de flujo del proceso (PFD) de recuperación de PVC implementado en la empresa Croydon Colombia S. A.



2.1.1 Homogeneización y laminado. Esta etapa inicia encendiendo el molino (equipo 101) para que los rodillos giren y alcancen la temperatura de operación de 90°C. La temperatura de transición vítrea es inferior a la especificada en el equipo, lo que indica que el PVC a 90°C empieza a comportarse como un “líquido altamente viscoso”, lo cual se manifiesta en un reblandecimiento del material¹⁹ (propiedad de viscoelasticidad en polímeros); esto permite manejar más fácilmente el PVC para formar banda en uno de los rodillos. Una corriente de agua de enfriamiento se encarga de que la temperatura no aumente considerablemente.

Posteriormente, el operario separa los rodillos a una distancia que puede llegar a los 8 mm y vierte entre los cilindros cantidades de material no conforme que pesan aproximadamente 30 kilogramos; este PVC es de colores variados por lo que se requiere homogeneizar. Lo anterior se ilustra en la imagen 9.

Imagen 9. Operario cargando material no conforme de PVC en el molino de rodillos.



Como se observa en la imagen anterior, los rodillos ayudan a realizar una disminución de tamaño del material, necesario para poder ejecutar la homogeneización. Cuando los flujos máxicos de las corrientes 1, 2 y 12 suman 350 kg aproximadamente, el operario en ocasiones reduce la distancia entre rodillos y con ayuda de una pala vierte de nuevo entre estos el material molido junto con una mezcla de negro de humo y ftalato de dioctilo (que en este caso ayuda a evitar que las partículas de negro de humo queden suspendidas en el aire) buscando formar lo que la empresa denomina **banda**; los aditivos se agregan hasta que la banda esté de color negro. En la imagen 10. se aprecia lo descrito anteriormente.

Cuando la banda está formada y homogeneizada, el operador con ayuda de un cuchillo corta la banda en forma de láminas para retirar el VION del proceso y así darle paso al nuevo material. Las láminas de VION que hacen parte de la corriente 3 del PFD (diagrama 1) son apiladas en una estiba que al final de cada turno se

¹⁹ PAINTER, Paul and COLEMAN, Michael. Fundamentos de ciencia de polímeros. 1st ed. Lancaster, Pennsylvania: Technomic Publishing Company. Inc., 1996.

pesa. Durante cada turno, se tratan entre 600 y 800 kg de material, es decir que en este periodo el molino de rodillos se carga dos veces de material.

Imagen 10. Operario vertiendo material molido entre rodillos para formar banda.



El origen del material no conforme que por obligación debe ser tratado en este equipo corresponde al *scrap* de color negro, el recorte de botas Disney, material contaminado por color de las peletizadoras, purgas, barreduras, material post-consumo y en general, aquel PVC que no presente uniformidad en el color. Cuando los molinos de cuchillas tengan material acumulado sin procesar o se encuentren en mantenimiento, el molino de rodillos para alivianar la aglomeración del PVC retenido debe recibir todos los orígenes del plástico.

2.1.2 Disminución del tamaño de VION. De acuerdo con el plano de la figura 2, el cuarto de recuperado cuenta con tres molinos de cuchillas, pero el proyecto y la siguiente descripción están centrados solamente en el molino 3, debido a que es el único que tritura las láminas de VION; en el diagrama 1 este equipo está representado con el número 102. La particularidad del molino escogido consiste en que tiene un sistema de aspiradora, que permite retirar parte del textil de poliéster que logra separarse del material recuperado cuando las cuchillas disminuyen el tamaño de las láminas.

En cuanto a la descripción de esta etapa, la disminución del tamaño del VION inicia cuando el operario se cerciora de que las láminas están a temperatura ambiente, si no es así es posible que las altas velocidades manejadas en las cuchillas y la fricción entre estas y el VION hagan que el plástico se pegue en las herramientas de corte. Verificado lo anterior, se enciende el molino de cuchillas para que manualmente se vierta lámina por lámina del material de la corriente 3 (usualmente se agrega más de una, saturando la capacidad del equipo) para reducir su tamaño; el VION triturado cae en una cámara de almacenamiento que se encuentra en la parte inferior de la máquina; al tiempo con este proceso, funciona el sistema de aspiración que ayuda a retirar parte del textil de poliéster que queda expuesto al realizar el corte del material. Cuando la cámara está llena, el operario de turno con ayuda de

una pala, retira el VION llenando sacos de lona que deben contener 24 kg del material. El tiempo promedio para obtener 4 bultos con las especificaciones dadas es de 14 minutos. En un periodo de ocho horas puede tratarse hasta una tonelada de material, dependiendo de la cantidad de láminas de VION disponibles a tratar. La descripción anterior se ilustra en las imágenes 11 y 12.

Figura 2. Plano del cuarto de recuperación de PVC de la empresa Croydon Colombia S. A.

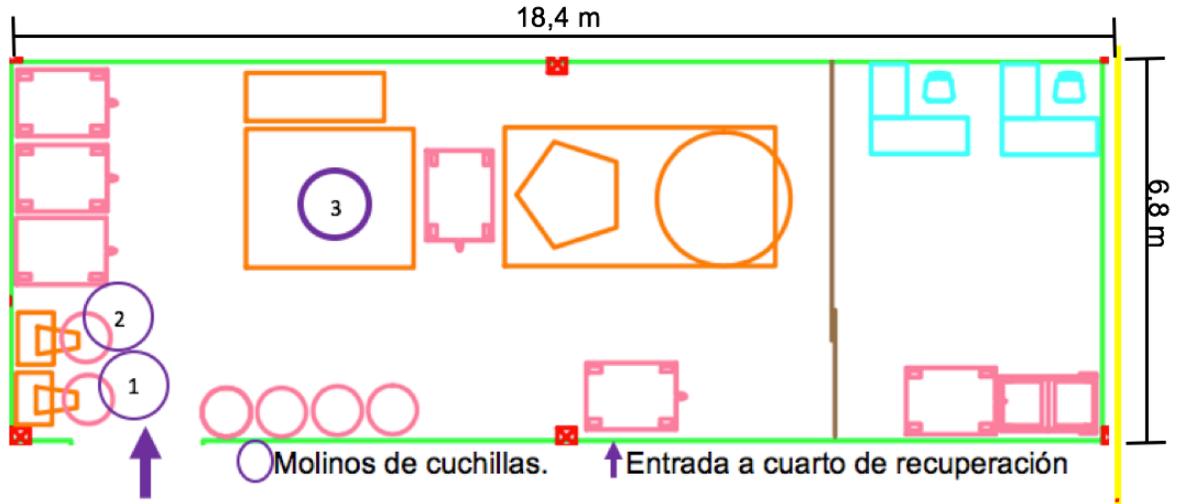


Imagen 11. Operario vertiendo las láminas de VION en el molino de cuchillas 3.



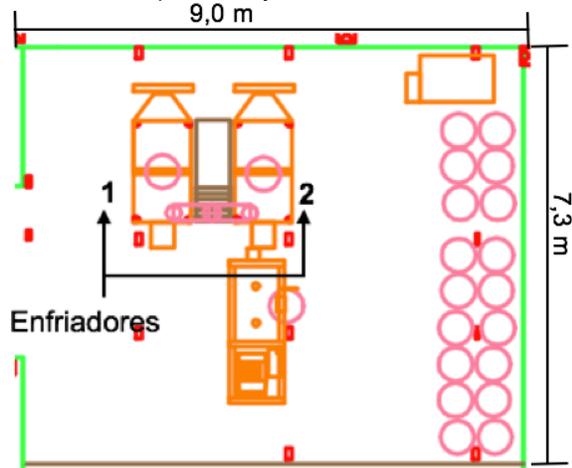
Imagen 12. Operario llenando sacos de lona de 24 kg cada uno.



Cuando falte media hora para terminar el turno o cuando se agote el material disponible para triturar, el trabajador debe situar las lonas de VION sobre una estiba que es llevada ulteriormente hacia el enfriador para seguir con su proceso de recuperación, lo cual se observa con la dirección que toma la corriente 5 del proceso de recuperación.

2.1.3 Mezcla de material puro con recuperado. Seguido al proceso de disminución del tamaño de VION, se prepara el material recuperado en los equipos 103 (enfriador 1 de la figura 3) y 104 para que sea aprovechado en la etapa de inyección. Dicha preparación involucra la mezcla del compuesto de PVC puro o virgen previamente elaborado junto con el material recuperado producto de las etapas descritas anteriormente.

Figura 3. Plano cuarto de mezclado y enfriamiento del PVC en la empresa Croydon Colombia S. A.



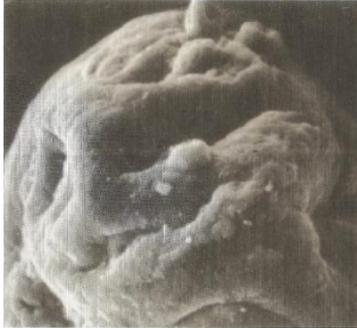
Para la elaboración del compuesto de PVC y de acuerdo con Herrera²⁰, en el equipo 103 se agregan en el orden siguiente la resina de PVC pura obtenida por suspensión, estabilizantes, lubricantes, plastificantes y cargas, las cuales se someten a agitación durante 20 minutos aproximadamente. La temperatura alcanzada en el proceso es de máximo 110°C, lo cual permite que la molécula del polímero se abra (imagen 13) para que en las grietas formadas entren los aditivos.

Posteriormente, el compuesto de PVC retenido en el equipo 103 se descarga en el enfriador que cuenta con aspas que ayudan a agitar el material para que reduzca su temperatura y se combine con el material recuperado proveniente de la corriente 4. Durante la operación del enfriador (equipo 104) se agrega el pigmento y el VION triturado y por 40 minutos se homogeneiza y se logra reducir la temperatura hasta 40-50°C. Las proporciones de las corrientes 5 y 8 pueden variar de acuerdo a los requerimientos del área de producción.

Cuando el proceso de mezclado termina, el material se vierte en unas canecas metálicas que son llevadas a las máquinas inyectoras para finalmente ser aprovechadas en el proceso de inyección; lo anterior se representa en la corriente 10 del PFD.

²⁰ HERRERA, op. cit, p. 11.

Imagen 13. Imagen microscópica de partícula de PVC obtenida por Suspensión.



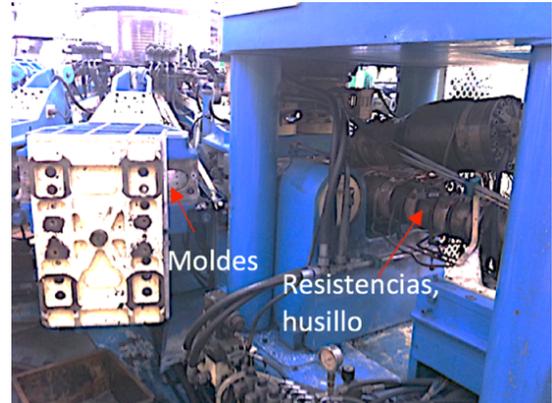
Fuente: HERRERA, Andrés. Introducción a los polímeros, Cloruro de polivinilo PVC. Bogotá, Colombia: 2016. p 11.

2.1.4 Moldeo por inyección. El material de la corriente 10 es depositado manualmente en una tolva que se puede apreciar en la imagen 14, la cual va descargando poco a poco el material hacia un husillo que va girando y arrastrando de esta manera el PVC hacia los moldes que le van a dar forma final al producto. A lo largo del husillo o tornillo sin fin de la imagen 15, se encuentran una serie de resistencias eléctricas que crean un perfil de temperaturas que según Piña²¹ ayudan a ablandar el plástico para que pueda ser inyectado a las hormas; la temperatura más alta presentada en la máquina inyectora (equipo 105) oscila entre 190 y 205°C.

Imagen 14. Tolva que descarga hacia el husillo la mezcla de material puro con recuperado.



Imagen 15. Máquina inyectora Ottogalli 3, en donde se observa el husillo que arrastra el material hacia los moldes.



²¹ ARENAS, op. cit, p. 11.

Siendo más específicos en la descripción del proceso de inyección, la máquina inyectora Ottogalli 3 cuenta con catorce estaciones que cuentan cada una con un molde diferente y es allí donde se solidifica el producto final; dos inyectores se encargan de poner la suela y la caña de la bota. Cuando se inyecta completamente el material a un molde, las estaciones se van moviendo una posición siempre en sentido de las manecillas del reloj para darle paso a otra horma de ser llenada; en este proceso las estaciones se acercan a los inyectores (para inyectar) y se alejan (para permitir la llegada de otro molde). El molde se abre cuando ha pasado por los dos inyectores y el material que contiene está en estado sólido. Lo anterior es un proceso completamente automatizado.

Listo el producto dentro del molde, el operario se encarga de retirar manualmente la botas del equipo y las lleva a unas bandas transportadoras para que otras personas retiren excesos de material (recorte zapatón) y revisen la calidad del calzado; Si el producto cumple con las características requeridas por el departamento de producción y calidad, se empaca en cajas de acuerdo a la talla y al estilo, para ser almacenado y posteriormente comercializado; Cuando no es así, el producto no conforme junto con material de purga y puntos de inyección se direccionan hacia el molino de rodillos (como se aprecia en la corriente 12 del diagrama 1), para ser transformado de nuevo en materia prima aprovechable a una nueva inyección.

2.2 IDENTIFICACIÓN DE POSIBLES CAUSAS Y PROBLEMAS PRESENTES EN EL PROCESO DE RECUPERACIÓN

Cada una de las etapas explicadas con anterioridad presenta un conjunto de causas que pueden ser el origen de problemas presentes en la etapa de inyección o que ayudan a acelerar el deterioro de los equipos involucrados en la etapa de recuperación.

2.2.1 Posibles causas que ayudan a la aparición de defectos de las líneas de botas que utilizan material recuperado. En este numeral se exponen el conjunto de causas que se asocian a los diversos problemas que se generan en el proceso de producción y recuperación de botas de PVC.

- En todos los pasos que la mezcla flexible de PVC debe realizar para poder obtener el producto deseado, por fallas humanas, el material en varias ocasiones cae fuera de los equipos y es necesario que los operarios lo recojan por medio de barrido, contaminando el plástico con partes metálicas (como tornillos, tuercas, entre otros), aceite lubricante, polvo y demás sustancias que no deben hacer parte del proceso de transformación.
- En la etapa de homogeneización y laminado, el operario usualmente dosifica cantidades equivocadas de pigmento negro y plastificante a la hora de formar

banda, lo que ocasiona que algunas láminas queden con partes de otras tonalidades y generar posteriormente defectos en las botas de color negro. Junto a este problema, se encuentra que el calibre utilizado no es estándar en el proceso, por lo cual se presume que esta variable puede influir en una buena o mala homogeneización.

- Como el *scrap* es un material que viene con textil de poliéster que no es posible separar por los medios existentes en la empresa, es necesario recuperarlo con este contaminante que puede influir en la calidad del producto final.
- Agregar más de dos láminas puede sobrecargar el equipo y frenar el proceso además de no lograr una disminución efectiva del tamaño, debido a que pueden quedar partes de material excesivamente grandes (hasta de 10 mm) que pueden causar problemas en la etapa de inyección.
- Con el paso del tiempo y por el desgaste que van sufriendo las cuchillas al realizar la operación de corte, estas van perdiendo filo, lo que hace más ineficiente el proceso, ocasionando que puedan salir partes del material de diámetros similares a los de la causa anterior.
- En la inyección, cuando el producto terminado aparece con carbonizaciones (pérdida de cloro en el polímero debido a temperaturas elevadas), el operario realiza purgas en el inyector para retirar el posible material quemado y sacar nuevas botas sin este defecto. Las purgas carbonizadas se usan de nuevo en el proceso.
- La temperatura del medio ambiente (la cual no es controlable y es variable en cada turno), influye en el aumento o disminución de diversos defectos. Por ejemplo: La suela despegada se presenta en mayor proporción en el primer turno que en los dos siguientes y; las imperfecciones que presentan partes quemadas se observan con mayor frecuencia en las últimas horas del turno dos e inicios del tercer turno.

2.2.2 Problemas. A continuación se expone brevemente el tipo de problemas asociados al proceso de producción y recuperación de PVC.

- El principal problema se evidencia en el producto terminado, el cual puede presentar defectos como pierna quemada, pierna contaminada, mala dispersión de material, filtración, exceso de rebaba, escaso material, entre otros (los cuales han sido explicados con anterioridad).
- En ocasiones, los equipos que hacen parte de la recuperación y de la inyección pueden averiarse debido a la presencia de contaminantes en el PVC, siendo los principales responsables los componentes metálicos.

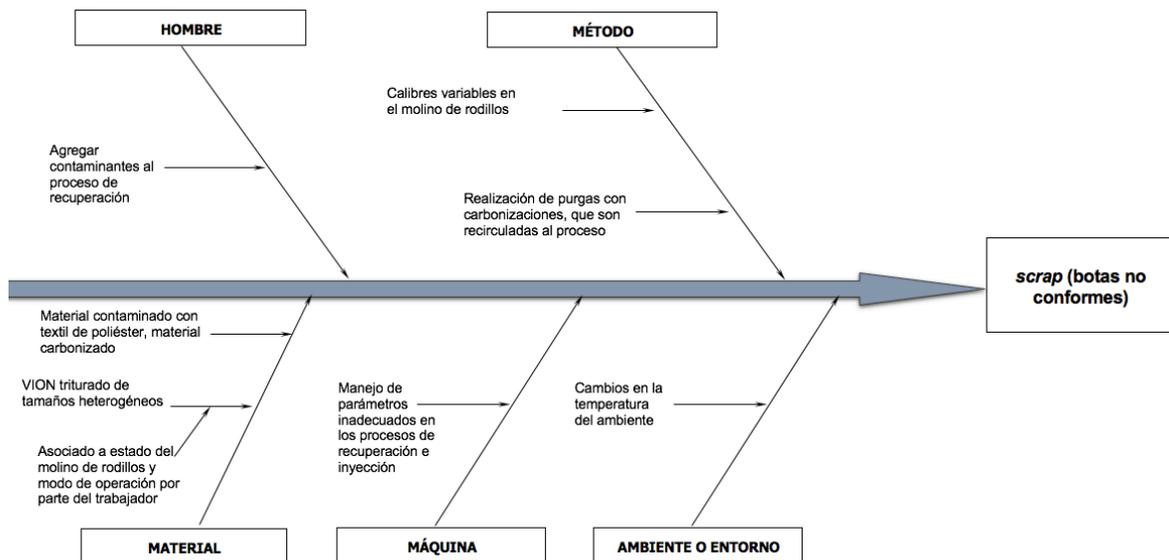
2.3 ANÁLISIS DE CAUSA-EFECTO

Haciendo uso de diagramas Ishikawa se exponen los defectos que se presentan en el producto terminado, enlazándolos con diversas causas que influyen en la no conformidad del producto. Para realizar los diagramas se consideran factores como: métodos preestablecidos por la empresa en la elaboración de las botas; características del material, forma de operar de los trabajadores y; las condiciones, parámetros y variables presentes en las máquinas involucradas. En la realización de los diagramas específicos para cada defecto, no se consideran factores medioambientales. Durante la elaboración de los diagramas se considera la información del numeral 2.2.

El utilizar este tipo de diagramas permite identificar las causas y efectos de un problema, ayudando con esto a planear rutas que permitan solucionar este último, sin obviar algún factor que influya sobre el problema a tratar. El diagrama de Ishikawa es conocido también como espina de pescado, causa-efecto o de Grandal²².

A continuación se expone un diagrama Ishikawa que relaciona las causas en general que generan el *scrap* en el proceso de producción de la línea de PVC. A diferencia de los diagramas específicos para cada defecto, en el diagrama 2 se considera la influencia del entorno.

Diagrama 2. Diagrama Ishikawa en donde se exponen las causas a nivel general que ocasionan la aparición de *scrap* en el proceso de producción de botas de PVC



²² DE SAEGER, Ariane; FEYS, Briggite and SÁNCHEZ, Martha. El diagrama de Ishikawa: Solucionar los problemas desde su raíz. 50minutes.es.

Los diagramas siguientes, presentan causas más específicas de acuerdo a los defectos analizados en cada Ishikawa.

En el diagrama 3 se mencionan una serie de causas considerando los factores mencionados al inicio de este numeral para los defectos pierna y suela quemada. En otras palabras, la presencia de un defecto en particular se puede presentar por un conjunto de causas en las que se debe trabajar para evitar el aumento de *scrap* en el proceso.

En cuanto al diagrama 4, las causas expuestas se refieren a los defectos pierna contaminada y pierna contaminada con media. La mayoría de factores que ocasionan estos defectos se asocian a las características del material recuperado, las cuales son dadas por los trabajadores cuando ejecutan los métodos de operación para cada equipo.

Para el defecto de mala dispersión de material, se asocian diversas causas mencionadas en el diagrama 5, en donde se identifican para los cuatro factores que intervienen en el proceso un conjunto de eventos que contribuyen al aumento del problema.

Los defectos como exceso de rebaba y filtración de material se manifiestan en el producto final cuando las causas (relacionadas en el diagrama 6) para los factores de método, material y máquina se generan en el proceso. En este caso, la causa referente al método es a su vez, el origen para que las demás causas surjan en el proceso.

El defecto de media filtrada en el producto a pesar de ser uno de los más representativos del proceso (como se verá en el cuarto capítulo), es un problema que no presenta gran cantidad de causas que se puedan asociar a éste. En el diagrama 7 se mencionan los posibles orígenes del defecto media filtrada.

Los defectos de escaso material que se presentan en diferentes zonas de la bota, se presentan por las mismas causas, por lo cual se habla de éstos como si fueran uno en el diagrama 8.

En el diagrama 9, los defectos de suela y puntera contraída también se asocian a las mismas causas.

Las causas asociadas al defecto suela despegada, son expuestas en el diagrama 10, en donde tienen participación los cuatro factores mencionados al inicio de este numeral.

Diagrama 3. Diagrama Ishikawa para analizar la aparición de los defectos de pierna y suela quemada en las botas de PVC.

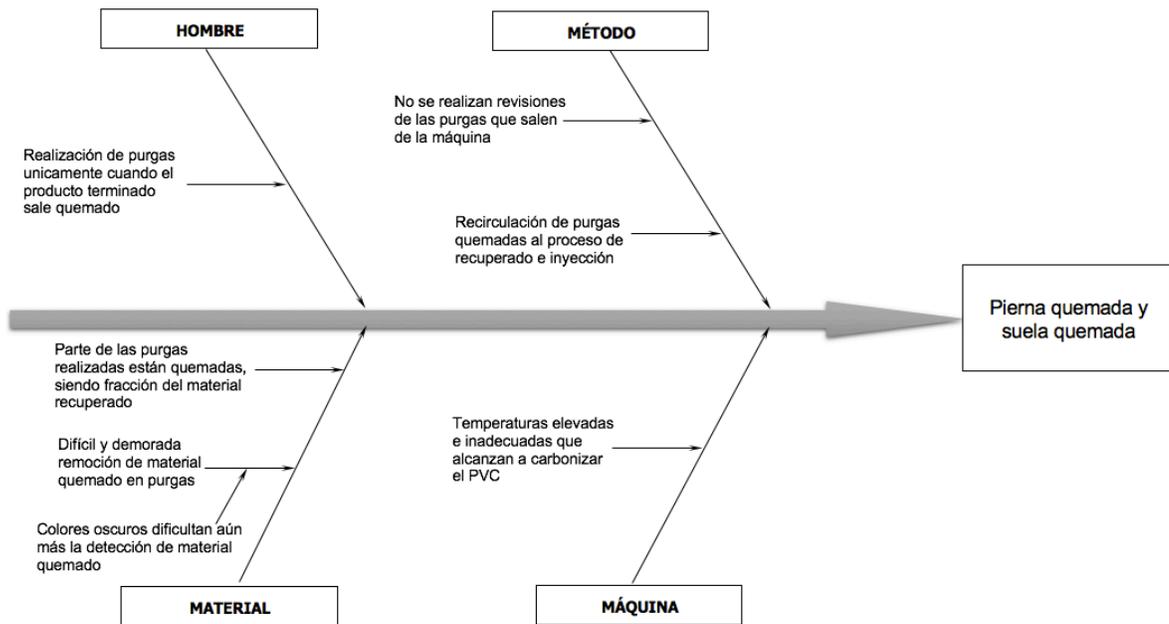


Diagrama 4. Diagrama de Ishikawa para analizar la aparición de los defectos pierna contaminada y pierna contaminada por media en las botas de PVC.

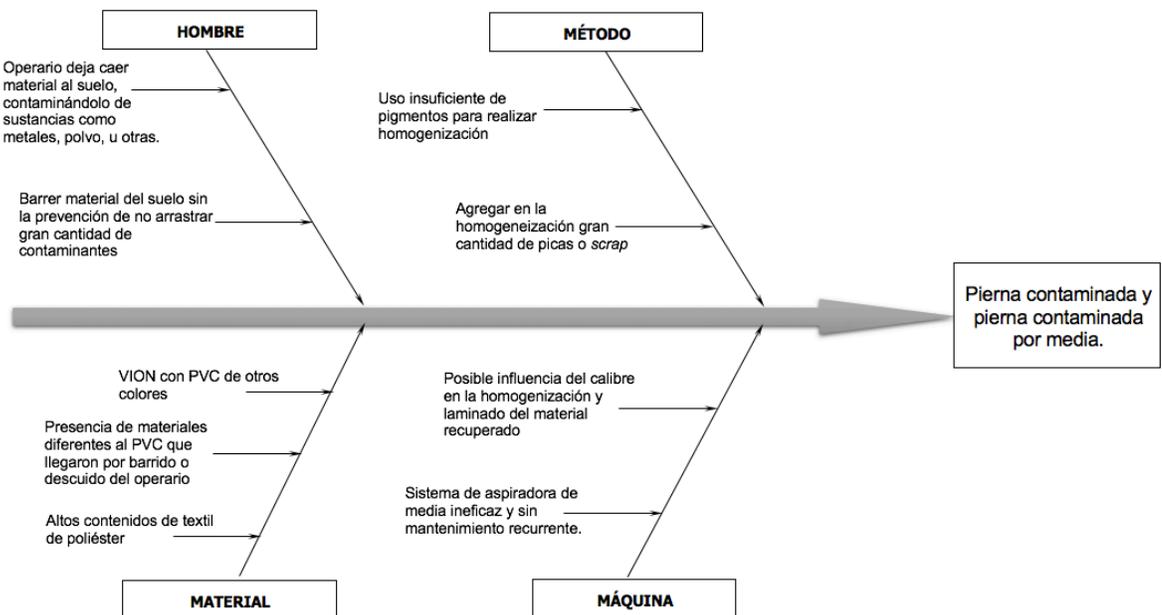


Diagrama 5. Diagrama de Ishikawa para analizar la aparición del defecto de mala dispersión de material en las botas de PVC.

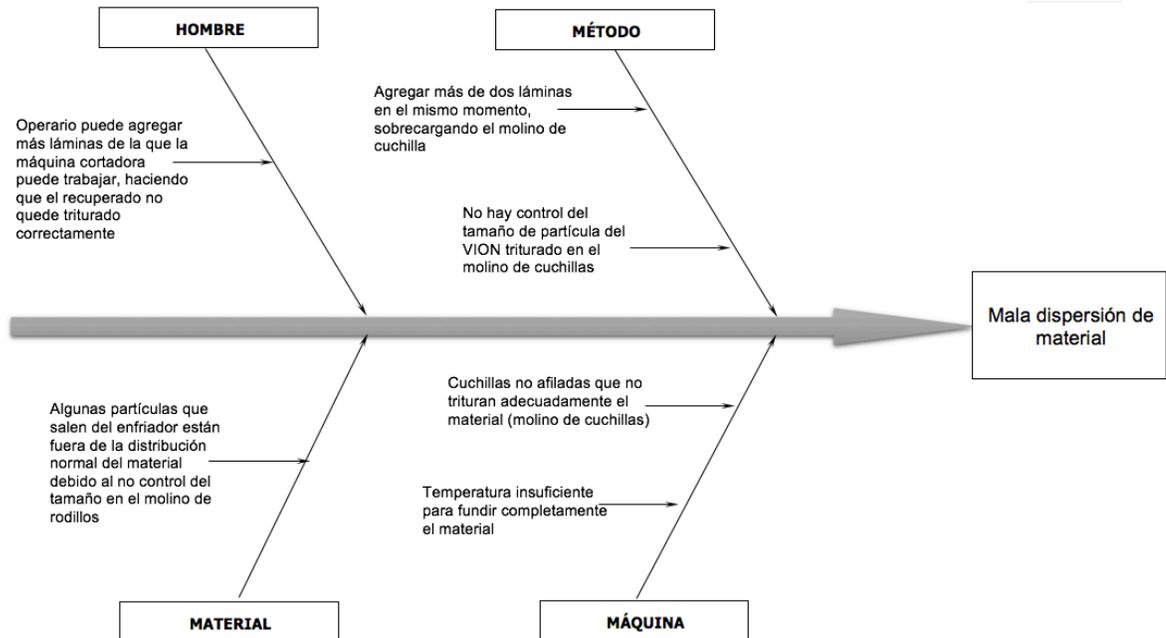


Diagrama 6. Diagrama de Ishikawa para analizar la aparición de defectos como exceso de rebaba y filtración de material en las botas de PVC.

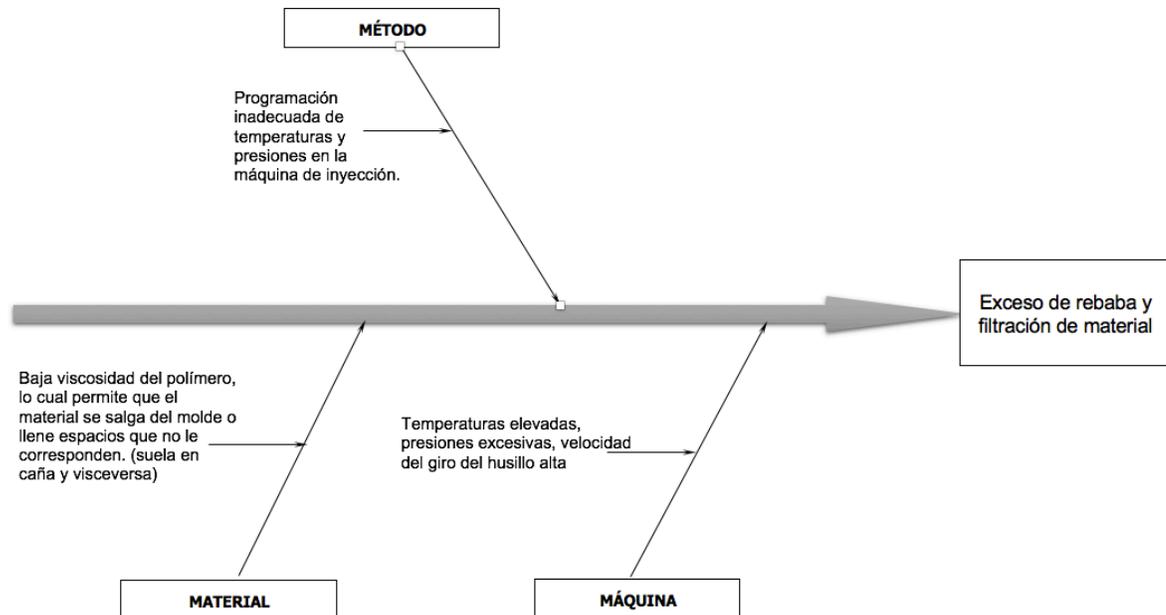


Diagrama 7. Diagrama de Ishikawa para analizar la aparición del defecto media filtrada en las botas de PVC.

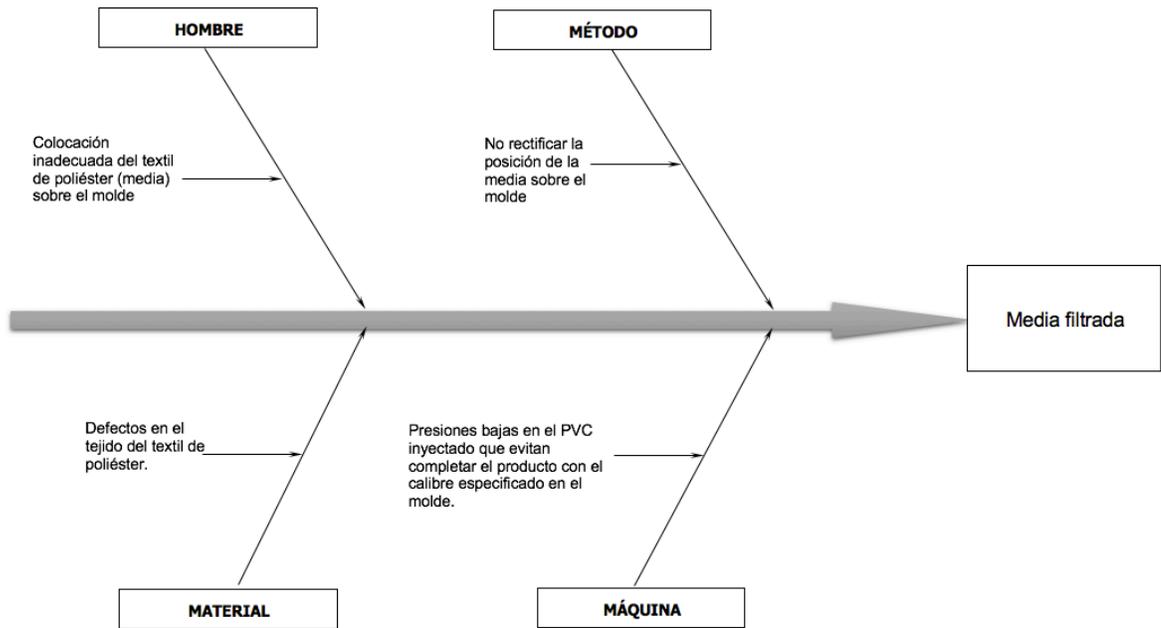


Diagrama 8. Diagrama de Ishikawa para analizar la aparición de los defectos pierna, suela y puntera escaso material en las botas de PVC.

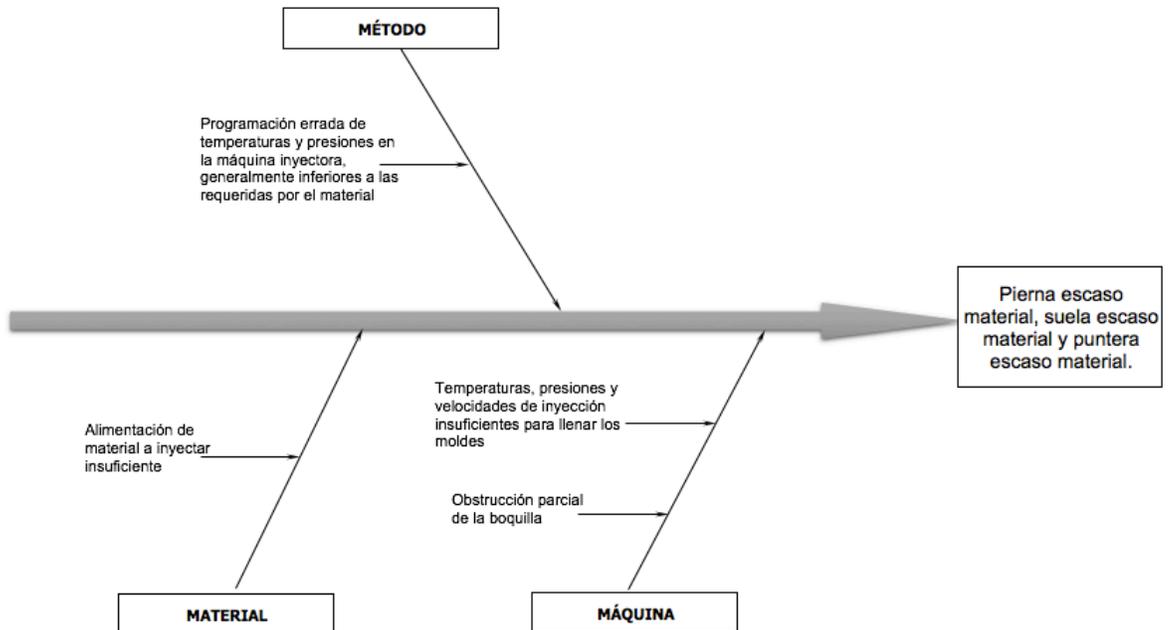


Diagrama 9. Diagrama de Ishikawa para analizar la aparición de los defectos suela y puntera contraídas en las botas de PVC.

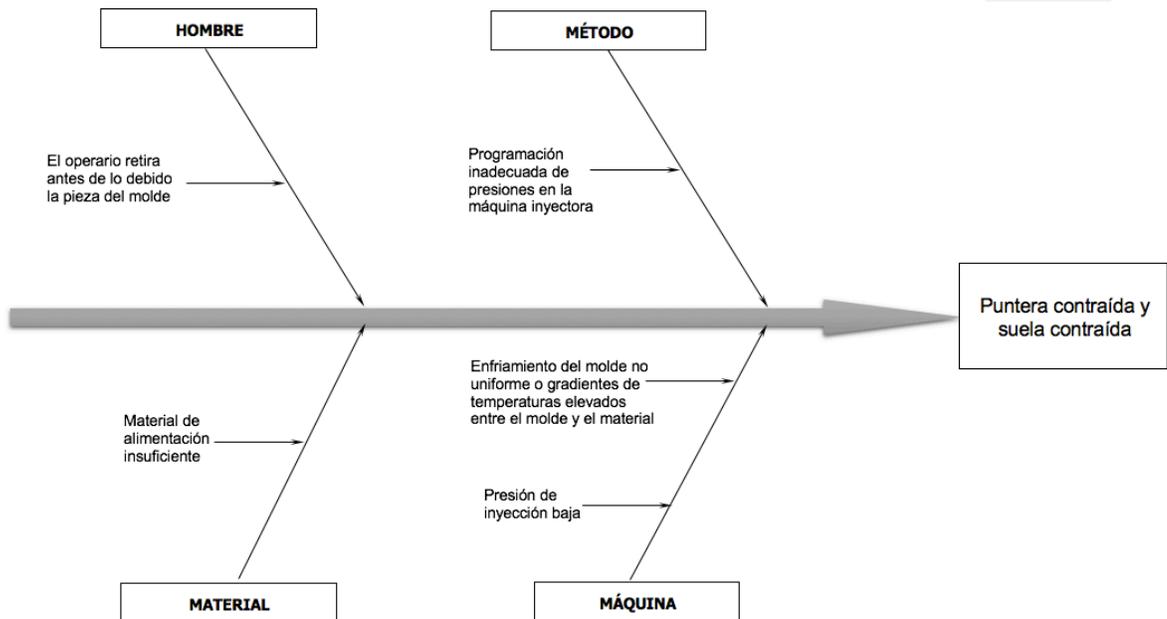
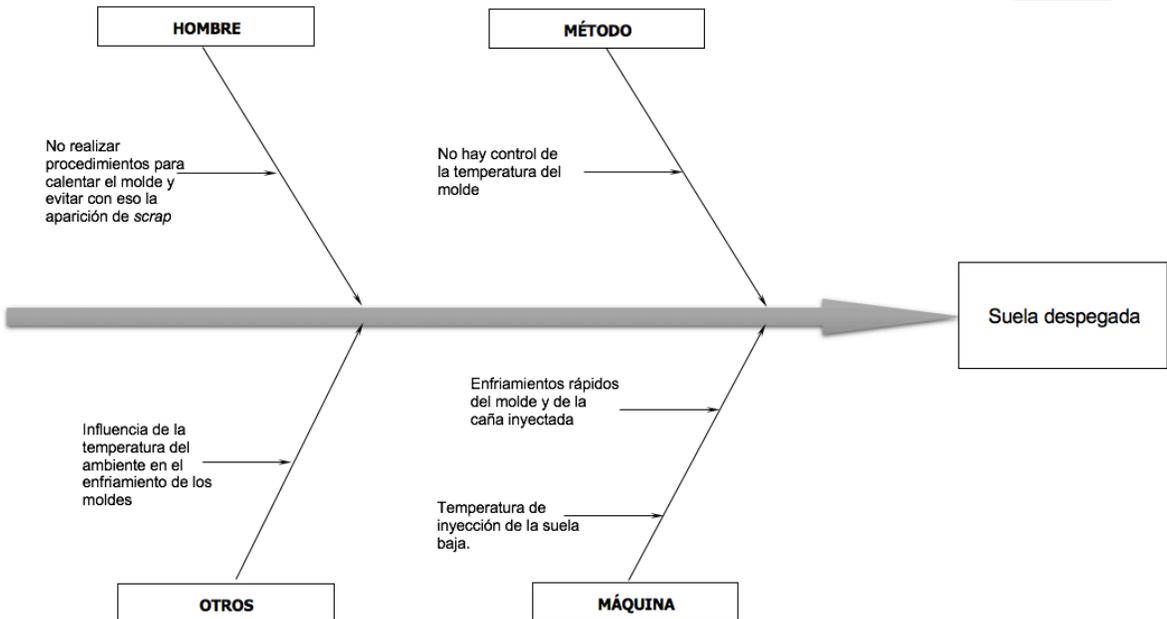


Diagrama 10. Diagrama de Ishikawa para analizar la aparición del defecto suela despegada en las botas de PVC.



En algunos casos, una causa puede originar varios defectos. Por ejemplo, el manejo de temperaturas elevadas en el proceso de inyección puede ocasionar exceso de rebaba, filtración de material y pierna quemada; por esto, al tratar de disminuir un defecto, puede darse la solución a resolver varios de estos problemas.

Es importante considerar todas las causas que generan la totalidad de defectos, puesto que también puede ocurrir que al tratar de resolver un problema, aparezca otro. Por ejemplo, si en el proceso se están presentando defectos de escaso material o partes contraídas, el trabajador aumenta el valor de la presión en el proceso; con esto se logran eliminar los problemas anteriores pero puede surgir el exceso de rebaba.

2.4 RECOMENDACIONES PRODUCTO DEL DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN

Frente a los defectos presentes en el producto final y las posibles causas asociadas a éstos se plantean las siguientes recomendaciones, las cuales se enfocan principalmente en los métodos utilizados por los operarios que influyen directamente en aspectos como el material y las máquinas que hacen parte del proceso.

- Para el molino de rodillos, se sugiere que al añadir el producto no conforme, se evite agregar material en exceso para que no caiga al suelo y se contamine.
- Para el PVC recogido por barrido, se sugiere someterlo a imanes que sean capaces de remover las partes metálicas que puedan taponar posteriormente las máquinas inyectoras y detener con esto el proceso.
- Para unificar el color del material que llega al molino de rodillos, se debe evaluar y analizar la influencia de los calibres manejados en el equipo para lograr la homogeneización, y determinar si esta variable influye o no en la aparición de defectos en el producto final.
- Realizar charlas continuas a los operarios del molino de cuchillas para enfatizar en la importancia de agregar el material lámina por lámina, evitando con esto que el equipo se sobrecargue y se dañe.
- Minimizar el tiempo de mantenimiento y cambio de las cuchillas, que actualmente está en seis meses, para garantizar un tamaño más homogéneo del VION triturado.
- Evaluar la implementación de un tamiz en la etapa posterior a la reducción del tamaño del VION, para garantizar que los tamaños de las partículas del material recuperado sean lo más homogéneas posible, y reducir así la mala dispersión de material en el producto final.
- Durante la etapa de inyección, realizar purgas en tiempos específicos, para evitar que el material con el tiempo se queme dentro del PAI o el husillo. No esperar a que el producto salga con defectos como pierna o suela quemada para llevar a cabo esta acción.

- Debido a que el VION tiene contaminantes como textil de poliéster y material parcialmente carbonizado como purgas, es importante analizar la influencia que tienen las principales fuentes de material no conforme sobre el producto final variando las proporciones de dichos orígenes desde la homogeneización y laminado para observar posibles cambios en el proceso de inyección.
- Con el proceso de mezclado de material puro con recuperado, es importante encontrar una proporción de estas fuentes de PVC que ayude a disminuir el porcentaje de *scrap* y no aumente los costos, por lo cual se deben evaluar en el proceso de inyección diferentes proporciones de compuesto puro y VION para determinar una alternativa que cumpla con lo anterior, permitiendo aprovechar el material recuperado al máximo.
- Evaluar la necesidad de implementar aditivos diferentes al pigmento negro y plastificante, utilizados en el proceso de recuperación del PVC o en la formulación del compuesto original, para cumplir con estándares de calidad presentes en las normas NTC 427 y NTC 5382.

3. DISEÑO PRE-EXPERIMENTAL Y EXPERIMENTACIÓN DE ALTERNATIVAS

CROYDON COLOMBIA S. A. actualmente no presenta ninguna estandarización de las variables involucradas en el proceso de recuperación del PVC flexible, por lo cual no se tiene un punto de partida de dichas variables a la hora de iniciar el proyecto. . Con el propósito de encontrar las mejores condiciones en cuanto a las características del material se realizaron los siguientes diseños de experimentos, evaluando variables tales como calibres en el molino de rodillos, tamaño de partícula, proporciones de material recuperado de acuerdo a su origen y finalmente mezcla de compuesto de PVC virgen con VION.

Debido a que se va a trabajar a nivel de producción y no de laboratorio, se evaluaron cada una de las variables por separado llevando el mejor resultado de la primera evaluación hacia la segunda prueba, y luego a la tercera para realizar un encadenamiento de las alternativas propuestas.

En este caso, para evaluar la necesidad de implementar un tamiz en la etapa posterior a la disminución de tamaño de las láminas de VION, se realizó una prueba de granulometría, la cual se explica posteriormente. Esta alternativa no se encadenó a las demás debido a que la empresa es quien decide si a pesar de las recomendaciones, se instala la herramienta en el molino de cuchillas.

Todas las alternativas fueron evaluadas en la máquina inyectora Ottogalli 3, en el segundo turno del día para la línea Macha Alta negra.

3.1 PLANEACIÓN PRE – EXPERIMENTAL

Esta etapa se ejecutó mediante los siguientes pasos para cada uno de los experimentos a realizar:

3.1.1 Clasificación de variables. En primera instancia se definen las variables de acuerdo a sus características, las cuales pueden ser independientes y dependientes; las primeras son controlables cuando se pueden manipular durante la experimentación o no controlables cuando pueden influir en la variable respuesta pero no se pueden modificar; las segundas dependen de las primeras y son la respuesta a la interacción de las variables independientes.

Para la evaluación de todas las alternativas se definió como variable respuesta el porcentaje de *scrap* debido a que una de las metas planteadas por el departamento de calidad es lograr que el porcentaje de *scrap* tome un valor entre 0% y 3,8% máximo.

Las variables a considerar en el experimento están relacionadas en el cuadro 1, en donde las que son controlables hacen parte de las pruebas referidas en este capítulo; las demás son variables que los experimentadores no pueden manipular pero deben tenerse en cuenta para analizar los datos obtenidos de porcentaje de *scrap* (análisis que se realiza en el capítulo siguiente).

Cuadro 1. Clasificación de las variables involucradas en el proceso de acuerdo a sus características.

Variabes o factores	Controlable	No controlable	Justificación
Grosor o calibre	X		Se considera una variable controlable en el diseño experimental debido a que es posible modificar el grosor de las láminas de VION en el molino de rodillos.
Proporciones de material recuperado	X		Es una variable controlable debido a que se pueden cambiar las proporciones de las diferentes fuentes de material recuperado en las láminas de VION.
Proporciones de material puro y recuperado	X		Se considera una variable controlable en el diseño experimental debido a que es posible modificar las cantidades de compuesto puro y recuperado para el proceso de inyección.
Temperaturas de la máquina inyectora		X	Este factor no es controlable en ninguno de los diseños experimentales debido a especificaciones de la empresa.
Presiones de la máquina inyectora		x	Se considera no controlable debido a que de acuerdo a especificaciones de la empresa, esta variable no puede ser manipulada.
Porcentaje de <i>scrap</i>	X		Es la variable respuesta de todas las experimentaciones, se considera controlable debido a que con la modificación de otros factores, el <i>scrap</i> puede aumentar o disminuir su valor.
Tamaño de partícula	X		Es controlable debido a que dependen de la distancia entre cuchillas y su mantenimiento. Para la experimentación de las alternativas evaluadas en el proceso de inyección, no se efectuó mayor control de este factor. El tamaño de partícula se analiza a nivel laboratorio.

La siguiente, es la ecuación con la que el departamento de ingeniería industrial calcula el porcentaje de *scrap* de cada turno para cada una de las líneas de producción, teniendo en cuenta el total de pares defectuosos y el total de la

producción (producto por pares que pasa por los controles de calidad para ser almacenado y comercializado).

Ecuación 1. Fórmula para hallar el porcentaje de *scrap* en una máquina inyectora de acuerdo al departamento de ingeniería industrial de la empresa CROYDON COLOMBIA S.A.

$$\% \text{ scrap} = \frac{\text{Pares producto no conforme máquina}}{\text{Pares producto no conforme máquina} + \text{total producción línea máquina}}$$

3.1.2 Nivel de significancia. Valor que a partir de ahora se denotará como alpha (α), indica el nivel máximo aceptable de riesgo de rechazar una hipótesis nula verdadera, también se considera como la probabilidad de error que es inherente a la prueba.²³

En el diseño de experimentos existen dos tipos de errores: Tipo I, en donde se rechaza la hipótesis nula (la cual se define posteriormente) en caso de que esta sea verdadera y; Tipo II, cuando se acepta dicha hipótesis siendo falsa. Si α es muy pequeño ($< 0,05$), disminuye la probabilidad de caer en el error tipo I pero aumenta la posibilidad de caer en el de tipo II, por lo cual, según lo investigado en Minitab un nivel de significancia $\alpha = 0,05$ es significativo (indicando un 5% de probabilidad de equivocación) y funciona adecuadamente.

Por lo anterior y por la disponibilidad de datos teóricos, para todos los diseños experimentales a realizar se tomó un nivel de significancia de **0,05**.

3.1.3 Planteamiento de hipótesis. Para cada factor e interacción entre factores de cada alternativa, se exponen dos tipos de afirmaciones: hipótesis nula, la cual establece que no existe efecto de los factores sobre la variable respuesta²⁴ y es la afirmación que se quiere negar; e hipótesis alterna, enuncia lo contrario de la definición anterior y es la frase que se pretende demostrar.

Para la comprobación de las hipótesis de cada alternativa, se utiliza el análisis de varianza ADEVA (más conocida como ANOVA por sus siglas en inglés de la palabra *analysis of variance*); este tipo de análisis utiliza la distribución de probabilidad continua de Fisher para aceptar o rechazar la hipótesis nula. La metodología de cálculo ADEVA consiste en hallar por medio de ecuaciones una serie de valores que van a permitir calcular un valor final llamado $F_{\text{calculado}}$, el cual va a ser contrastado con un valor teórico que se encuentra en las tablas de Fisher. Cuando el valor teórico sea superior al calculado se acepta la hipótesis nula, cuando ocurra lo contrario se aceptará la hipótesis alterna.

²³ Minitab. ¿Qué valor debo usar para el nivel de significancia? . [Consultado el 22 de Abril de 2017]. Disponible en: <http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/introductory-concepts/p-value-and-significance-level/significance-level/>

²⁴ CANAVOS, George. Probabilidad y estadística, aplicaciones y métodos. Primera ed. Fernández, España: McGraw-Hill, 1988. p. 407.

A través de la siguiente ecuación se halla el valor de F calculado:

Ecuación 2. Fórmula para determinar el valor de F calculado por medio de la distribución Fisher.

$$F_{\text{calculado}} = \frac{CME_{\text{TR}}}{CMD_{\text{ER}}}$$

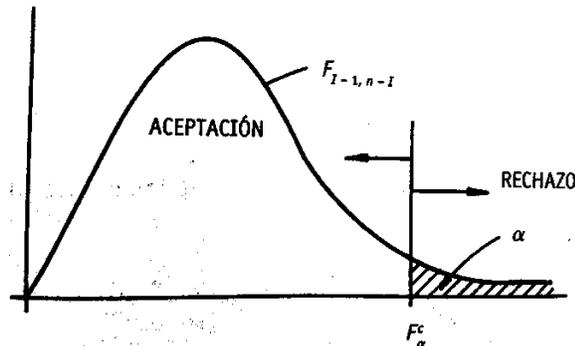
Donde:

- CME_{TR} corresponde al valor de cuadrados medios entre tratamientos (factores) y ,
- CMD_{ER} es el valor de cuadrados medios dentro de los tratamientos, mejor conocido como el error residual.

En cuanto al valor teórico de F, este corresponde a un valor crítico que está asociado con los grados de libertad n_1 y n_2 y el nivel de significancia α , por lo cual para buscar el dato hallado en tablas, se deben especificar previamente estos valores para cada experimentación.

La distribución Fisher es el cociente de dos distribuciones chi-cuadrado con grados de libertad n_1 y n_2 ²⁵. En la figura 4, se puede observar que es un tipo de distribución asimétrica, en donde todos los valores que puede tomar F son positivos.

Figura 4. Diagrama genérico de la distribución asimétrica de Fisher



Fuente: PEÑA, Daniel. Regresión y diseño de experimentos. Madrid, España. Alianza, 2010. p. 49.

Para la comprobación de las hipótesis se utiliza la ayuda del software Microsoft Excel® y su herramienta de análisis de datos que permite ajustar diferentes métodos de acuerdo a las características de cada diseño de experimentos.

²⁵ SERRET, Jaime. Manual de estadística universitaria :Madrid, España: ESIC, 1995. p. 204.

3.1.4 Elección del diseño experimental. Teniendo en cuenta las variables e hipótesis previamente definidas y, de acuerdo con el departamento de producción y calidad, se decide tomar el diseño ADEVA de un solo factor, gracias a que en cada una de las pruebas se va a analizar la influencia de una sola variable independiente sobre el porcentaje de *scrap*.

3.1.5 Pre-experimentación para evaluar la implementación de un tamiz en el molino de cuchillas. Para ejecutar esta evaluación, se decide tomar tres muestras de material triturado correspondientes a cada calibre evaluado. Cada una de las porciones pesó 200,00g aproximadamente, y fueron enviadas a un laboratorio externo para determinar los diversos tamaños de las partículas (denominada granulometría por Laboratorios M&G). Lo anterior tiene el objetivo de determinar en qué rangos se encuentran los tamaños de cada muestra para posteriormente realizar un análisis por tamizado. Siendo más específicos en la prueba de granulometría, de acuerdo a los resultados obtenidos del análisis del tamaño de partícula, se seleccionaron diez mallas con aberturas diferentes para poder realizar el análisis por tamizado con cada una de las muestras recolectadas.

3.1.5.1 Resultados de análisis de tamaño de partícula realizado por Laboratorios M&G. De acuerdo a la información suministrada por Laboratorios M&G, para determinar los tamaños en los que se encuentran las muestras de material se utilizó un pie de rey (o calibrador) para medir el tamaño de partículas y, un estereomicroscopio para facilitar la visualización de las muestras más pequeñas. Los resultados de la prueba, sirvieron para poder determinar el conjunto de mallas a implementar en el análisis por tamizado. Éstos se encuentran en el anexo A.

3.1.5.2 Determinación de mallas para realizar análisis por tamizado. Considerando los resultados del anexo A, se seleccionaron las siguientes mallas para realizar la experimentación de las tres muestras:

Tabla 2. Abertura y números de malla (basados en la norma ASTM E-11-87) correspondientes a los tamices seleccionados para el análisis por tamizado de las tres muestras de material.

Abertura (mm)	Número de malla
4,715	4
3,334	6
1,982	10
1,179	16
0,701	25
0,417	40
0,248	60
0,147	100
0,074	200
0,044	325

Debido al amplio rango de los tamaños de partícula de las muestras (6,7mm hasta 0,045 mm), se seleccionaron 10 números de malla para poder caracterizar todo el material de manera específica.

En el anexo B se encuentran la totalidad de mallas que expone la norma ASTM E-11-87, junto con su equivalencia con la serie estándar de Tyler y la norma internacional británica BS: 410:1986.

3.1.5.3 Coeficiente de uniformidad (CU) y tamaño efectivo (TE). El coeficiente de uniformidad de las muestras analizadas corresponde a la relación existente entre las aberturas de las mallas que retienen el 40 y 90% del material. Entre más bajo sea el valor de CU, más uniforme es el tamaño de las partículas evaluadas.²⁶

El CU se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 3. Cálculo del coeficiente de uniformidad para las muestras analizadas por tamizado.

$$CU = \frac{\text{Abertura 40\%}}{\text{Abertura 90\%}}$$

El tamaño efectivo corresponde al tamiz que retiene el 90% del material, indicando que el 10% restante tiene un diámetro inferior.

Ecuación 4. Tamaño efectivo para las muestras analizadas por tamizado.

$$TE = \text{Abertura 90\%}$$

De acuerdo a las mallas utilizadas, se determina que la no uniformidad del material es notoria cuando el CU es igual o superior a 5 (debido a que se toman las aberturas lejanas). En el caso de que el CU tome el valor mencionado y él TE encuentre en una abertura inferior a un milímetro, se debe considerar la alternativa de utilizar un tamiz en el molino de cuchillas.

3.2 EXPERIMENTACIÓN DE ALTERNATIVAS

Se expone para cada una de las experimentaciones realizadas, los objetivos o alcances a los que se quiere llegar de acuerdo a los resultados obtenidos. En los numerales 3.2.1, 3.2.3 y 3.2.4 se realiza la influencia de las variables manipuladas sobre el porcentaje de *scrap*, desarrollando el ADEVA para comprobar o rechazar las hipótesis planteadas.

²⁶ BALLESTEROS, Victor. Diseño de pozos profundos. Bogotá, Colombia: Universidad Santo Tomás, 2004.

A diferencia de las alternativas mencionadas anteriormente, las conclusiones de los datos obtenidos en el análisis por tamizado no hacen uso de un ADEVA. En este caso, se hace uso de otras herramientas, como se verá en el numeral 3.2.2.

3.2.1 Variación de calibres en el molino de rodillos. El objetivo principal de este experimento es comprobar la influencia del material recuperado con diferentes calibres o grosores sobre el porcentaje de *scrap*.

Para la evaluación de esta alternativa, se acordó con el departamento de producción someter el material recuperado a una mezcla (igual para todos los calibres) de compuesto puro de PVC. Por cada 100 phr de PVC puro hubo 1152 phr de VION, el manejo de estos phr corresponde a la mezcla denominada por la empresa Z-180E1.

3.2.1.1 Planteamiento de hipótesis. De acuerdo a lo explicado en la planeación pre-experimental, se plantean las siguientes hipótesis:

Para el factor tratamiento (calibres manejados en el molino de rodillos):

- **Hipótesis nula:** No hay efecto de los calibres bajo (2,59 mm), medio (3,81mm) y alto (5,25 mm) sobre el porcentaje de *scrap*.
- **Hipótesis alterna:** Hay efecto de los calibres bajo, medio y alto sobre el porcentaje de *scrap*.

3.2.1.2 Consolidación de datos. Durante seis horas diferentes del segundo turno y en diferentes días, se evaluó el material recuperado con los calibres de la tabla 3 en el proceso de inyección, obteniendo 18 datos a analizar con lo mencionado en la pre-experimentación.

Tabla 3. Datos de porcentaje de *scrap* para cada uno de los calibres propuestos.

Calibre bajo (2,59 mm+/-0,02 µm) (%)	Calibre medio (3,81 mm+/-0,02 µm) (%)	Calibre alto (5,25 mm+/-0,02 µm) (%)
4,49	8,62	6,98
3,80	4,00	6,14
2,50	6,50	6,80
2,31	5,44	6,69
2,05	4,59	5,80
2,59	4,06	6,02

3.2.1.3 Análisis de Varianza. Se realizó mediante ADEVA de un factor, en donde el método exige hallar valores de suma de cuadrados, grados de libertad y cuadrados medios para encontrar los valores F calculados y contrastarlos con los valores teóricos. Los resultados son expuestos en la tabla 4.

Tabla 4. Cálculos del análisis de varianza hallados con la herramienta “Análisis de datos” de Microsoft Excel® para los diferentes valores del porcentaje de *scrap*, usando como referencia los datos de la tabla 3.

Fuente de variación	Suma cuadrados (%)	Grados de libertad (adimensional)	Cuadrados medios (%)	Fcalculado	Fteórico
Entre calibres	0,39	2	0,19	13,35	3,68
Error residual	0,22	15	0,01		
Total	0,60	17	0,04		

Para el análisis de los datos calculados con los teóricos, no es necesario conocer la diferencia que separa los dos valores, basta únicamente saber si el valor de F calculado es mayor o menor al teórico para aceptar o rechazar la hipótesis nula.

Teniendo en cuenta las generalidades mencionadas en el planteamiento de hipótesis y de acuerdo a los datos de la tabla 4, para el factor calibre el valor calculado es superior al teórico, por lo cual la hipótesis nula se rechaza y se afirma que existe efecto de los calibres bajo, medio y alto sobre el porcentaje de *scrap*. En la hipótesis aceptada, se debe analizar cómo se da la homogeneización en los tres calibres y cómo esas diferencias se reflejan en la aparición de defectos en las botas de PVC. También es importante observar el comportamiento de las temperaturas durante la experimentación y qué defectos se observaron en el producto no conforme.

Comparando los datos del porcentaje de *scrap* expuestos en la tabla 3, se seleccionó el calibre bajo (2,59mm), el cual fue implementado en las siguientes dos experimentaciones. Esta decisión fue tomada debido a que se concluyó que si existe influencia de los calibres sobre la variable respuesta y porque los valores más bajos de *scrap* los presenta el nivel escogido.

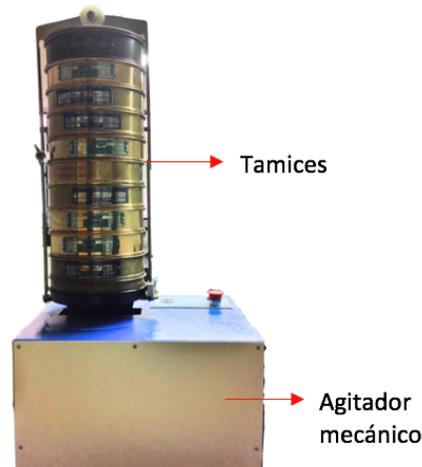
3.2.2 Evaluación del análisis por tamizado para las tres muestras tomadas de cada calibre. El análisis por tamizado se realizó para caracterizar el tamaño de las partículas de las muestras, determinando la cantidad de masa retenida en cada tamiz y analizando con los resultados de las ecuaciones 3 y 4 la viabilidad de implementar una malla en el molino de cuchillas, la cual permitiría reducir la no uniformidad de los diámetros del polímero triturado. Para realizar esta experimentación se tuvo en cuenta la información encontrada en la norma ASTM D-1921²⁷.

²⁷ AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D-1921.100 Barr Harbor Dr., West Conshohocken, PA 19428: 2001.

Durante la experimentación, se instaló el montaje que se observa en la imagen 16, en donde se colocan los diez tamices seleccionados en la tabla 2 sobre un agitador mecánico. El tamiz de mayor abertura va en la parte superior del montaje, para ser la malla de menor abertura la que se encuentre en el fondo de todos los tamices.

El agitador mecánico estuvo en funcionamiento por diez minutos para cada muestra, ayudando al material a caer en los tamices correspondientes. Al final de la agitación, se pesó el material retenido en cada malla para determinar los datos de las tablas 6, 7 y 8.

Imagen 16. Montaje para realizar análisis por tamizado.



Los resultados de esta evaluación son utilizados para relacionar el tamaño de partícula con el defecto “mala dispersión de material”.

3.2.2.1 Resultados del análisis por tamizado, coeficiente de uniformidad y tamaño efectivo. En este numeral se exponen los resultados obtenidos del análisis del tamizado, mostrando en las tablas 5, 6 y 7 la masa retenida en cada malla, el porcentaje retenido y el acumulado. Los datos de las tablas mencionadas serán objeto de análisis junto con su coeficiente de uniformidad y tamaño efectivo en el capítulo 4. Para la percepción del porcentaje retenido para los tamices de 100, 200 y 325, se decide exponer el conjunto de datos con tres cifras decimales.

Tabla 5. Resultados del análisis por tamizado para la muestra tomada del calibre bajo.

Malla	Masa retenida (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)
4	59,58	29,783	29,783
6	83,64	41,810	71,592
10	43,24	21,615	93,207
16	9,15	4,574	97,781
25	2,56	1,280	99,060
40	0,90	0,450	99,510

Malla	Masa retenida (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)
60	0,70	0,350	99,860
100	0,27	0,135	99,995
200	0,01	0,005	100,000
325	0,00	0,000	100,000
Masa total	200,05		

Los datos de la tabla 5 evidencian que el tamaño de la mayor parte del material para el calibre bajo se encuentran entre 4,715 y 1,982 mm, reteniéndose el 93,21% del VION triturado entre las mallas 4 y 10. En este caso, el 41,81% del compuesto de PVC está retenido en la malla 6, la cual tiene una abertura de 3,334mm. Los tamaños de partícula más pequeños, los cuales son dados por las mallas 100, 200 y 325, retienen una cantidad insignificante de material, acumulando el 0,13% del PVC analizado.

Tabla 6. Resultados del análisis por tamizado para la muestra tomada del calibre medio.

Malla	Masa retenida (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)
4	37,64	18,754	18,754
6	74,76	37,250	56,004
10	58,57	29,183	85,187
16	21,53	10,727	95,914
25	2,73	1,360	97,275
40	4,94	2,461	99,736
60	0,48	0,239	99,975
100	0,04	0,020	99,995
200	0,01	0,005	100,000
325	0,00	0,000	100,000
Masa total	200,70		

Gracias al porcentaje retenido acumulado de la tabla 6, se observa una distribución levemente mayor del material a través de las mallas (comparando los resultados con las tablas 5 y 7. Las mallas de aberturas hasta de 0,044 mm no logran retener material.

Tabla 7. Resultados del análisis por tamizado para la muestra tomada del calibre alto.

Malla	Masa retenida (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)
4	61,45	30,711	30,711
6	81,53	40,747	71,458
10	43,90	21,940	93,398
16	9,61	4,803	98,201
25	2,20	1,100	99,300

Malla	Masa retenida (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)
40	0,90	0,450	99,750
60	0,40	0,200	99,950
100	0,10	0,050	100,000
200	0,00	0,000	100,000
325	0,00	0,000	100,000
Masa total	200,09		

De acuerdo el porcentaje retenido acumulado de la tabla 7, el 93,40% del material correspondiente al calibre alto se encuentra entre las mallas 4, 6 y 10.

Para las tres muestras, el porcentaje mayor de retención lo tiene la malla número 6, con porcentajes de 41,81% 37,25% y 40,75%.

En la tabla 8 se exponen los datos calculados para el coeficiente de uniformidad y tamaño efectivo correspondientes a cada calibre evaluado en el proceso de inyección.

Tabla 8. Valores calculados con las ecuaciones 3 y 4 del coeficiente de uniformidad y tamaño efectivo para las muestras de cada calibre.

	Coeficiente de uniformidad	Tamaño efectivo (mm)
Calibre bajo	1,682	1,982
Calibre medio	2,828	1,179
Calibre alto	1,682	1,982

3.2.3 Variación de las proporciones de purga, picas, puntos de inyección y bota sin media para la formación de las láminas de VION. La realización de este experimento tiene como finalidad comprobar si existe influencia en la variación de proporciones de material no conforme usadas para formar las láminas de VION sobre la variable respuesta.

Para el desarrollo de la experimentación, se acordó con el departamento de producción inyectar el material recuperado sin ser sometido a ningún tipo de mezcla (a diferencia de la experimentación anterior); además, durante días diferentes y para recolectar cada uno de los datos, se pactó inyectar el VION durante dos horas del turno. Los datos del porcentaje de *scrap* se relacionaron en la tabla 9.

Para esta alternativa, se tuvo en cuenta las cuatro fuentes más abundantes de material no conforme. Para eso, se hizo uso de hojas de cálculo que maneja el área de gestión ambiental en cuanto al control de desperdicios generados en las máquinas inyectoras; más específicamente, con los datos del año 2016 se totalizó la cantidad en kilogramos de material no conforme por cada una de las fuentes, distribuidas de la siguiente manera:

- Bota sin media: 35,41%
 - Puntos de inyección: 25,56%
 - Purga: 18,24%
 - Picas o *scrap*: 20,79%
- } Material sin media
→ Material con media

Basados en las estadísticas, se proponen cuatro diferentes proporciones a manejar en el experimento; La primera va a tener partes iguales de bota sin media, puntos de inyección, purga y *scrap*; la segunda considera manejar el 50% del material más abundante que no está contaminado de textil de poliéster (material sin media) y el porcentaje restante se divide para las otras fuentes de PVC a recuperar; la tercera, contrario a la proporción anterior, utiliza un 50% de picas o *scrap* y lo restante es dividido en partes iguales para los demás orígenes de material y; finalmente, las proporciones de las estadísticas son tomadas como la cuarta proporción. En resumen, los porcentajes para cada factor son:

- **Proporción 1 (Partes iguales):** 25% de bota sin media, 25% de puntos de inyección, 25% de purga y 25% de picas o *scrap*.
- **Proporción 2:** 50% de bota sin media, 16,6% de puntos de inyección, 16,6% de purga y 16,6% de picas o *scrap*.
- **Proporción 3:** 50% de material con media, 16,6% de puntos de inyección, 16,6% de purga y 16,6% de bota sin media.
- **Proporción 4:** Evaluar el material de acuerdo a los datos estadísticos presentados anteriormente.

Se decidió no utilizar el material post-consumo debido a que es una fuente externa a la empresa que depende de los clientes y porque la cantidad disponible de este origen de PVC no corresponde a uno de los materiales más abundantes a recuperar.

Para desarrollar el experimento, se consideran todos los colores utilizados en las líneas de PVC y la preparación de cada una de las proporciones se va a dar en el molino de rodillos. Teniendo en cuenta la capacidad de este equipo, se toma una base de 300 kg para cada proporción.

Para el desarrollo de esta experimentación, todas las láminas de VION fueron sometidas al calibre bajo, debido a que éste presentó los valores más bajos de porcentaje de *scrap* y se pudo determinar que dicho factor sí afecta la variable respuesta.

3.2.3.1 Planteamiento de hipótesis. Para el factor tratamiento (diferentes proporciones de las fuentes de material recuperado):

- **Hipótesis nula:** No existe influencia de las diferentes proporciones de material recuperado sobre el porcentaje de *scrap*.

- **Hipótesis alterna:** existe influencia de las diferentes proporciones de material recuperado sobre el porcentaje de *scrap*.

3.2.3.2 Consolidación de datos. Los datos de la tabla 9 fueron tomados durante el proceso de inyección, en donde como se especificó en la planeación pre-experimental, se consolidan los datos del porcentaje de *scrap* para cada proporción propuesta.

Tabla 9. Datos de porcentaje de *scrap* para cada proporción, con cuatro réplicas para cada una.

Proporciones de material recuperado (%)			
Proporción 1	Proporción 2	Proporción 3	Proporción 4
41,18	35,29	75,29	48,24
40,00	38,46	77,11	42,31
37,10	40,32	64,52	46,77
43,43	35,29	70,71	44,55

3.2.3.3 Análisis de varianza. Al igual que en la experimentación correspondiente a la variación de calibres en el molino de rodillos, se utilizó el ADEVA de un solo factor, y los valores determinados por el software para hallar el valor calculado están relacionados en la tabla siguiente. Los resultados se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Cálculos del análisis de varianza hallados con la herramienta “Análisis de datos” de Microsoft Excel® para los diferentes valores del porcentaje de *scrap*, usando como referencia los datos de la tabla 9.

Fuente de variación	Suma cuadrados (%)	Grados de libertad (adimensional)	Cuadrados medios (%)	Fcalculado	Fteórico
Entre proporciones	0,30	3	0,10	77,45	3,49
Error residual	0,02	12	1,28E-03		
Total	0,32	15	0,02		

Como en el análisis de la experimentación anterior, el valor teórico es menor al calculado, lo que indica que la hipótesis nula se rechaza y se afirma que las proporciones de material recuperado de diferentes fuentes si afectan la variable respuesta. En el capítulo siguiente se explican las razones por las cuales el material recuperado puede afectar el porcentaje de *scrap* y cómo este puede aprovecharse en el proceso ayudando a alcanzar la meta propuesta por el departamento de calidad.

Para el encadenamiento de esta alternativa a la siguiente experimentación, se escogió la proporción 2 porque presenta los valores más bajos de porcentaje de *scrap* y se demostró que el factor analizado si afecta la variable respuesta.

3.2.4 Evaluación del comportamiento de diversas mezclas de material puro con recuperado. Este experimento se realizó para determinar si las proporciones entre material puro y recuperado influyen en la aparición de *scrap* en el proceso.

En la tabla 11, se exponen las proporciones manejadas durante la experimentación en phr, en donde cabe resaltar que el compuesto de PVC virgen tiene los mismos aditivos. Los valores del factor tratamiento de este experimento fueron una propuesta conjunta de los experimentadores, el departamento de producción y el área de formulación de compuestos.

Tabla 11. Proporciones en phr de las mezclas de compuesto de PVC puro y recuperado usadas en la tercera experimentación.

Mezcla	Z-180 C	Z-180 D	Z-180 L
PHR			
Compuesto base de PVC	264,7	264,7	264,7
Material Recuperado	448,0	576,0	768,0
TOTAL PHR	712,7	840,7	1032,7

Explicando mejor la tabla anterior, se puede evidenciar que la mezcla Z-180 C tiene la menor cantidad de material recuperado y la Z-180 L tiene la mayor fracción de VION, es decir, que entre mayor sea el valor de phr, mayor es la proporción del material existente en la composición de la mezcla.

Por limitaciones de capacidad en el proceso de mezclado y la parametrización previa de las temperaturas en la máquina inyectora, solamente se proponen tres tipos de mezcla a evaluar.

3.2.4.1 Planteamiento de hipótesis. Para el factor tratamiento (diferentes proporciones de compuesto de PVC con material recuperado):

- **Hipótesis nula:** No existe influencia en mezclar diversas proporciones de compuesto puro de PVC y material recuperado sobre el porcentaje de *scrap*.
- **Hipótesis alterna:** Existe influencia en mezclar diversas proporciones de compuesto puro de PVC y material recuperado sobre el porcentaje de *scrap*.

3.2.4.2 Consolidación de datos. De la misma forma que las experimentaciones anteriores, se presenta la tabla 12, en donde se relacionan los diferentes valores de la variable respuesta para cada una de las propuestas mencionadas en la tabla 11. Los datos recolectados fueron tomados de la misma forma que en la primera experimentación.

Tabla 12. Datos del porcentaje de *scrap* calculados para cada mezcla durante la tercera experimentación.

Z-180 C (%)	Z-180 D (%)	Z-180 L (%)
2,56	4,81	4,44%
3,18	4,82	4,10%
2,90	4,63	3,21%
5,12	4,55	3,33%
4,60	3,77	2,86%
4,63	3,85	2,95%

3.2.4.3 Análisis de Varianza. De la misma forma que para los análisis anteriores, se expone la tabla 13, en donde por medio de la suma de cuadrados, grados de libertad y cuadrados medios se halla el valor de F calculado para poder aceptar o rechazar la hipótesis nula planteada para esta alternativa.

Tabla 13. Cálculos del análisis de varianza hallados con la herramienta “Análisis de datos” de Microsoft Excel® para los diferentes valores del porcentaje de *scrap*, usando como referencia los datos de la tabla 12.

Fuente de variación	Suma cuadrados (%)	Grados de libertad (adimensional)	Cuadrados medios (%)	Fcalculado (adimensional)	Fteórico (adimensional)
Entre mezclas	0,03	2	0,01	2,18	3,68
Error residual	0,09	15	0,01		
Total	0,12	17	0,01		

Realizando el mismo análisis de las pruebas anteriores, se afirma que no existe influencia en mezclar compuesto puro de PVC y material recuperado en diferentes proporciones sobre el porcentaje de *scrap*. En otras palabras, la variable respuesta no muestra un patrón de comportamiento como en las experimentaciones anteriores.

En el capítulo siguiente, se analizan los datos de la variable respuesta obtenidos para cada una de las experimentaciones, y se da una interpretación teórica al comportamiento de los valores para así sugerir las alternativas de mejora en el material recuperado para disminuir el producto no conforme en la producción de las botas La Macha Alta.

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

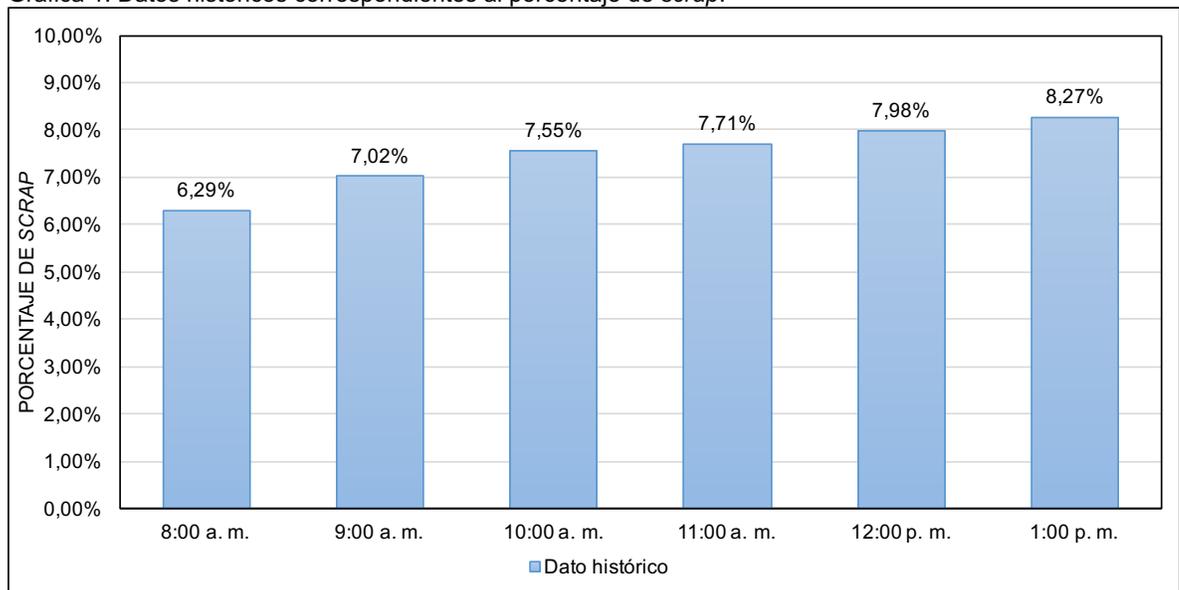
En este capítulo se realiza un análisis de los datos recolectados durante las experimentaciones, comparándolos con los históricos manejados por Croydon para determinar el estado antes y después del proyecto. Para realizar este ejercicio, se utiliza información teórica encontrada en diversas fuentes.

Aspectos como el porcentaje de *scrap*, defectos y temperaturas recolectadas en el proceso fueron analizados para explicar los problemas presentados en la evaluación de las alternativas. En este capítulo, no se definen ni se enuncian las causas que generan los defectos, pues esto se realizó en los capítulos 1 y 2. Las pruebas fueron encadenadas para encontrar los mejores resultados que contribuyan a reducir el porcentaje de producto no conforme.

4.1 DATOS HISTÓRICOS DEL PORCENTAJE DE SCRAP Y DE LOS DEFECTOS DEL PRODUCTO NO CONFORME

Las gráficas 1 y 2 que aparecen a continuación corresponden a los datos históricos del porcentaje de *scrap* y a los defectos del producto no conforme para los meses de septiembre-octubre del 2016 y enero del 2017. Los históricos están relacionados por horas desde las 8:00 am (hora 1) hasta la 1:00 pm (hora 6), debido a que en ese periodo fueron recolectados los valores de porcentaje de *scrap* para las alternativas que requirieron experimentación. Los datos corresponden a las líneas de producción de botas Macha Alta, Macha Baja y Workman Safety Waterproof, las cuales implementan material recuperado de color negro.

Gráfica 1. Datos históricos correspondientes al porcentaje de *scrap*.



Los valores históricos son el punto de referencia para determinar si las alternativas evaluadas son de ayuda para disminuir el porcentaje de *scrap*, además de contextualizar al lector sobre la situación previa del proceso sin la propuesta de mejoras.

Las cifras del porcentaje de *scrap* de la gráfica 1 toman valores hasta del 8,27%, los cuales superan el valor máximo esperado de esta variable por el departamento de calidad (3,8%). Las causas del comportamiento de dichos datos no pueden asociarse a la estabilización del material, parámetros manejados durante el proceso de inyección, tipo de mezcla de resina virgen con recuperado, forma de operar de los trabajadores, entre otros factores que afectan la calidad del producto; esto se debe a que no se tienen registros de estos factores para los meses mencionados.

A continuación, se expone el diagrama de Pareto (gráfica 2) para los defectos del producto no conforme correspondientes a los meses indicados con anterioridad. Cada imperfección está ordenada de mayor (izquierda) a menor (derecha) junto con el porcentaje acumulado de la participación de cada defecto en el total de unidades de producto no conforme.

Este tipo de diagrama ayuda a identificar las principales causas que generan un problema, para poder tomar acciones correctivas que contribuyan a reducir este último partiendo desde aspectos prioritarios²⁸.

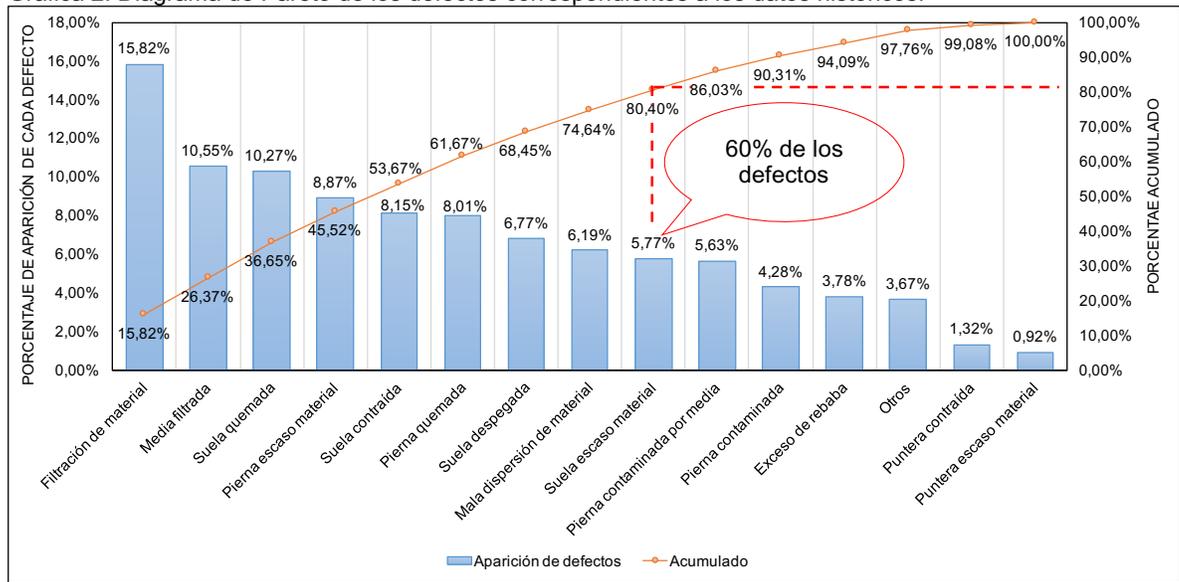
A modo de contextualización, cada uno de los defectos representa un problema, que es fruto del mal manejo de parámetros en la máquina inyectora y de las características del material (causas); ese conjunto de problemas generan un problema más grande y general: *scrap* en el proceso. En base a lo anterior, se empalma la definición genérica del diagrama de Pareto con la particularidad del tema tratado en párrafos anteriores para dar las siguientes aclaraciones:

- Las gráficas que contienen este tipo de información exponen la participación de problemas particulares (defectos) en el problema general.
- Las causas no aparecen directamente en los diagramas de Pareto, éstas se identifican de acuerdo al tipo de problema que presentan las botas, en donde el numeral 2.3 entra a ser de ayuda para este capítulo.

Para facilitar la interpretación de los diagramas de Pareto, se señalan con líneas rojas las áreas importantes de estas gráficas, identificando así que la mayor parte del *scrap* del proceso es atribuible a pocos defectos (usualmente a menos de siete).

²⁸ GALGANO, Alberto. Los siete instrumentos de la calidad total. Madrid, España: Díaz de Santos, 1995.

Gráfica 2. Diagrama de Pareto de los defectos correspondientes a los datos históricos.



De acuerdo con la gráfica, el defecto más recurrente de los datos históricos corresponde a la filtración de material, el cual tiene una participación del 15,82% sobre el total de imperfecciones. Este problema en la bota se debe esencialmente a manejos inadecuados de presiones y temperaturas durante la inyección.

Con una diferencia del 5,26% con respecto a la filtración de material, aparece el defecto media filtrada. A éste se le atribuye el 10,55% del total de problemas y este problema surge principalmente por la postura incorrecta de la media en el molde.

Los primeros cinco defectos que se aprecian en la gráfica 2 contribuyen a generar el 53,67% de *scrap* en el proceso, con lo cual cobra sentido la teoría enunciada por Pareto.

Los defectos que son atribuidos al material recuperado corresponden a la pierna escaso material, pierna quemada, mala dispersión de material, pierna contaminada por media y pierna contaminada. En cuanto al defecto "otros", se relacionan las imperfecciones que los operarios no identifican dentro de las enlistadas en la gráfica 2.

Según Arenas²⁹, pueden existir entre 100 y 200 variables que afectan directa o indirectamente el proceso de inyección, causando con esto la aparición de diversos defectos en el producto y aumentando el porcentaje de *scrap*.

²⁹ ARENAS, op. cit, p. 49

Para los datos históricos de los defectos presentes en las botas de PVC, el 60% de los defectos identificados por los operarios generan el 80,40% del total de *scrap* en el proceso de producción.

4.2 ALTERNATIVA 1. ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LAS CARACTERÍSTICAS DEL VION EN LA HOMOGENEIZACIÓN

Gracias a las falencias descritas en el capítulo correspondiente al diagnóstico, se plantea la alternativa 1, en donde se busca recomendar un conjunto de sugerencias para aprovechar el uso del material recuperado en la etapa de inyección, contribuyendo a la reducción del *scrap* en el proceso.

Cuando se habla de mejorar, se busca sugerir una serie de propuestas (cualitativas y cuantitativas) que ayuden a aprovechar en la etapa de inyección el material a homogeneizar en el molino de rodillos. Para eso, se toma como referencia el diagnóstico y más específicamente las recomendaciones planteadas para este equipo en el numeral 2.4.

Dentro de las propuestas, se considera la presencia de contaminantes en el material a recuperar, su método de homogeneización y las características del polímero, por lo cual, después de realizar el diagnóstico del capítulo 2, se plantea:

- Eliminar la presencia de material contaminante como partes metálicas o caucho procesado en otras líneas en el proceso de homogeneización.
- Homogeneizar el material adecuadamente para evitar defectos como pierna contaminada, lo cual está enlazado a la alternativa 2.
- Evitar sobrecargar (más de 400 kg) el molino de rodillos de material a recuperar, para facilitar la formación de banda y la implementación de los aditivos usados en este equipo.
- Reducir la presencia de material contaminante que no se puede retirar completamente de las láminas de VION, como el textil de poliéster. Esta característica es explicada ampliamente en la alternativa 4.
- Recuperar parte de las propiedades mecánicas del compuesto de PVC a recuperar.

Para mejorar las condiciones del VION en la homogeneización, se debe garantizar que el material que llega al molino de rodillos esté libre (o en una concentración insignificante) de contaminantes (ya sean otros polímeros, metales u otro tipo de materiales extraños). Según Prieto³⁰, la presencia de material diferente al compuesto de PVC puede ocasionar diversos defectos en el producto terminado o incluso taponar la boquilla de la máquina inyectora. Esta idea está relacionada con

³⁰ PRIETO, Adrián, et al. Tipos de contaminación durante el reciclado de plásticos. 01/06/2016. [Consultado el 28/04/2017]. Disponible en: <http://www.pt-mexico.com/art%C3%ADculos/tipos-de-contaminacin-durante-el-reciclado-de-plsticos>

los problemas y recomendaciones mencionados en el capítulo 2, en donde los autores se enfocan principalmente en los métodos de trabajo de los operarios para evitar y/o minimizar la aparición de cuerpos extraños en el material a recuperar.

Siguiendo con la idea de Prieto, es importante que se aumenten los controles sobre el manejo de las diversas fuentes de material y tener en cuenta la presencia de material contaminante para poder reducir su concentración en las láminas de VION. Por los recursos dispuestos por la empresa para el proceso, este proceso debe realizarse de forma visual por los operarios, quienes deben garantizar que el PVC a recuperar no presente contaminantes (exceptuando el textil de poliéster) que puedan afectar la producción o detener el proceso.

En cuanto al método de homogeneización durante la evaluación de la segunda alternativa, se observó que un aumento promedio de 1,33 mm para cada calibre, influye negativamente para que se homogeneice el material triturado. Gracias a que al aumentar la distancia entre rodillos se aumenta el grosor de las láminas de VION, el pigmento tiene menor área de contacto con todo el material y, aunque superficialmente las láminas de VION parezcan tener una pigmentación uniforme, por dentro contienen partes de material que no presentan color negro. Lo anterior se comprueba cuantitativamente y es explicado con más profundidad en la siguiente alternativa.

Considerar las características del polímero y su comportamiento al agregarle aditivos es de vital importancia en el proceso de recuperación. Gracias a que el policloruro de vinilo pierde propiedades mecánicas al ser reprocesado³¹, es necesario utilizar aditivos para tratar de recuperar parte de las características del compuesto original, por lo cual se utiliza plastificante en el proceso de homogeneización.

De acuerdo a lo anterior, el mejorar las condiciones del VION en la homogeneización implicó la evaluación de las alternativas 2 y 4 junto con las recomendaciones dadas en el segundo capítulo en cuanto al manejo del material a tratar en el molino de rodillos y en general en el proceso de recuperación. En otras palabras, esta propuesta se desarrolló paralelamente con las alternativas mencionadas.

4.3 ALTERNATIVA 2. VARIAR EL CALIBRE EN EL MOLINO DE RODILLOS

Durante la experimentación de esta alternativa, se tomaron tres calibres diferentes: 2,59 (bajo) – 3,81 (medio) y 5,25 mm (alto); la variación se realizó en el molino de rodillos para observar si dicha variable afecta el proceso en la etapa de inyección.

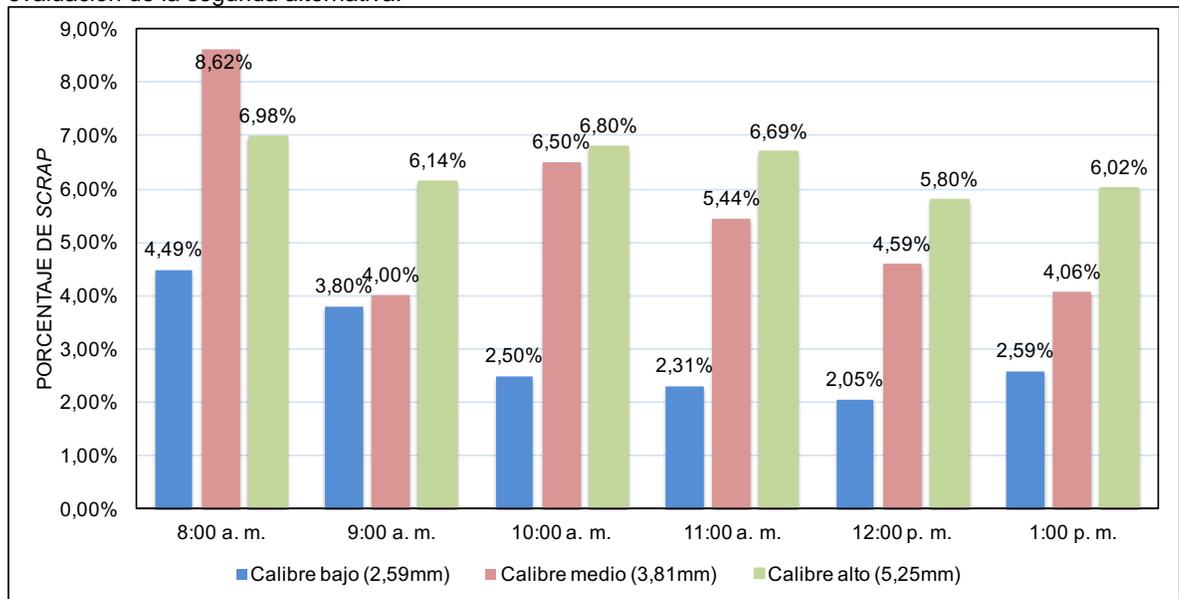
³¹ SADAT-SHOJAI, Mehdi and BAKHSHANDEH, Gholam-Reza. Recycling of PVC wastes. En: POLYMER DEGRADATION AND STABILITY. vol. 96, no. 4, p. 406

De acuerdo a eso, durante la evaluación de la alternativa se tomaron datos de temperaturas de proceso, los defectos presentes en el producto y el porcentaje de *scrap*. Cada uno de los datos recolectados es contrastado con valores de referencia, como los históricos de la empresa y valores teóricos.

Recordando lo mencionado en el cuadro 1, durante la experimentación no fueron manipuladas las temperaturas y presiones en la máquina inyectora, razón por la cual estos factores junto con las características del material recuperado influyeron directamente en la aparición de producto no conforme. En el desarrollo de esta alternativa, no se controla la presencia de textil de poliéster o material carbonizado presente en el PVC, lo que también influye en el aumento de la variable respuesta. El material utilizado en la experimentación fue revisado para evitar la presencia de partes metálicas y otro tipo de polímeros que utiliza la empresa para obtener otro tipo de calzado.

4.3.1 Análisis del porcentaje de *scrap* obtenido en la experimentación. En la gráfica 3 se puede apreciar que en la primera hora (8:00 a.m.) los datos de la variable respuesta toman un comportamiento distinto comparado con los resultados de las horas siguientes, viendo el valor más alto de la gráfica en el calibre medio del 8,62%, seguido del alto con el 6,98% y por último el bajo con 4,49%. Es de notar que a pesar de que el calibre de 5,25mm presenta los valores más altos de porcentaje de *scrap*, estos datos no presentan un comportamiento tan inestable como el grosor del medio, lo cual se explica posteriormente con el factor temperatura.

Gráfica 3. Datos del porcentaje de *scrap* (tabla 3) tomados en seis horas diferentes del segundo turno para la evaluación de la segunda alternativa.



A pesar de que en la gráfica anterior se observa un aumento leve de la variable respuesta para los calibres alto y bajo, en general se observa un comportamiento de disminución de porcentaje de *scrap* con respecto al paso de las horas, lo que se traduce en la estabilización del material frente a los parámetros establecidos en la máquina inyectora.

En la experimentación, el calibre de 2,59mm presenta los datos de porcentaje de *scrap* más bajos, seguido del calibre medio y finalmente el calibre alto. Este comportamiento indica que al aumentar el grosor en la máquina de rodillos, la variable respuesta tenderá a aumentar, considerando también la intervención de otros factores controlables y no controlables en el proceso.

Teniendo en cuenta el valor máximo de porcentaje de *scrap* que espera alcanzar el departamento de calidad, el calibre bajo es el único que promete contribuir en lograr esa meta, debido a que cinco de seis datos recolectados de dicho calibre son iguales y menores a 3,80%.

Considerando los históricos, éstos (a excepción del primer dato) presentan los valores más altos de la variable respuesta, contrastados con los tres calibres implementados, lo cual evidencia el problema que debe atender la empresa frente a diversos factores que afectan el proceso.

Siendo más específicos, los datos para la primera hora de los calibres alto y medio superan el valor histórico, lo que se considera otra razón para afirmar que dichos grosores no contribuyen a lograr la reducción del porcentaje de *scrap*. En las horas siguientes, el calibre alto y los datos históricos presentan las diferencias más pequeñas así: 0,88%, 0,75%, 1,02%, 2,18% y 2,25%. Las desigualdades del calibre medio y los datos de referencia son más altos, siendo éstos: 2,33% (en donde la cifra del calibre medio es mayor a los históricos), 3,02%, 1,05%, 2,27%, 3,39%, 4,21%. Finalmente, realizando el mismo ejercicio de restar los resultados del porcentaje de *scrap* entre históricos y calibre bajo, se obtienen las siguientes cifras: 1,80%, 3,22%, 5,05%, 5,40%, 5,93%, 5,68%. El objetivo de cuantificar las diferencias del porcentaje de producto no conforme junto con los datos de referencia es comparar más fácilmente las cifras analizadas, en donde es notorio que al implementar un calibre bajo (junto con una homogeneización adecuada) se impacta en mayor magnitud la reducción del producto no conforme en el proceso.

4.3.2 Análisis de defectos de calidad de la experimentación. Aunque la evaluación de todas las alternativas implicó mejorar las características únicamente del material utilizado para formar la caña del producto, se consideran todos los defectos (incluidos los de la suela) para contrastar los históricos llevados por la empresa con los resultados alcanzados para cada uno de los calibres.

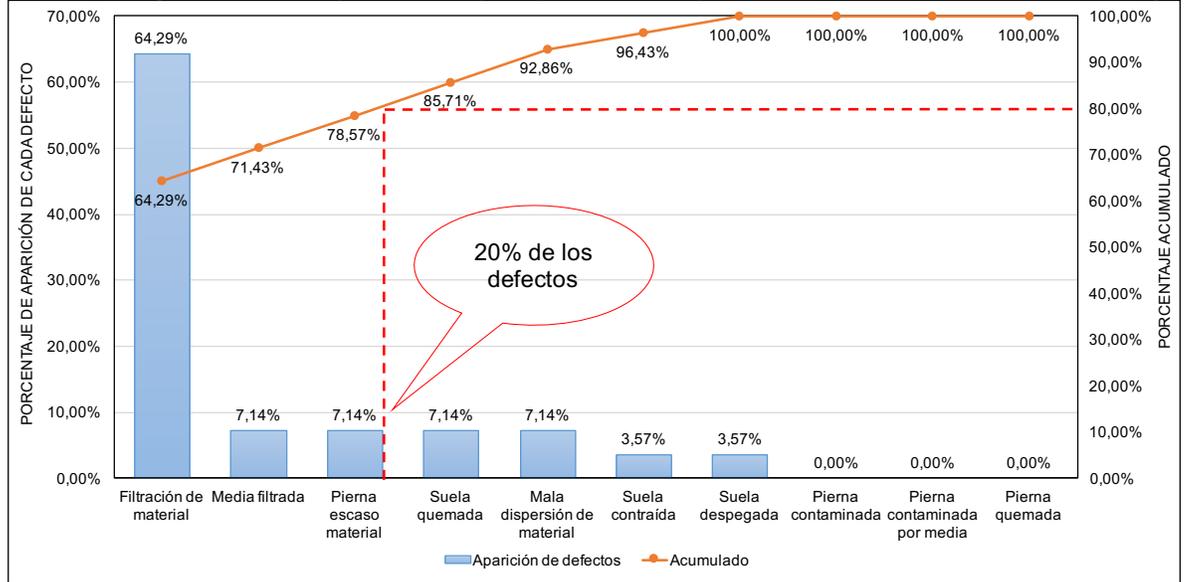
En este caso, se busca comparar los defectos de pierna quemada, pierna contaminada, mala dispersión de material y pierna contaminada por media para cada calibre, los cuales se asocian directamente a las características del material recuperado.

4.3.2.1 Calibre bajo. A continuación se aprecia el diagrama de Pareto para los defectos presentes en la evaluación del calibre bajo. Al igual que en los datos históricos, el problema más notorio es la filtración de material, en donde en este caso sólo esa imperfección es la causante del 64,29% del total de defectos de las botas inyectadas.

Los defectos media filtrada, pierna escaso material, suela quemada y mala dispersión de material en la experimentación presentan la misma cantidad de unidades no conformes, lo cual se evidencia en el comportamiento lineal que toman los datos de porcentaje acumulado para las imperfecciones mencionadas.

En la gráfica 4 se observa que el uso del calibre bajo redujo a cero los defectos concernientes a las características del material recuperado como: pierna contaminada, pierna contaminada por media y pierna quemada, lo cual se relaciona con una mejor homogeneización en el molino de rodillos. En este caso, la mala dispersión de material no se asocia con el tamaño de partícula del material, lo cual será explicado en la alternativa siguiente.

Gráfica 4. Diagrama de Pareto para los diez principales defectos presentados en la evaluación del calibre bajo.



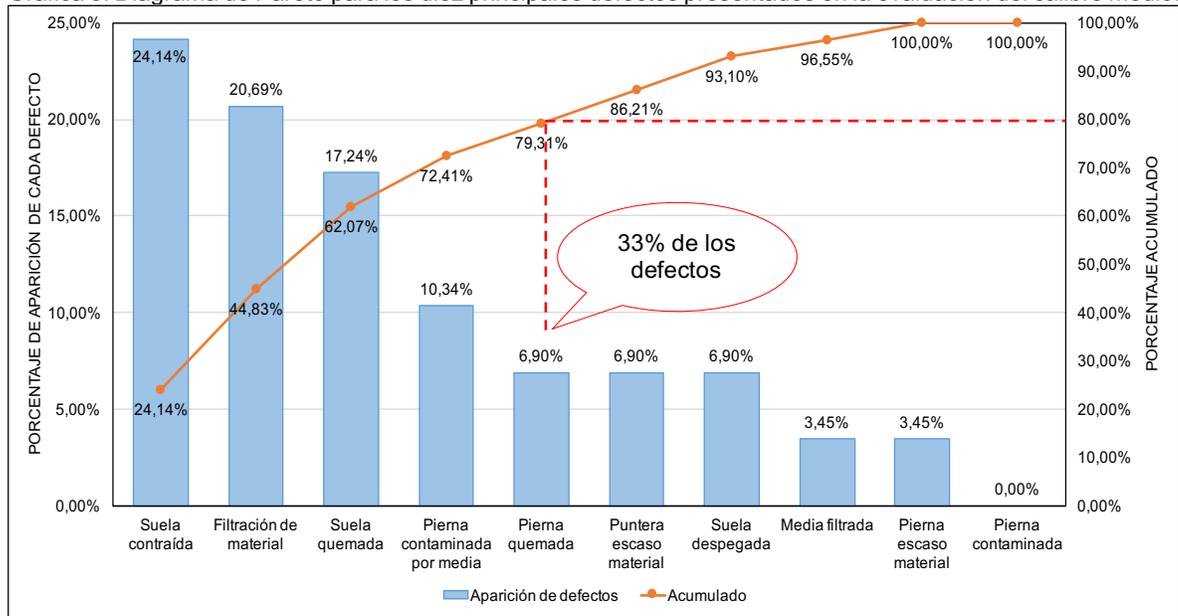
Con la gráfica 4, es posible afirmar que con el tratamiento adecuado de los parámetros que intervienen en el proceso y con la implementación del calibre bajo propuesto, es posible lograr acercar la variable respuesta a la meta proyectada por el departamento de Calidad en cuanto a este aspecto.

De los catorce defectos identificados por la empresa, solamente el 20% de éstos son los responsables del 80% de los problemas vistos en las botas de PVC.

4.3.2.2 Calibre medio. Se aprecia en la gráfica 5 que los defectos son más diversos y abundantes (en comparación con el grosor anterior). Además, para el calibre medio, las imperfecciones relacionadas con el material recuperado toman participación en el total de unidades no conformes. Más específicamente, el defecto de pierna contaminada por media es más representativo en este calibre, comparado con el calibre bajo. Es importante mencionar que la aparición de este defecto se relaciona directamente con la cantidad de *scrap* utilizado en el proceso de homogeneización.

Durante la experimentación, el defecto suela contraída (el cual no se relaciona con el material recuperado) fue el más numeroso del turno, por lo que se asocia un mal manejo de los parámetros en el proceso. Esta imperfección se manifiesta cuando el material se recoge, dejando espacios conocidos como rechupes. La suela contraída está entre los cinco defectos más representativos en el proceso de inyección de botas de PVC en la empresa.

Gráfica 5. Diagrama de Pareto para los diez principales defectos presentados en la evaluación del calibre medio.



De nuevo, el defecto filtración de material es uno de los más representativos, siendo el responsable del 20,69% del total de unidades no conformes, lo que se traduce como en más de una quinta parte del *scrap* en general. Este defecto, es el más significativo en el proceso de inyección de botas de PVC (de acuerdo a los históricos de la gráfica 1), por eso es fundamental manipular los parámetros y condiciones de

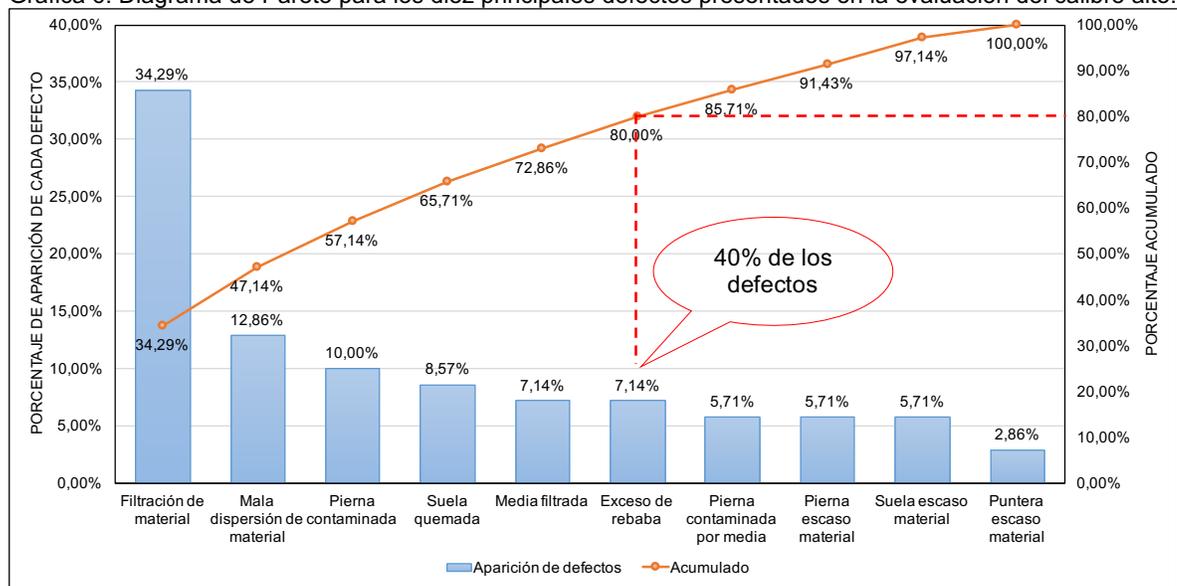
operación de los dos inyectores (caña y suela) de la Ottogalli 3 para determinar los valores óptimos de temperatura, y presión en el proceso.

Los defectos de suela contraída, filtración de material y suela quemada son los responsables del 62,07% del total de problemas presentados en la bota, el porcentaje restante se debe a imperfecciones que aparecen gracias al material recuperado como pierna contaminada con media (con participación del 10,34% de *scrap*) y pierna quemada.

El 33% del total de defectos que se pueden presentar en el *scrap*, generaron el 80% del problema para el calibre medio, asumiendo así que al aumentar el calibre, los defectos en las botas serán más variados y representativos en la generación de producto no conforme.

4.3.2.3 Calibre alto. Para este calibre, los defectos relacionados con el material recuperado toman mayor importancia. En este caso, mala dispersión de material es el segundo defecto más presentado durante la experimentación, con una participación del 12,86% del total de problemas. Contrastando dicho porcentaje con los datos históricos, se encuentra que implementar el calibre alto en el proceso de homogeneización y laminado, contribuye a incrementar la participación de la mala dispersión de material en el producto no conforme.

Gráfica 6. Diagrama de Pareto para los diez principales defectos presentados en la evaluación del calibre alto.



Como se observa en la gráfica 6, la pierna contaminada es otro de los defectos más notorios relacionados con el VION, lo que indica que utilizar un calibre de 5,25 mm contribuye a la presencia de este imperfecto en el producto. Comparando este problema con los datos históricos, se encuentra un aumento del porcentaje de *scrap* del 5,72%.

En cuanto a otros defectos, la filtración de material es el defecto más notorio presentado en la experimentación, en donde un 34,29% del *scrap* de la experimentación, se atribuye a este problema.

En este calibre, el 57,14% del total de defectos de la experimentación se atribuye a la filtración de material, mala dispersión de material y pierna contaminada. El implementar el calibre alto en la experimentación, generó más variedad de defectos (a diferencia de los demás calibres, que presentaron 7 y 9 tipos de imperfectos respectivamente).

El 80% del *scrap* presente durante la evaluación de este calibre, se asocia al 40% del total de defectos, con lo cual se reafirma lo dicho en el calibre medio: al aumentar el calibre, los defectos son más variados y representativos en la generación de botas defectuosas en el proceso de producción.

4.3.2.4 Conclusiones del análisis de defectos de calidad presentados durante la experimentación. Debido a que se aprecia que a mayor grosor en el VION aumentan los diversos defectos, se debe incrementar el control de los calibres entre rodillos en el equipo encargado de la homogeneización del material, para garantizar que los problemas asociados al VION reduzcan su participación en la generación de *scrap*. Considerando el análisis anterior, se debe utilizar un calibre del 2,59 mm o valores cercanos que no superen los 3 mm. (Dicho calibre fue encadenado a las experimentaciones posteriores). El aumento de calibre en el proceso, hace que los problemas relacionados al producto final sean más variados y abundantes, lo cual se relaciona con el proceso de homogeneización.

De acuerdo a la información de las gráficas de Pareto para los tres calibres, se observa que los defectos más representativos de la experimentación (y de los datos históricos) se deben a manejos erróneos de los parámetros de la máquina, por lo cual se resalta la importancia de atender factores como temperaturas y presiones de la Ottogalli 3.

Para los tres casos, más del 50,00% del total de defectos se asocian a tres problemas principales, en donde la filtración de material es el imperfecto más representativo. Éste no puede reducirse trabajando desde las características del material recuperado.

4.3.3 Análisis de los perfiles de temperatura manejados durante la inyección. A continuación se compara el perfil de temperaturas ajustado por el personal de la empresa junto con el porcentaje de *scrap* en cada medición y calibre. En este numeral, se considera la información dada en el capítulo 1 sobre las temperaturas recomendadas para el manejo del compuesto de PVC.

Para comprender las gráficas y tablas expuestas en este numeral, se citan la figura 1 (y su descripción) junto con la tabla 1, en donde se asocian datos generales de una máquina de inyección con la Ottogalli 3. Especificando la información relacionada en este numeral, en las gráficas se muestra el perfil de temperaturas que presenta el polímero dentro de las zonas del cilindro y, en las tablas se exponen las temperaturas preestablecidas por el personal de la planta en el controlador de la máquina.

Teóricamente, no se encuentran valores recomendados de temperaturas de la máquina de inyección para PVC recuperado, debido a que esos parámetros dependen de la historia térmica del material. Por lo cual, se va a relacionar esta variable con los resultados del porcentaje de *scrap* para sugerir un posible perfil de temperaturas apto para la inyección del VION.

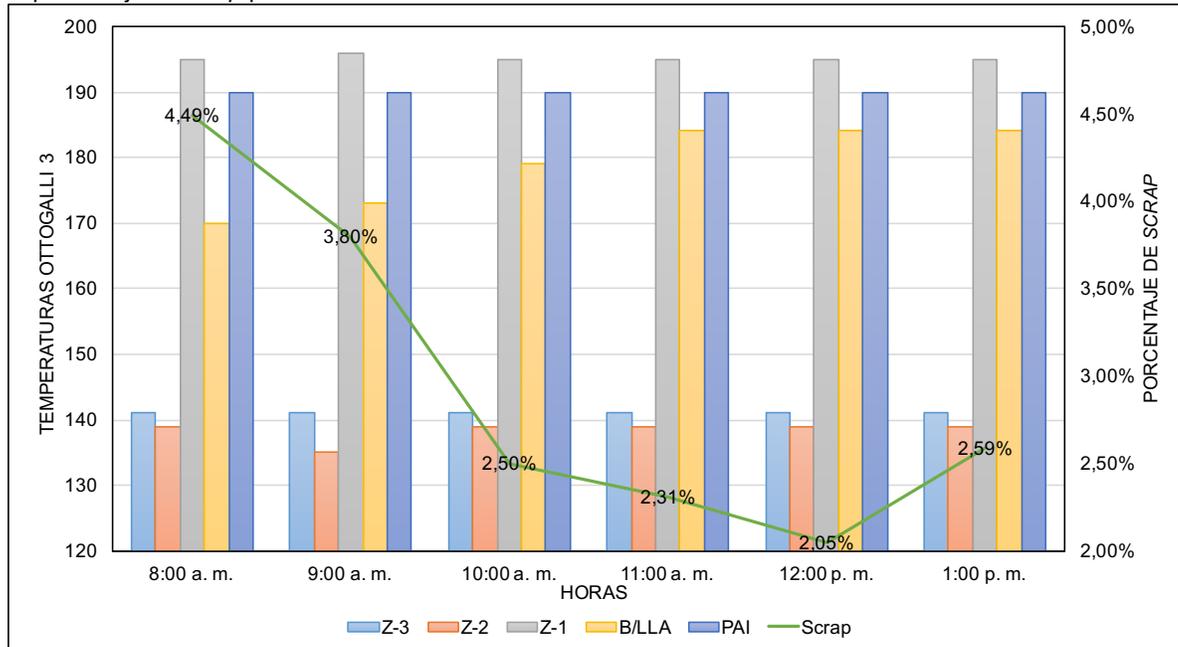
4.3.3.1 Calibre bajo. En la gráfica 7 se observa que el mayor valor que toma el porcentaje de *scrap* es en la primera medición. A medida que pasan las horas (siguientes mediciones) la variable respuesta disminuye, mostrando con eso una estabilización dentro de los parámetros preestablecidos de la máquina inyectora como se dijo previamente. De acuerdo a lo anterior, se aprecia que al aumentar la temperatura en la boquilla, se va reduciendo el porcentaje de *scrap*. En la última medición, se tiene un aumento del 0,54% que no se debe a las temperaturas manejadas en la máquina (gracias a que estas en las horas 5 y 6 permanecen constantes); ese incremento puede deberse a la influencia de otras variables que no se pueden controlar durante la experimentación como la presión de inyección, alimentación de material de la tolva hacia el cilindro, fuerzas de cierre de los moldes, aparición de contaminantes en las hormas o más factores que puedan afectar el proceso.

Según la información relacionada en la tabla 14, las temperaturas preestablecidas por el personal fueron las mismas durante todo el turno, por lo cual la variación presentada de este factor para la masa dentro del cilindro se asocia a problemas en el sistema de refrigeración y eléctrico.

Tabla 14. Temperaturas preestablecidas por el personal de Croydon Colombia S. A. para la máquina inyectora Ottogalli 3 durante la experimentación del calibre bajo.

Zona	Temperaturas (°C)
PAI	190
B/LLA	155
Z-1	200
Z-2	145
Z-3	141

Gráfica 7. Relación de las temperaturas del material en diversas zonas de la máquina inyectora Ottogalli 3 con el porcentaje de *scrap* para el calibre menor.



4.3.3.2 Calibre medio. En cuanto a las temperaturas de la gráfica 8, no se aprecia ningún tipo de tendencia del porcentaje de *scrap* por la variación de este factor en los cinco puntos del cilindro (Z-3, Z-2, Z-1, B/LLA/ PAI), a pesar de que en el cambio brusco de 21°C que se da en la temperatura de la boquilla para el primer y segundo dato recolectado también se aprecia un cambio significativo de 4,62% en el porcentaje de *scrap*. Es posible que la temperatura no sea un factor influyente de dicha disminución gracias a que en la hora siguiente el *scrap* incrementa de nuevo su valor en un 2,50%, por lo cual este cambio se debe a otro factor no controlable ni medible durante la toma de datos.

Siguiendo con el análisis de las temperatura de operación, hay que resaltar que la temperatura de la zona de alimentación está por debajo del rango recomendado para el manejo del PVC flexible, por lo cual, los defectos de filtración de material y pierna quemada se pueden asociar al mal manejo de esta variable en el proceso.

Durante esta experimentación, se cambiaron en tres ocasiones las temperaturas del cilindro de la máquina inyectora (como se evidencia en la tabla 15), lo cual también puede ser influyente en la aparición de defectos más variados en el producto.

Gráfica 8. Relación de las temperaturas del material en diversas zonas de la máquina inyectora Ottogalli 3 con el porcentaje de *scrap* para el calibre medio.

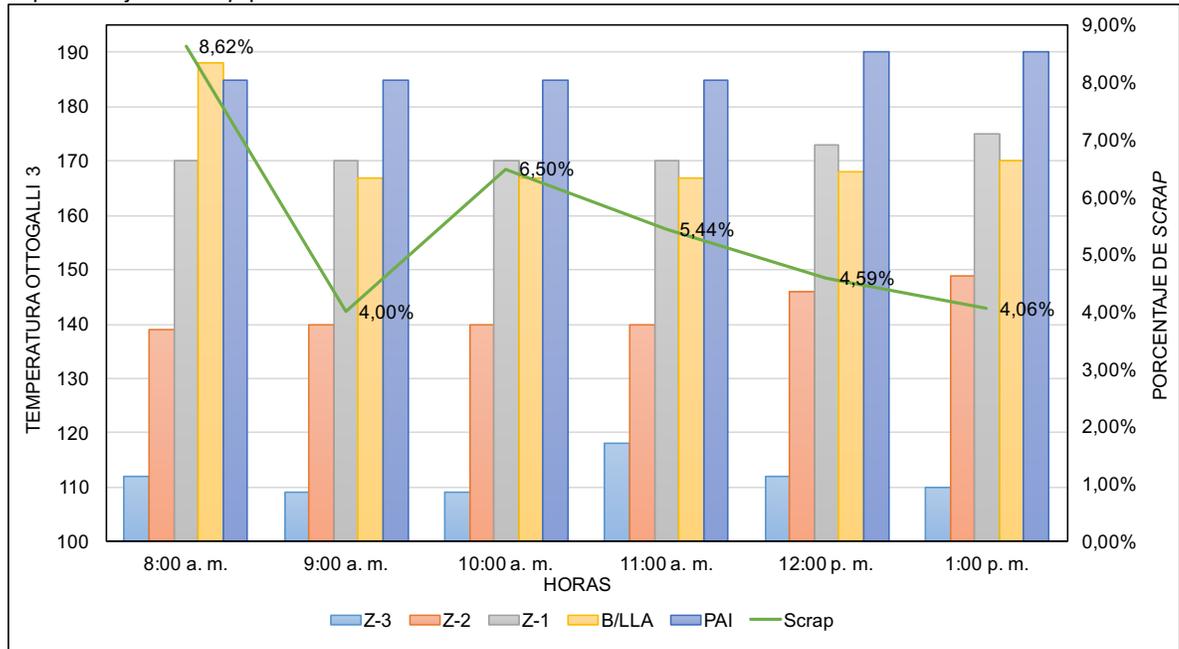


Tabla 15. Temperaturas preestablecidas por el personal de Croydon Colombia S. A. para la máquina inyectora Ottogalli 3 durante la experimentación del calibre medio.

Zona	Temperaturas (°C)		
	8:00 a.m.	9:00 a.m.	12:00 p.m.
PAI	215	185	190
B/LLA	180	160	166
Z-1	179	170	175
Z-2	140	140	150
Z-3	100	100	100

4.3.3.3 Calibre alto. En este calibre, al haber un solo ajuste de temperaturas durante el turno (tabla 16), no se observan grandes cambios de este factor para las seis mediciones. La temperatura y porcentaje de *scrap* en este grosor presentan los valores más altos comparados con los calibres medio y bajo, lo cual puede estar relacionado con el tamaño de partícula promedio del material.

En la gráfica 9, no se aprecia una tendencia del porcentaje de *scrap* a cambiar debido a variaciones en la temperatura, lo que indica la influencia de otro tipo de factor sobre la variable respuesta. El mal manejo en el perfil de temperaturas durante todo el turno puede ocasionar la aparición de defectos en las botas.

Siguiendo con la estabilización del material, después del tercer dato se puede apreciar una leve disminución del porcentaje de *scrap*, presentando un dato mínimo

del 5,80%. La fluctuación de la variable respuesta en este caso es menor que en los dos calibres analizados anteriormente, encontrándose los datos entre valores de 5,80% y 6,98%.

Gráfica 9. Relación de las temperaturas del material en diversas zonas de la máquina inyectora Ottogalli 3 con el porcentaje de scrap para el calibre alto.

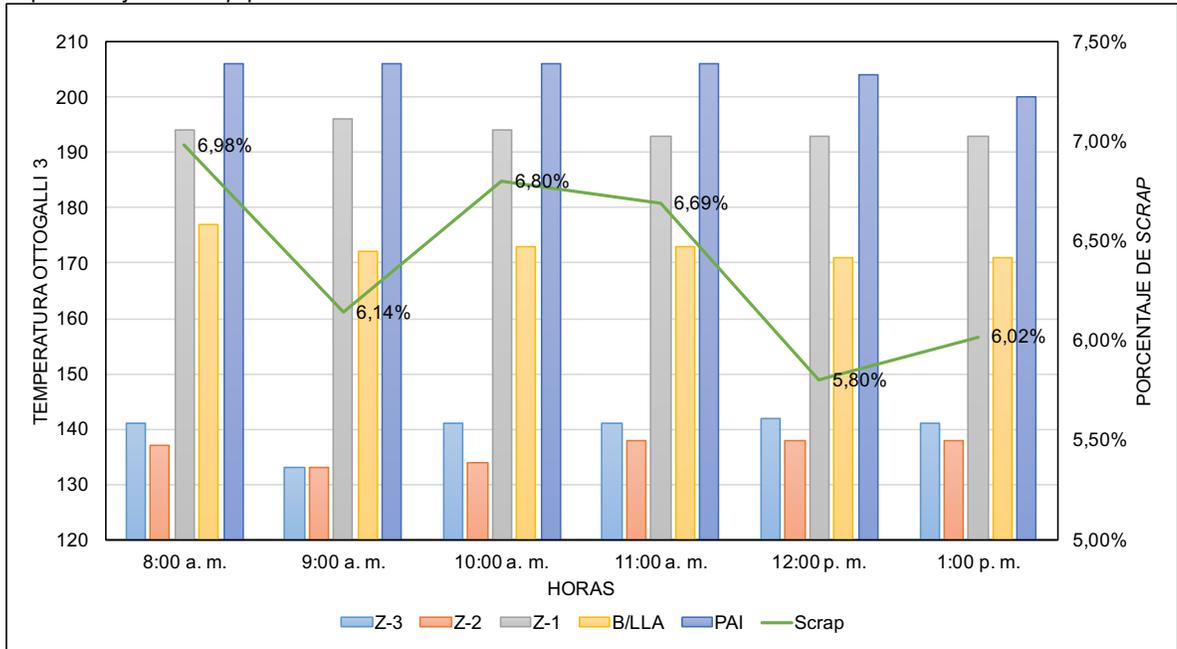


Tabla 16. Temperaturas preestablecidas por el personal de Croydon Colombia S. A. para la máquina inyectora Ottogalli 3 durante la experimentación del calibre alto.

Zona	Temperaturas (°C)
PAI	200
B/LLA	170
Z-1	206
Z-2	140
Z-3	141

4.3.3.4 Comparación de las temperaturas obtenidas entre los tres calibres manejados. De acuerdo con los datos teóricos de la tabla 1, se espera que el perfil de temperaturas que se presenta a lo largo del cilindro se comporte de forma ascendente. En otras palabras, que la temperatura de la zona 3 sea inferior a la zona 2, la cual a su vez será menor a z-1 y así sucesivamente.

Los valores más altos de temperatura del material, en la evaluación de esta alternativa los presenta el calibre alto, seguido del calibre bajo y en tercer lugar, el calibre medio. Debido a esto, no se encuentra una relación directa de las

temperaturas recolectadas con el comportamiento en el porcentaje de *scrap*, en donde el calibre alto presenta valores mayores de la variable respuesta, posteriormente el calibre medio y finalmente el calibre bajo.

Gracias a que el material recuperado ha perdido propiedades mecánicas dadas por los diversos aditivos utilizados en la formulación del compuesto, para inyectar este tipo de material se utilizan temperaturas elevadas (vistas en las gráficas anteriores de los tres calibres) comparadas con los rangos recomendados para manejar el PVC en el proceso de inyección. De acuerdo a eso y respetando los valores teóricos para el manejo del compuesto de PVC en el proceso de inyección, se recomienda estudiar el uso del perfil de temperaturas de la tabla 17.

Tabla 17. Temperaturas recomendadas a manejar en la inyección de material recuperado.

Zona	Temperaturas (°C)
PAI	180-190
B/LLA	180
Z-1	170
Z-2	160
Z-3	150

Como conclusión, es importante mencionar que a pesar de no asociar directamente el comportamiento del porcentaje de *scrap* a las temperaturas programadas en el proceso, se evidencia con los defectos que este factor es uno de los responsables de elevar la no conformidad de las botas en el proceso.

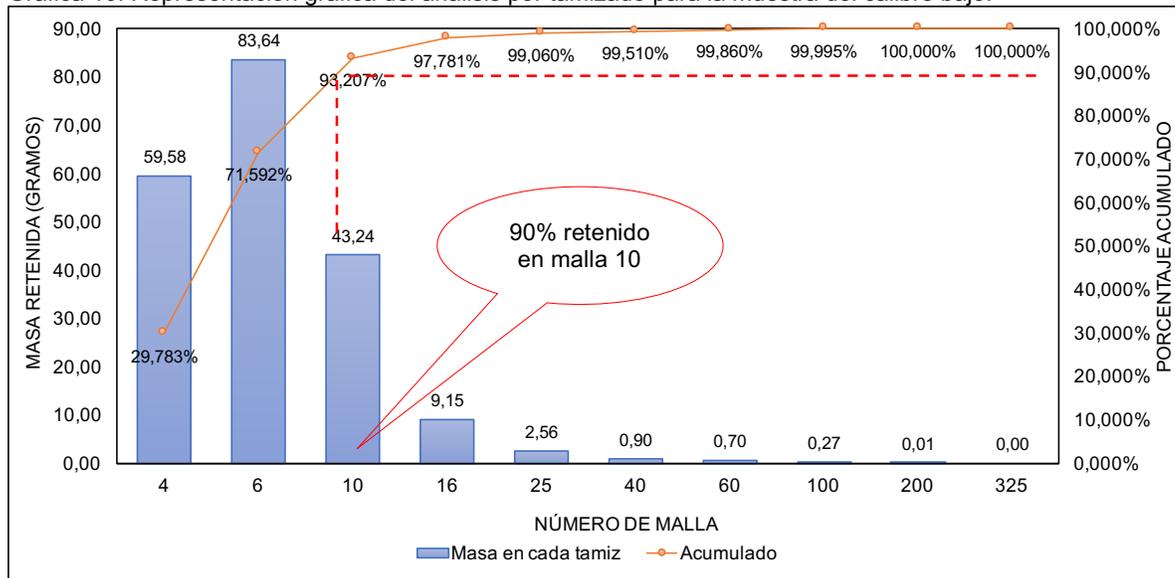
4.4 ALTERNATIVA 3. IMPLEMENTAR TAMICES EN LA ETAPA POSTERIOR AL MOLINO DE CUCHILLAS

A continuación se explican los datos obtenidos del análisis por tamizado de cada calibre para evaluar la necesidad de implementar un tamiz en el molino de cuchillas. Para esto, se considera en qué malla queda retenida la mayor parte del material y los valores del coeficiente de uniformidad y tamaño efectivo. En esta alternativa, también se buscó relacionar el tamaño de partícula de cada calibre con los defectos vistos en la experimentación de la segunda alternativa.

4.4.1 Calibre bajo. La mayor cantidad del material analizado de este calibre, como se aprecia en la gráfica 10, está retenido en las mallas 4, 6 y 10, en donde se concentra el 93,207% del compuesto de PVC recuperado.

El tamaño efectivo es la abertura de la malla donde se retiene el 90% del material, como se señala en la gráfica 10. Para este calibre es 1,982mm, el cual corresponde a la abertura de la malla 10. De acuerdo a eso, el 6,793% de la muestra presenta un tamaño menor a la abertura del TE.

Gráfica 10. Representación gráfica del análisis por tamizado para la muestra del calibre bajo.



Al estar concentrado más del 90,00% del material en las mallas con abertura más grande, se considera que el defecto de mala dispersión de material presente en este calibre se debe a malos manejos en las temperaturas del cilindro.

Para este calibre y después de la malla 6, se aprecia una disminución del material retenido a medida que la abertura del tamiz utilizado es menor.

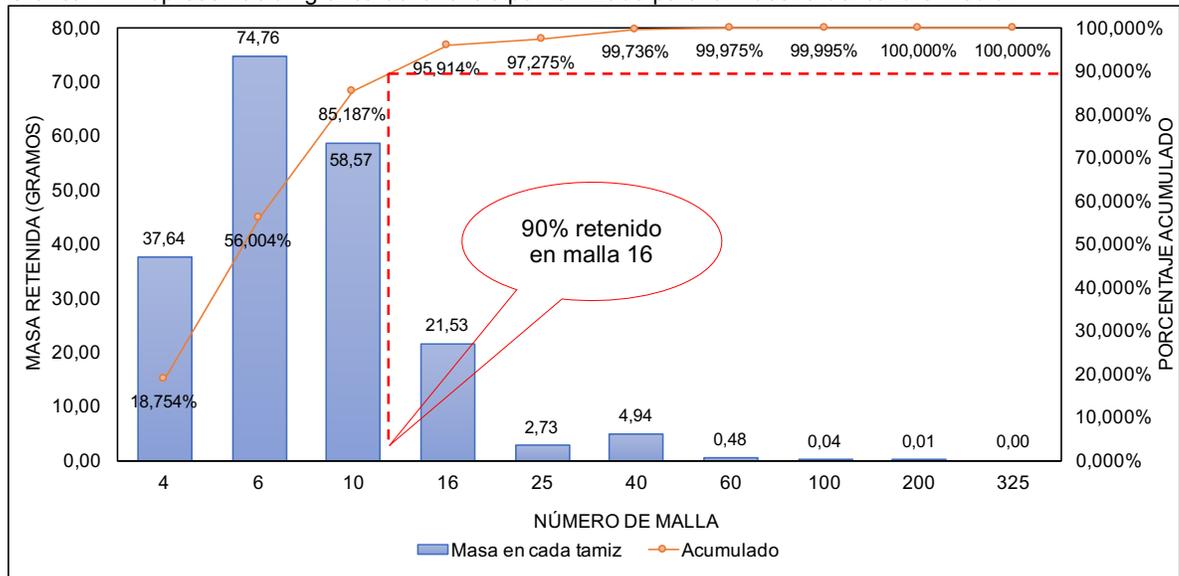
Considerando los resultados de la tabla 8, en donde el coeficiente de uniformidad para esta muestra equivale a 1,682, tomando como referencia las aberturas de las mallas 6 (donde está retenido el 40,00% del material) y 10 (donde de acuerdo a la línea se aprecia la retención de más del 90,00% de la muestra), se afirma que al utilizar un calibre bajo en el proceso de homogeneización, no se necesita implementar un tamiz en el molino de cuchillas.

4.4.2 Calibre medio. A diferencia del calibre anterior, el calibre medio presenta una distribución más heterogénea en cuanto a los tamaños de partícula de las muestras. Esto está reflejado en la gráfica 11, en donde el 95,914% del compuesto analizado está retenido en las mallas 4, 6, 10 y 16.

Paradójicamente, a pesar de tener partículas más heterogéneas en tamaño, el calibre medio en la evaluación por inyección no presentó ningún producto con el defecto de mala dispersión de material. Lo cual sostiene la afirmación realizada en la conclusión del numeral anterior, en donde esta imperfección se relaciona con los parámetros erróneos de temperatura en el proceso.

Diferente al calibre bajo y alto, y con el material retenido en la malla 40, no se observa una disminución de la cantidad de material retenido cuando se reduce la abertura del tamiz.

Gráfica 11. Representación gráfica del análisis por tamizado para la muestra del calibre medio.



En las mallas con abertura menor, se acumula mayor cantidad de material que en el calibre bajo, el cual está representado por el 2,725% del total de la muestra analizada. Esto también indica mayor heterogeneidad en el calibre manejado.

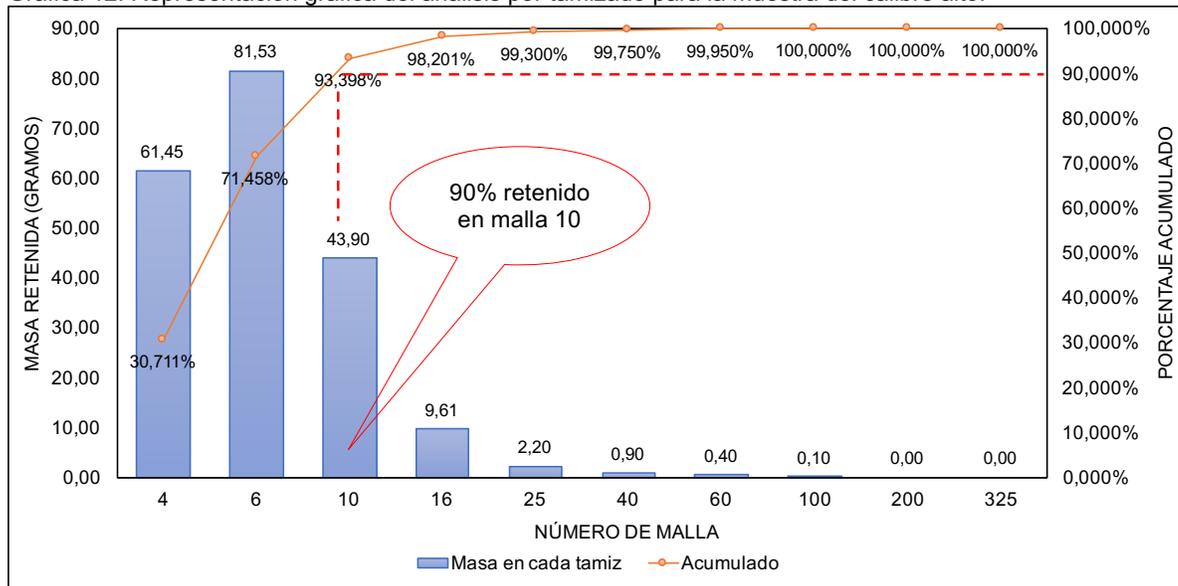
Al quedar la intersección de las líneas señaladas con rojo sobre el porcentaje señalado para la malla 10, el TE queda retenido en la malla 16, por lo cual, el valor de este parámetro es de 1,179mm. Bajo esta abertura, se encuentra el 4,086% del material evaluado.

El valor de CU para este calibre es de 2,828, lo que indica mayor heterogeneidad del tamaño con respecto al calibre bajo. A pesar de ser un valor más alto, la implementación de un tamiz en el molino de cuchillas no se considera necesario.

4.4.3 Calibre alto. La gráfica 12 expone los resultados de la evaluación del calibre alto, en donde se aprecia que el comportamiento de los datos recolectados durante el análisis por tamizado para el este calibre, es similar al calibre bajo; en donde la malla 6 retiene 81,56 g.

En la malla 10, se retiene el 93,398% del material, en donde se observa un leve aumento comparado con el calibre bajo. En otras palabras, el calibre alto y bajo retienen en la malla mencionada un poco más del 90,00%.

Gráfica 12. Representación gráfica del análisis por tamizado para la muestra del calibre alto.



A pesar de que en la evaluación del calibre alto en la etapa de inyección, la mala dispersión de material tuvo participación del 12,86%, en el análisis por tamizado el comportamiento de la mayoría de partículas presentan tamaños entre los 4,715 y 1,982mm.

Debido a la gran similitud del comportamiento de las muestras para el calibre alto y bajo, los cálculos del CU y el TE son el mismo valor, por lo cual se determina que no es necesario un tamiz en el molino de cuchillas.

4.4.4 Determinación de la implementación del tamiz de acuerdo a los resultados de la experimentación. De acuerdo con las gráficas 10, 11 y 12 se aprecia un comportamiento similar para las tres muestras (con una ligera excepción para el calibre medio). En donde para todas se determinó que no existe necesidad de implementar un tamiz en el molino de cuchillas.

Gracias a que el compuesto puro mezclado con el VION (posterior a la disminución de tamaño del recuperado) viene en tamaños inferiores a 0,2mm, se propone mezclar material peletizado con el producto del enfriador (diagrama 1) durante la etapa de inyección, para aumentar la homogeneidad de las partículas a transformar. El tamaño del material peletizado debe ser aproximadamente de 3,30mm, el cual es similar a la abertura de la malla 6.

Durante el análisis por tamizado, se observó que después de someter las muestras al proceso de agitación, el textil de poliéster proveniente del *scrap* utilizado en el molino de rodillos se aglomeró y se separó del VION triturado, por lo cual puede ser más funcional utilizar una zaranda o agitador como proceso posterior a la

disminución de tamaño del VION. Con esto, es posible retirar este contaminante que genera el problema de pierna contaminada por media.

Finalmente, se enfatiza en la importancia de realizar mantenimiento a los equipos, en especial a las cuchillas que trituran el VION. Un funcionamiento adecuado de estas herramientas evita la heterogeneidad en el material que va a ser utilizado en la etapa de inyección.

4.5 ALTERNATIVA 4. VARIAR LAS PROPORCIONES DE PURGA, PICAS, PUNTOS DE INYECCIÓN Y BOTA SIN MEDIA PARA LA FORMACIÓN DE LAS LÁMINAS DE VION

Debido a que el PVC recuperado de diferentes orígenes como las picas y purgas contiene contaminantes como el textil de poliéster y material carbonizado, es necesario observar el comportamiento de estas fuentes junto con otros que aparentemente no presentan componentes diferentes a la formulación original como la bota sin media y los puntos de inyección.

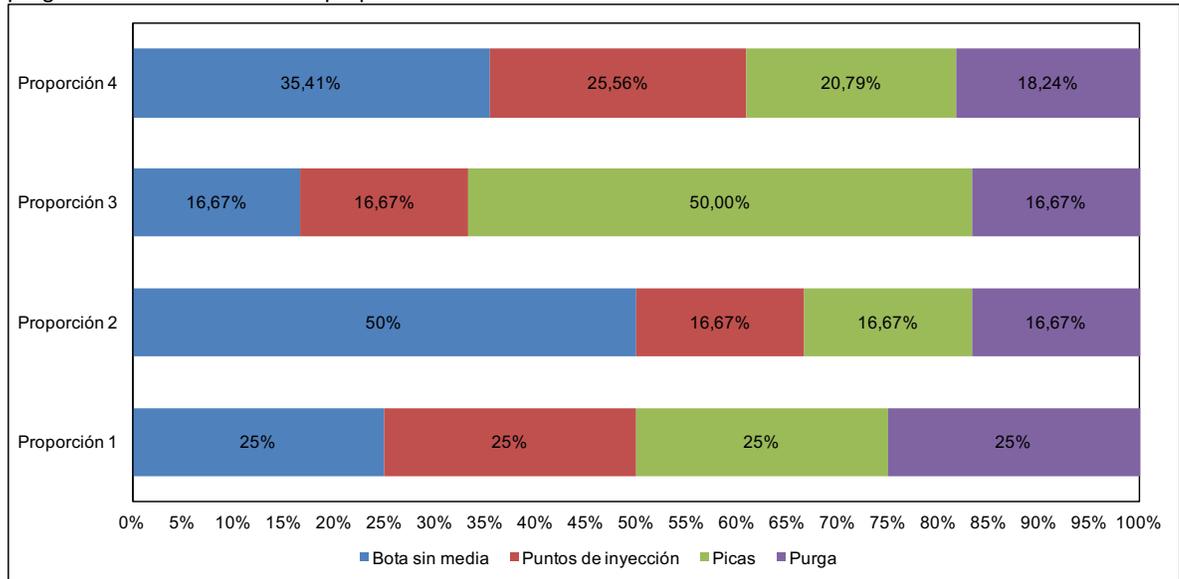
Por lo anterior, se experimentó variando las proporciones de cada una de las principales fuentes de material recuperado (purgas, puntos de inyección, *scrap* o picas y bota sin media) para formar las láminas de VION en el molino de rodillos. Al determinar en el numeral 3.2.3.3 que sí influye la proporción de dichas fuentes en el VION sobre la variable respuesta, se analizan los datos recogidos para recomendarle a la empresa un manejo adecuado de este tipo de material en el proceso de homogeneización.

Como referencia para el análisis e interpretación de los resultados recolectados, se toma la tabla 9, en donde se encuentran los datos de la variable respuesta para cada una de las proporciones propuestas. En este caso y a diferencia de la alternativa 2, no se puede hablar de la estabilización del material debido a que cada cifra fue obtenida en días diferentes.

En la gráfica 13 se aprecia la distribución de cada una de las fuentes más abundantes de material a recuperar dentro de las láminas de VION. La descripción de cada una de las proporciones fue realizada en el numeral 3.2.3.

Por la particularidad de la experimentación de esta alternativa, no es apropiado comparar los resultados obtenidos correspondientes al porcentaje de *scrap* con los datos históricos, pues es notorio que esta variable para todas las proporciones toma valores excesivamente elevados.

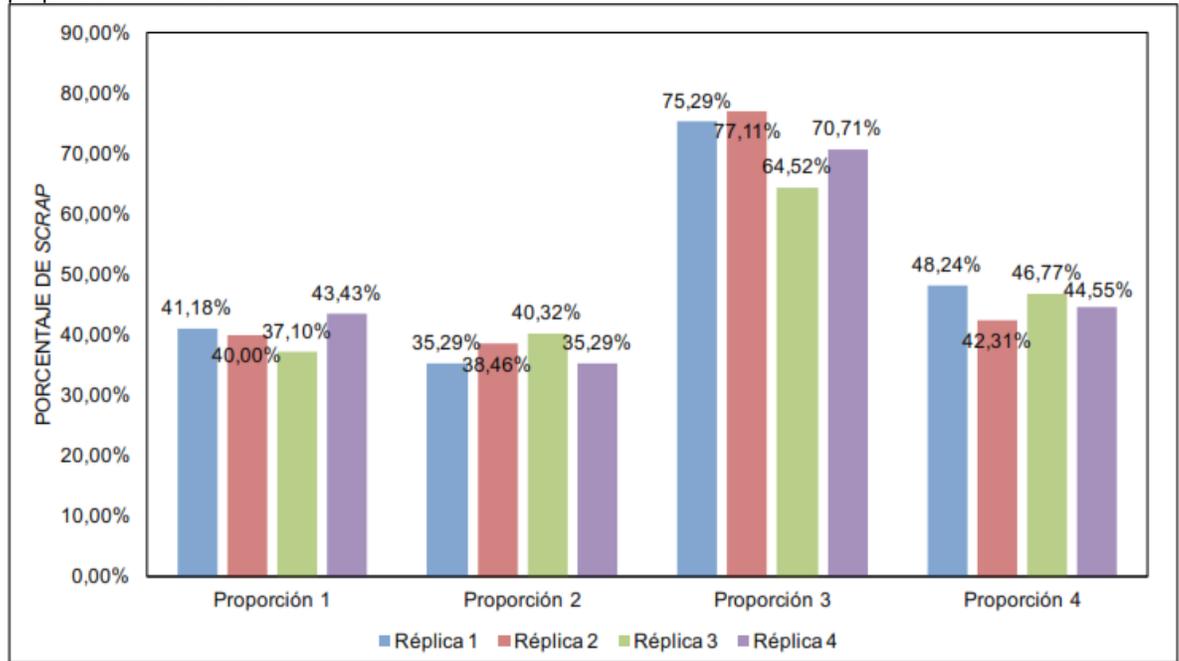
Gráfica 13. Porcentajes manejados de bota sin media, puntos de inyección, picas (producto no conforme) y purga utilizados en las cuatro proporciones utilizadas en la evaluación de la cuarta alternativa.



4.5.1 Análisis del porcentaje de *scrap* obtenido en la experimentación.

Comparando las gráficas 13 y 14, la proporción 3 que tiene en su composición un 50% de PVC con textil de poliéster (picas), presenta valores elevados de porcentaje de *scrap*; este comportamiento puede explicarse debido a la cantidad de material contaminante presente en el VION de esa proporción.

Gráfica 14. Datos del porcentaje de *scrap* relacionados en la tabla 9, con cuatro réplicas para cada una de las proporciones evaluadas.



Siguiendo en la misma observación, la segunda proporción presenta tres de los cuatro datos más bajos de la experimentación, tomando datos para el porcentaje de *scrap* de 35,29%, 38,46%, 40,32% y 35,29%; esta reducción del valor para la variable respuesta se relaciona directamente con la reducción al 16,67% de las picas en el material recuperado, el cual es el porcentaje más bajo de picas presente en las diferentes proporciones evaluadas.

En cuanto a las proporción 1, se observa que a pesar de que tiene un contenido más elevado de material contaminado con textil de poliéster (25%) con respecto a la 4, los porcentajes de la variable respuesta son menores. En este caso se puede atribuir este comportamiento a las características de la purga presente en el material, puesto que el material carbonizado en el PVC de color negro es imperceptible.

Debido a que durante la evaluación de esta alternativa no se utilizó resina virgen, los porcentajes de *scrap* son elevados con respecto a los valores obtenidos en las pruebas correspondientes a otras alternativas. Lo anterior se explica con la disminución de las propiedades mecánicas del material recuperado al ser sometido en repetidas ocasiones a procesos en donde se manejan temperaturas desde 90 hasta 200°C. En otras palabras, el compuesto de PVC a reincorporar en el proceso es más sensible a altas temperaturas que una resina virgen. De acuerdo con Bozzelli³², una complicación del material recuperado o como él lo llama “remolido” es la pérdida de aditivos que componen la resina, lo que también justifica las cifras elevadas que tomaron las réplicas del porcentaje de *scrap* en la evaluación de esta alternativa.

4.5.2 Análisis de defectos de calidad presentados durante la experimentación. En las siguientes gráficas de este numeral, se encuentran los diagramas de Pareto, en donde se consideran todos los defectos vistos en el producto para cada una de las proporciones. Gracias a las características del material recuperado y de la experimentación como tal, los defectos en esta alternativa son más abundantes y variados.

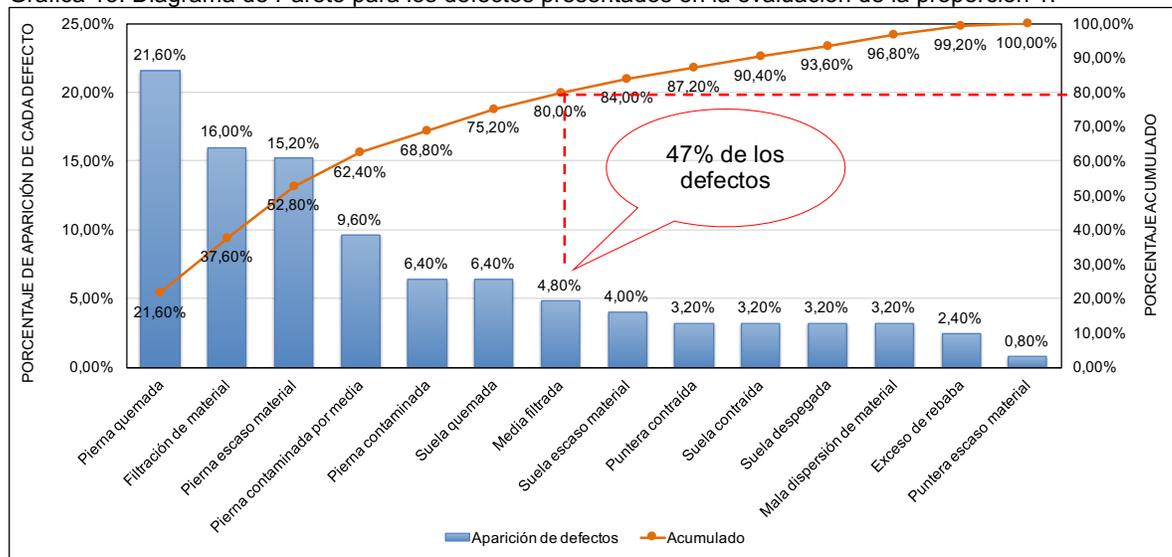
Durante la evaluación de esta alternativa, se comparan entre proporciones diversos defectos como pierna quemada, pierna contaminada y pierna contaminada por media principalmente, los cuales se asocian con las características del material y el textil de poliéster.

En este caso y para todas las proporciones, los defectos de calidad son comparados con los datos históricos de la gráfica 2.

³² BOZZELLI, John. Moldeo por inyección: otra manera de lidiar con el material recuperado. 29 de diciembre de 2014. [Consultado el 26 de mayo de 2017]. Disponible en: <http://www.pt-mexico.com/columnas/moldeo-por-inyeccion-otra-manera-de-lidiar-con-el-material-recuperado>

4.5.2.1 Proporción 1. Para la primera proporción, se aprecia en la gráfica 15 que el defecto más notorio se asocia a la pierna quemada, lo cual corrobora lo dicho anteriormente de la inestabilidad del material recuperado al ser procesado nuevamente en la inyección. Comparando ese comportamiento con los datos históricos, se aprecia un aumento en la participación de la pierna quemada, en donde para los datos de referencia, este defecto es asociado al 8,01%.

Gráfica 15. Diagrama de Pareto para los defectos presentados en la evaluación de la proporción 1.



A pesar de que la proporción mencionada ocupa el segundo lugar los porcentajes más bajos de porcentaje de *scrap* (seguido de la proporción 2, que fue la de mejor comportamiento durante la experimentación), el defecto de pierna contaminada por media es uno de los más notorios. Esto puede explicarse debido a que contiene el 25% de material con textil de poliéster, el cual es el segundo porcentaje más abundante de picas comparando las cuatro proporciones.

Nuevamente, la filtración de material sigue siendo uno de los problemas más importantes en el proceso de inyección, por lo cual se debe estudiar más a fondo el comportamiento del PVC con la variación de los parámetros de la máquina para determinar las condiciones más adecuadas para transformar el material. Relacionado lo anterior con los datos de referencia, el utilizar esta proporción en la experimentación, no contribuye a reducir el problema más representativo para las líneas de color negro manejadas por la empresa.

Los primeros cuatro defectos, son los responsables del 62,40% del total de defectos que se presentaron en la evaluación de esta proporción y; el 80% del *scrap* de la experimentación se atribuye al 47% del total de imperfecciones.

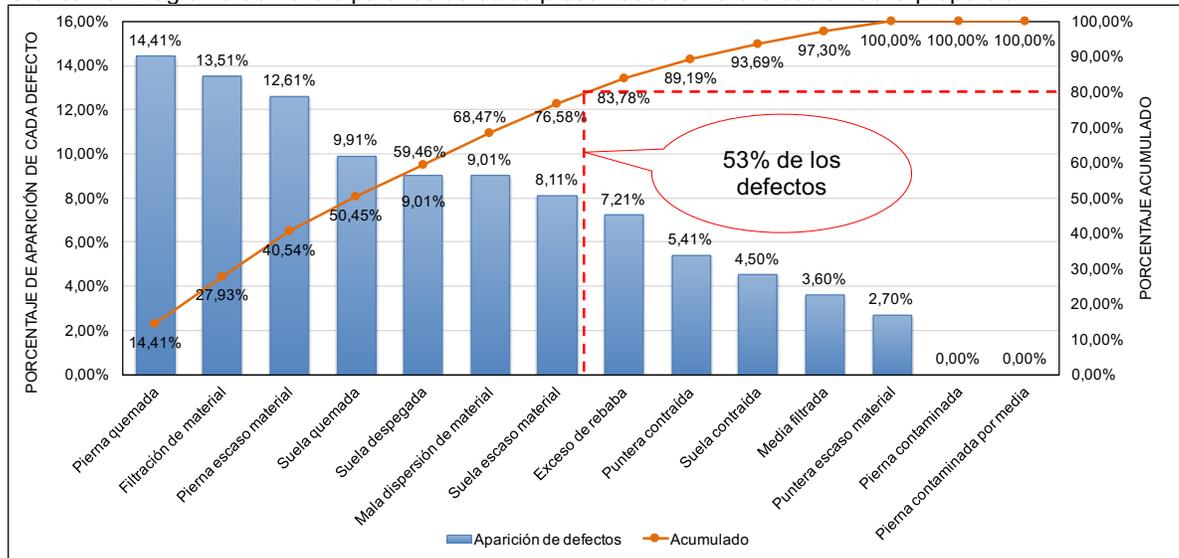
Finalizando el análisis de la proporción 1, es de notar que en la inyección de material únicamente recuperado se generaron defectos más variados, a diferencia de la experimentación de la alternativa 2.

4.5.2.2 Proporción 2. En la gráfica 16, se exponen los defectos que presentó el producto durante la evaluación de esta proporción, en donde al igual que en la explicación anterior, la pierna quemada es el problema más representativo del proceso. Debido a eso se afirma que, al someter repetitivamente el compuesto de PVC a procesos que aumenten el calor del material, el material se va a degradar, lo cual se va a manifestar en el producto con una apariencia opaca y degradada.

Defectos de filtración de material y pierna escaso material siguen siendo importantes en la aparición de producto no conforme, por lo cual (y como se ha recalcado en este trabajo), se debe trabajar para encontrar los parámetros adecuados que reduzcan los defectos que dependen directamente de factores como presiones y temperaturas en el proceso.

Es de apreciar en el diagrama de Pareto, que la diferencia entre el porcentaje de participación para cada defecto es baja, indicando con esto que a pesar de tener productos que presentaron la mayoría de problemas asociados a la pierna quemada, los demás defectos también contribuyen en porcentajes importantes en la generación de producto no conforme.

Gráfica 16. Diagrama de Pareto para los defectos presentados en la evaluación de la proporción 2.



Defectos como pierna contaminada y pierna contaminada por media no se presentaron durante la evaluación de esta proporción, lo que se explica con el manejo de cantidades inferiores de material con textil de poliéster en la homogeneización.

El 80% del *scrap* que apareció durante esta experimentación, se atribuye al 53% del conjunto de defectos de calidad.

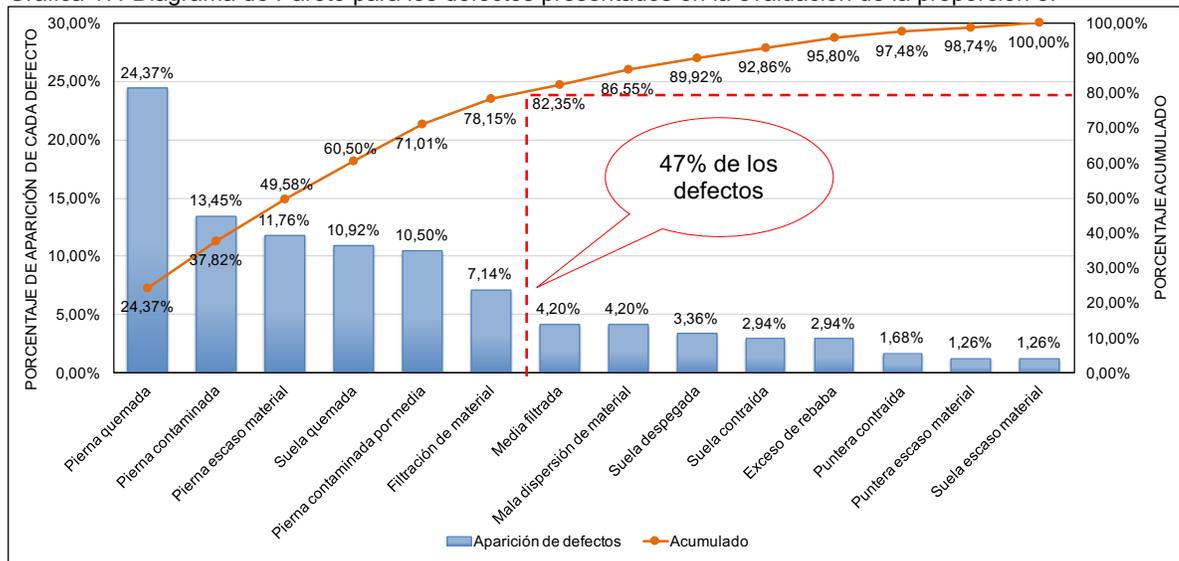
Durante la evaluación de la proporción 2, se presentaron los niveles más bajos de producto no conforme, lo que se evidencia también con la aparición de menos defectos (comparando con las demás proporciones).

4.5.2.3 Proporción 3. En esta proporción, como se expone en la gráfica 17, el defecto de pierna quemada es el más representativo del proceso, con una participación del 24,37% del total de defectos. Este valor es el más alto comparado con las proporciones 1,2 y 4. Al igual que en los análisis anteriores, el defecto de pierna quemada se agrava al no utilizar compuesto puro de PVC durante la recuperación del material en el proceso de inyección.

El defecto de pierna contaminada es el segundo más notorio, con el 13,45% de la participación. Esto puede ser asociado a que el operario en la homogenización no utilizó el negro de humo suficiente para laminar el material, lo cual indica que una homogeneización no adecuada se debe también a la cantidad de aditivos utilizados en el proceso.

Para la pierna contaminada por media, en esta proporción toma el valor más alto de participación (10,50%), lo que se explica con el uso del 50% de picas en la formación del VION.

Gráfica 17. Diagrama de Pareto para los defectos presentados en la evaluación de la proporción 3.



El defecto de filtración de material se redujo drásticamente comparado con los datos históricos, en donde pasó de ser el responsable del 15,82% a generar el 7,14% de la no conformidad de las botas. Esto no se asocia al manejo adecuado de las

temperaturas en la inyección, si no al reemplazo de este defecto por otros que tienen que ver con las características del VION utilizado.

Para este caso, el 47% de los defectos ocasionan el 80% del *scrap* en el proceso.

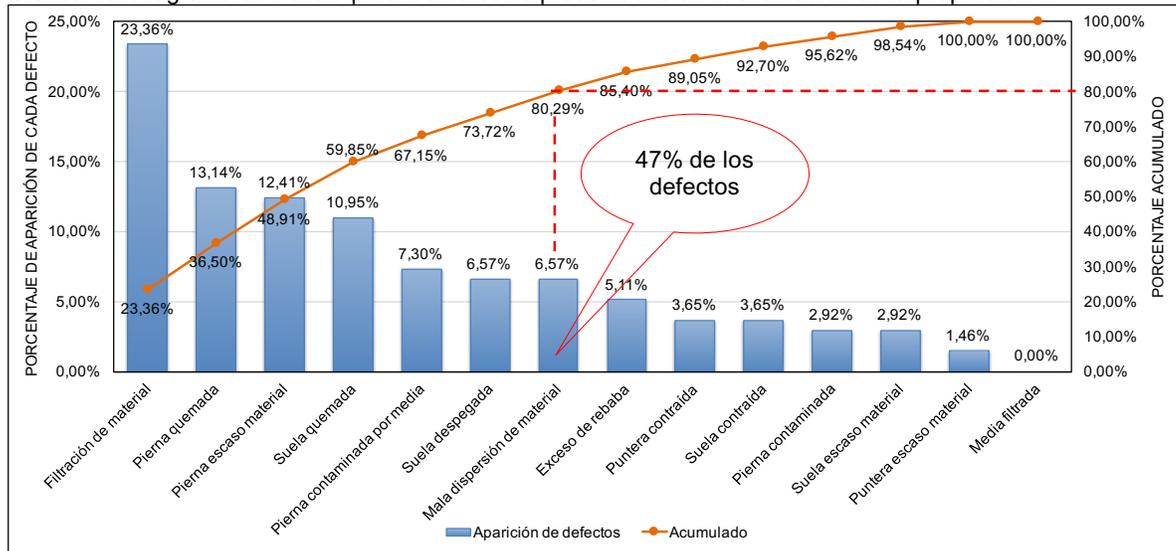
Finalmente, los defectos de pierna quemada, pierna contaminada, pierna escaso material y suela quemada generaron el 60,50% de no conformidad en la evaluación de la tercera proporción.

4.5.2.4 Proporción 4. Para esta proporción, el defecto de filtración de material es el más importante, al igual que en los históricos, con una participación del 23,36% como se observa en la gráfica 18.

En esta, al igual que en las demás proporciones, la pierna quemada es uno de los principales defectos vistos en el producto. Lo anterior está más asociado al uso exclusivo de material recuperado en la inyección que a los parámetros utilizados en la máquina, también al manejo erróneo de temperaturas en el proceso.

En los cuatro primeros defectos relacionados en la gráfica, se concentra el 59,85% de los trece defectos identificados en las botas durante la experimentación. A nivel más general, el 47% del *scrap* de la experimentación, se asocia a siete defectos de quince identificados por la empresa (considerando la clasificación “otros”, la cual es considerada como el defecto número 15).

Gráfica 18. Diagrama de Pareto para los defectos presentados en la evaluación de la proporción 4.



4.5.3 Análisis de los perfiles de temperatura manejados durante la inyección.

En cuanto a este aspecto, para esta experimentación y para la toma de cada uno de los datos (los que se recolectaron en días diferentes), se utilizaron dos horas por turno para estabilizar el material utilizado en la máquina en base a las temperaturas preestablecidas por la empresa cuando se evaluó el calibre bajo. Dichas temperaturas se encuentran relacionadas en la tabla 14.

Las temperaturas utilizadas durante la evaluación del calibre bajo fueron seleccionadas para esta experimentación debido a que fue el grosor que presentó menor porcentaje de *scrap*.

En este caso, al utilizar las mismas temperaturas para obtener los dieciséis datos, no se realiza una comparación entre proporciones con respecto a este factor.

4.6 ALTERNATIVA 5. EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS DE MATERIAL NUEVO CON RECUPERADO EN LA ETAPA DE INYECCIÓN

Considerando que en el numeral 3.2.4.3 se determinó que no existe influencia en variar la cantidad de material recuperado en compuesto puro para el proceso de inyección, el enfoque del análisis de la implementación de esta alternativa es diferente. Lo anterior tiene sentido comparándolo con lo dicho por Bozzelli³³, en donde él afirma que no hay un rango para utilizar el material recuperado con resina virgen.

En esta alternativa se expone por medio de gráficas el porcentaje de *scrap* de cada mezcla, sus defectos y las temperaturas manejadas en el proceso.

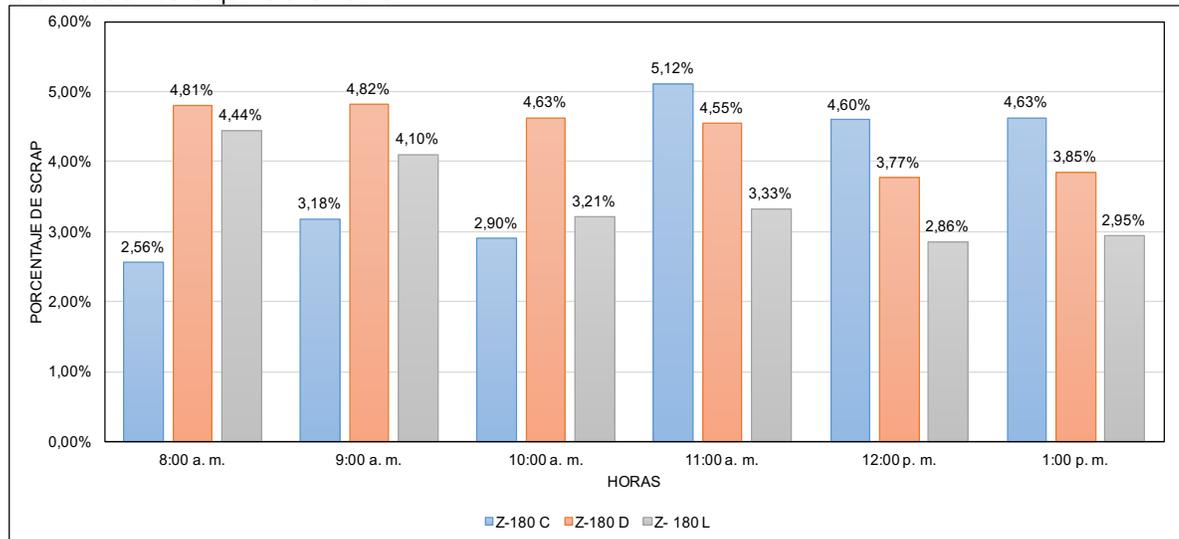
4.6.1 Análisis del porcentaje de *scrap* obtenido en la experimentación. En la gráfica 19 se exponen los datos de porcentaje de *scrap* obtenidos durante la evaluación de las tres mezclas sugeridas en esta alternativa. Todos los datos presentados de la variable respuesta toman valores inferiores a los históricos de la empresa, lo cual indica que las mezclas Z-180 C, D y L funcionan adecuadamente para el aprovechamiento del material recuperado.

El comportamiento de los datos para las mezclas es variado, por ejemplo, para la mezcla Z-180 C se observa un aumento drástico (del 2,22%) del porcentaje de *scrap* para la cuarta hora, reflejando una desestabilización en cuanto a los parámetros de la máquina inyectora. Todo lo contrario ocurre con la Z-180L, la cual muestra una disminución de esta variable con el paso de las horas.

³³ Ibid.

A pesar de que la mezcla C tenga el valor más alto del porcentaje de *scrap* visto en la experimentación, es la Z-180 D quien mantiene datos elevados para todas las horas, superando con cinco de sus seis datos la meta máxima del 3,80%.

Gráfica 19. Datos del porcentaje de *scrap* (tabla 12) tomados en seis horas diferentes del segundo turno para la evaluación de la quinta alternativa.



Al no encontrar influencia del uso de diversas mezclas de material puro con recuperado, no es apropiado recomendar una mezcla en especial, además, se debe tener en cuenta la programación de los parámetros de la máquina inyectora. En esta experimentación, las mezclas Z-180 C en las tres primeras horas y; la Z-180 L para los valores desde las 10:00 a.m. hasta la 1:00 p.m. presentan datos del porcentaje de *scrap* inferiores a la meta máxima del 3,80%.

Es notorio que con la evaluación de esta alternativa, se demuestra la necesidad de utilizar compuesto virgen de PVC para recuperar el VION, gracias a que se ayuda a reducir considerablemente el porcentaje de *scrap*. Esto se debe a que la resina pura sólo ha sido sometida a un tratamiento con uso de temperaturas altas (mayores a 100°C y en la formación del compuesto en el Henschel).

4.6.2 Análisis de defectos de calidad presentados durante la experimentación. En el análisis de este aspecto, se comparan los resultados con los datos históricos, para determinar qué problemas mejoran con la implementación de las alternativas anteriores (debido al encadenamiento). También se identifican los defectos más representativos durante la experimentación para posteriormente analizarlos desde el análisis de las temperaturas manejadas en el proceso.

En este caso, se analiza especialmente la participación de los defectos pierna quemada, pierna contaminada, pierna contaminada por media y mala dispersión de

material, los cuales como se ha dicho en numerales anteriores, se asocian directamente a las características del material recuperado.

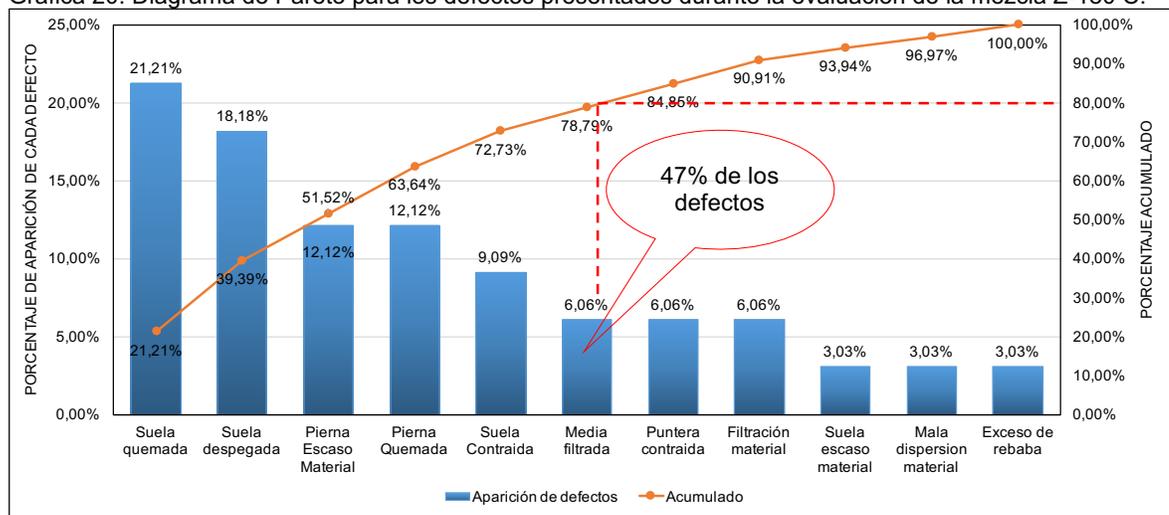
4.6.2.1 Mezcla Z-180 C. Como se aprecia en la gráfica 20, el defecto de pierna quemada es el cuarto problema más importante del proceso, con una participación del 12,12% en el total de producto no conforme.

En este caso, sólo los defectos de pierna quemada y mala dispersión de material se manifestaron en el proceso, los cuales representan el 15,15% en el total de la evaluación de dicha mezcla. Los demás problemas se asocian al mal manejo de temperaturas y presiones durante la inyección.

Comparado con los históricos, el defecto de filtración de materia redujo su protagonismo, siendo partícipe del 6,06% de problemas que presentaron las botas.

El 80% del *scrap* se relaciona con el 47% de los defectos que se pueden presentar en las botas, lo que indica que la mayor parte del problema se atribuye a unas pocas causas.

Gráfica 20. Diagrama de Pareto para los defectos presentados durante la evaluación de la mezcla Z-180 C.



Los defectos relacionados con la suela del producto son los más importantes del proceso, los cuales representan el 51,51% de los problemas de la gráfica.

En 51,52% de los defectos presentados durante la experimentación están asociados a la suela quemada, suela despegada y pierna escaso material. De acuerdo a esto, es fundamental controlar los parámetros como temperaturas y presiones en los dos inyectores.

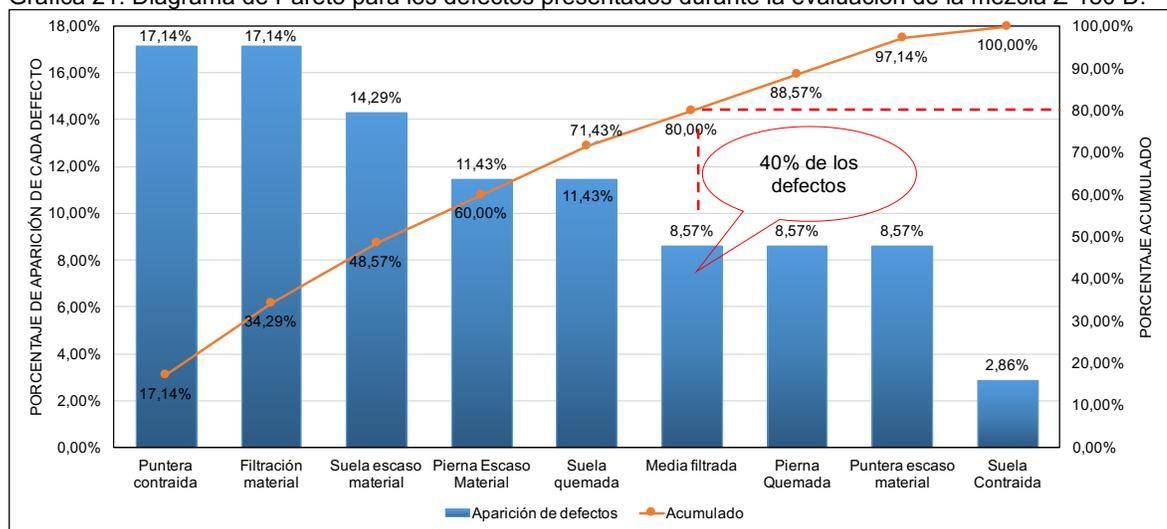
4.6.2.2 Mezcla Z-180 D. Para esta mezcla, el único defecto asociado al material recuperado que se presentó en esta experimentación es el de pierna quemada, el cual tiene una participación del 8,57%.

De acuerdo con la gráfica 21, la cantidad de defectos de puntera contraída y filtración de material durante la evaluación de la mezcla fue la misma. Se recuerda que las causas asociadas a estos problemas están esquematizadas en el numeral 2.3.

La filtración de material de nuevo toma parte importante del proceso, al igual que en los datos históricos.

A pesar de que en este calibre se presentan para las seis horas porcentajes elevados del porcentaje de *scrap*, los defectos son menos variados comparados con la mezcla Z-180 C.

Gráfica 21. Diagrama de Pareto para los defectos presentados durante la evaluación de la mezcla Z-180 D.



En este caso, el 60,00% de los defectos se atribuyen a los cuatro primeros defectos, los cuales representan aproximadamente el 50,00% de los problemas presentados en el proceso y; el 80% del *scrap* de la experimentación, corresponde a los seis primeros defectos expuestos en la gráfica 21 (que son el 40% de los defectos que se presentan en el proceso de producción).

4.6.2.3 Mezcla Z-180 L. De acuerdo con la gráfica 22, el defecto de pierna quemada es el más importante en la evaluación de esta mezcla, lo cual se tratará de analizar desde el punto de vista de las temperaturas utilizadas en el proceso. Dicho defecto es el único relacionado con el material recuperado (aparte de las temperaturas del cilindro de inyección).

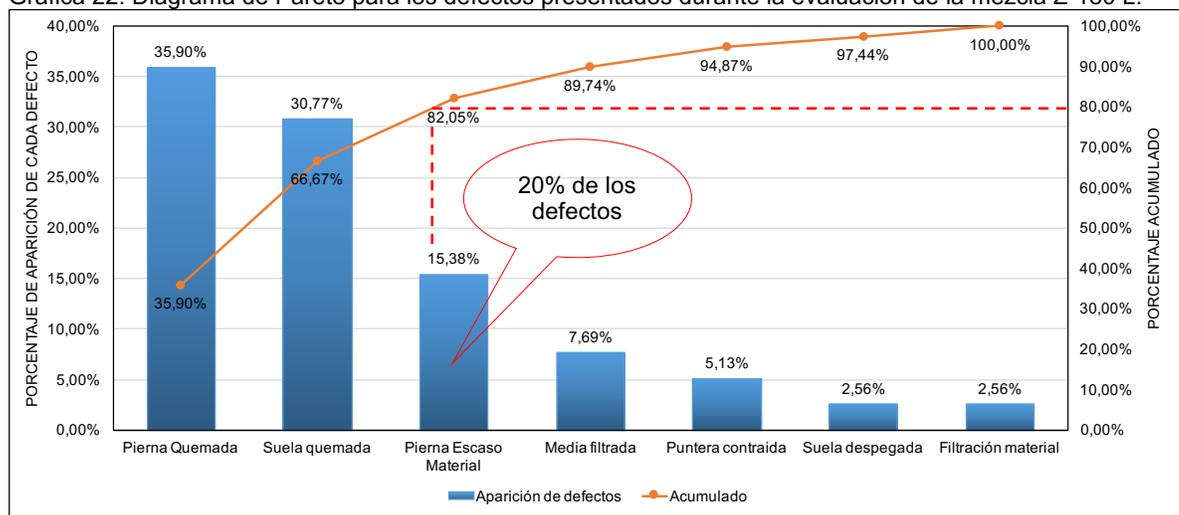
La mezcla Z-180 L presenta los defectos menos variados de la evaluación de la alternativa, con siete problemas en total.

Para esta mezcla, la filtración de material, considerada la imperfección más abundante de acuerdo a los históricos, tiene la participación más baja comparada con los demás defectos relacionados en la gráfica 22, en donde el 2,56% de las botas manifestaron este problema.

El 66,67% del producto no conforme se debe a defectos como pierna y suela quemada. En el caso de los históricos, es la suela quemada un defecto más representativo comparado con pierna quemada.

Como se señala en las líneas punteadas, el 80% de las botas defectuosas son generadas por el 20% de los defectos totales, lo cual se traduce en tres defectos principales como pierna quemada, suela quemada y pierna escaso material.

Gráfica 22. Diagrama de Pareto para los defectos presentados durante la evaluación de la mezcla Z-180 L.



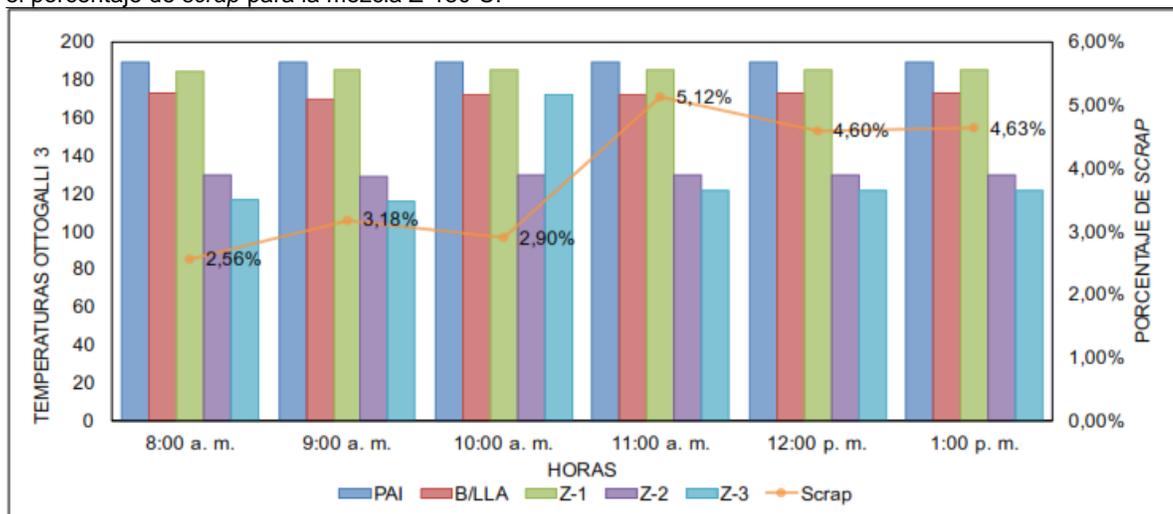
En general, es importante mencionar que con la implementación de las alternativas defectos como pierna contaminada por media, mala dispersión de material, pierna quemada, y pierna contaminada han reducido su participación en el total de producto no conforme. Por lo cual, queda trabajar en el ajuste de parámetros adecuados para disminuir el porcentaje de *scrap* en el proceso de inyección de las líneas que manejan material recuperado negro.

4.6.3 Análisis de los perfiles de temperatura manejados durante la inyección.

En este numeral se compara el perfil de temperaturas que presenta la masa del inyector 1 (pierna) con el porcentaje de *scrap* presentado por cada mezcla. Aquí, se considera la información teórica dada en el numeral 1.3.6.1 en cuanto al manejo de temperaturas recomendadas para manejar el compuesto de PVC en el proceso de inyección. En las gráficas, se encuentra relacionada la temperatura de la masa y el porcentaje de *scrap* y; en las tablas, se exponen las temperaturas programadas por el personal de la empresa para el manejo del material durante la experimentación.

4.6.3.1 Mezcla Z-180 C. La gráfica 23 expone los datos correspondientes a las temperatura del material en seis diferentes horas. En este caso, la variación más notoria de un cambio de temperatura se aprecia a las 10:00 a.m., en donde la temperatura Z-3 aumentó de 116 a 172°C. Ese cambio se debe a un cambio de programación a esa hora, el cual está evidenciado en la tabla 18.

Gráfica 23. Relación de las temperaturas del material en diversas zonas de la máquina inyectora Ottogalli 3 con el porcentaje de *scrap* para la mezcla Z-180 C.



El aumento de las 10:00 a.m. de la temperatura de la Z-3, está asociado con un aumento del porcentaje de *scrap* para la hora siguiente, en donde se generan defectos como pierna quemada. Después de la hora mencionada, a pesar de reestablecer la temperatura al observar el aumento del porcentaje de *scrap* en el proceso, esta variable no vuelve a sus valores iniciales, los cuales son menores a 3,80%.

Las temperaturas de la masa y las preestablecidas para las demás zonas del cilindro permanecen constantes durante el turno, por lo cual, se asocia el aumento del *scrap* por el incremento de Z-3.

En cuanto a los parámetros teóricos, Z-3, Z-2 y Z-1 se encuentran fuera de los rangos sugeridos en la Tabla 1, por lo que se sugiere considerar dichos datos

implementarlos en la producción de botas de PVC que manejen material recuperado.

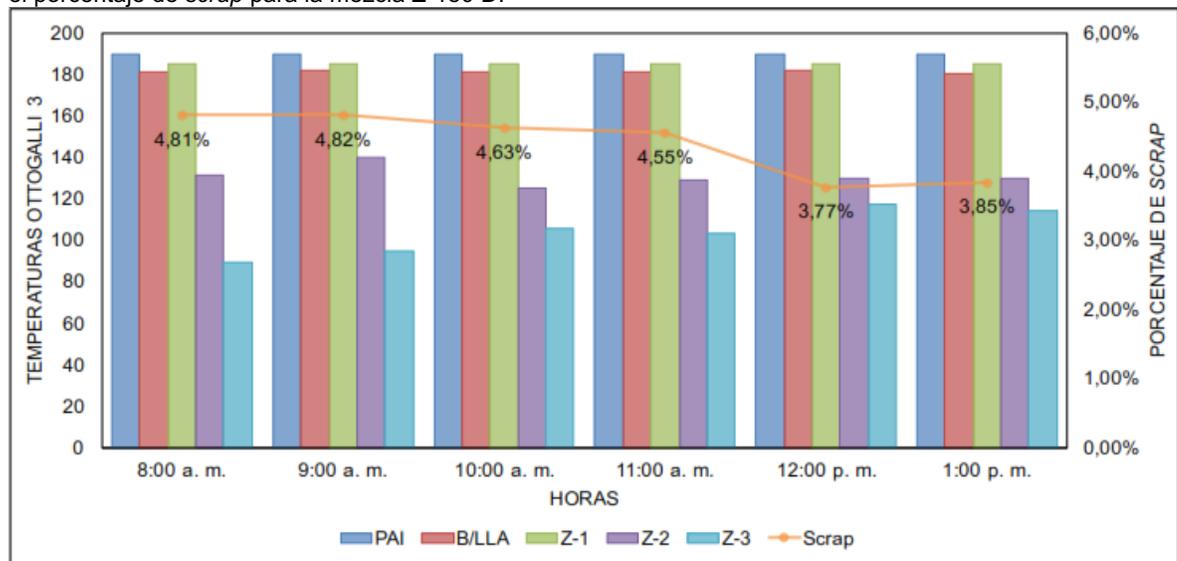
Tabla 18. Temperaturas preestablecidas por el personal de Croydon Colombia S. A. para la máquina inyectora ottogalli 3 durante la experimentación de la mezcla Z-180 C.

Zona	Temperaturas (°C)		
	8:00 a.m.	10:00 a.m.	11:00 a.m.
PAI	189	189	189
B/LLA	170	170	170
Z-1	185	185	185
Z-2	130	130	130
Z-3	90	170	90

4.6.3.2 Mezcla Z-180 D. Para esta mezcla, los datos de porcentaje de *scrap* con el paso de las horas presentan una leve disminución. En este caso, a pesar de modificar tres veces las temperaturas en diversas zonas del cilindro de inyección, se aprecian cambios leves de esta variable.

Para la gráfica 24, se aprecia que al disminuir el gradiente de temperaturas entre el PAI y Z-3 el porcentaje de *scrap* también se reduce. De acuerdo a eso, es importante manejar un perfil adecuado en donde el polímero aumente paulatinamente de temperatura. Se recomienda evitar someter el compuesto a zonas donde hayan temperaturas fluctuantes, es decir, que éste pase por Z-3 y luego llegue a Z-2 con una temperatura inferior. Por lo anterior, se recuerdan las temperaturas sugeridas en la tabla 17.

Gráfica 24. Relación de las temperaturas del material en diversas zonas de la máquina inyectora Ottogalli 3 con el porcentaje de *scrap* para la mezcla Z-180 D.



Es de apreciar, que el ajuste de temperaturas para las zonas Z-3, Z-2 y Boquilla no es abrupto como en el caso de la mezcla anterior (para Z-3), esto permite que el material se adapte rápidamente a los cambios realizados sin afectar el producto final.

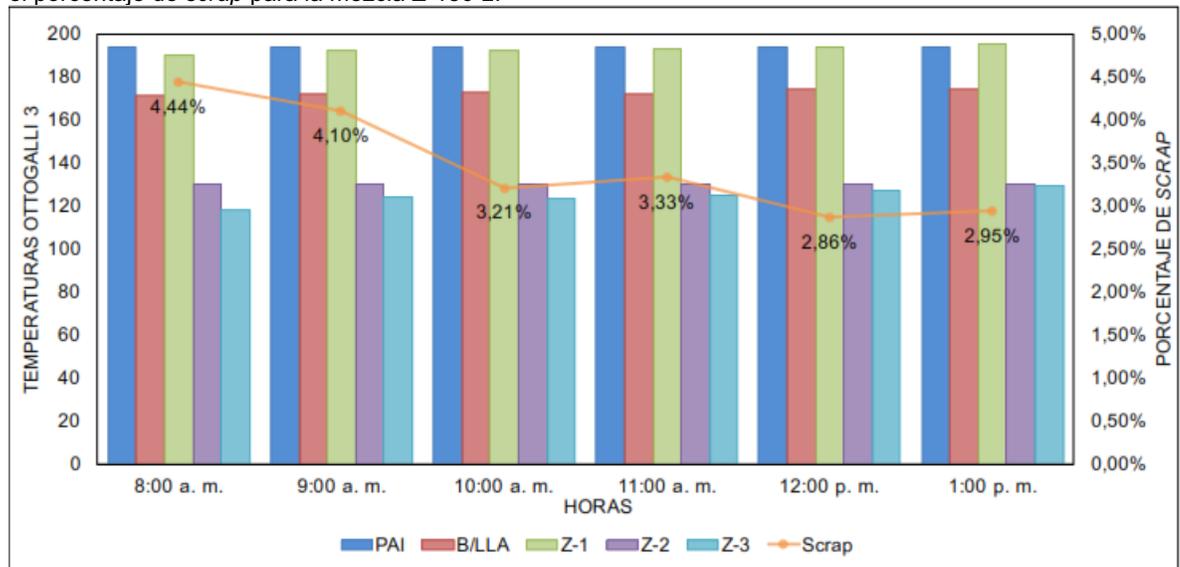
En este caso, Z-3 y Z-1 relacionados en la tabla 19 se encuentran fuera del rango recomendado, pero, para la zona de alimentación, la temperatura real es superior, en donde se reduce el porcentaje de *scrap*. Para evitar el comportamiento inesperado de la temperatura de la masa, se deben realizar mantenimientos a los sistemas de refrigeración y de control en la máquina.

Tabla 19. Temperaturas preestablecidas por el personal de Croydon Colombia S. A. para la máquina inyectora ottogalli 3 durante la experimentación de la mezcla Z-180 D.

Zona	Temperaturas (°C)			
	8:00 a.m.	9:00 a.m.	10:00 a.m.	11:00 a.m.
PAI	190	190	190	190
B/LLA	180	180	180	181
Z-1	185	185	185	185
Z-2	140	140	125	130
Z-3	90	95	85	85

4.6.3.3 Mezcla Z-180 L. Para la última mezcla evaluada, se observa con la tabla 20 que durante la experimentación, no se modificaron las temperaturas del inyector 1. Los leves cambios de esta variable, expuestos en la gráfica 25, se deben a fallas en el sistema eléctrico y de refrigeración.

Gráfica 25. Relación de las temperaturas del material en diversas zonas de la máquina inyectora Ottogalli 3 con el porcentaje de *scrap* para la mezcla Z-180 L.



Con el paso de las horas y con los cambios ligeros de temperatura para Z-3, se observa una estabilización del material (con la disminución del porcentaje de *scrap*), llegando a alcanzar valores inferiores de 3,80%.

Al igual que la mezcla Z-180 D, se aprecia que al disminuir el gradiente entre el PAI y Z-3, se reduce el porcentaje de producto no conforme. Esta disminución debe realizarse controladamente, debido a que no se recomienda llevar el material en Z-3 a temperaturas superiores de 160°C.

La temperatura de la zona de alimentación preestablecida versus la real varía en promedio en 35°C, lo cual se considera elevado. De acuerdo a eso, los operarios programan las temperaturas empíricamente, esperando observar el comportamiento de esta variable en la masa para ajustar los datos, lo que se relaciona con la aparición de diversos defectos durante los procesos de inyección.

Tabla 20. Temperaturas preestablecidas por el personal de Croydon Colombia S. A. para la máquina inyectora ottogalli 3 durante la experimentación de la mezcla Z-180 L.

Zona	Temperaturas (°C)
PAI	194
B/LLA	170
Z-1	195
Z-2	130
Z-3	90

El control de la temperatura de la masa es fundamental para reducir el porcentaje de producto no conforme, por lo que se deben tomar acciones de mantenimiento en los sistemas de agregan y retiran calor al sistema.

4.7 ALTERNATIVA 6. EVALUAR LA NECESIDAD DE IMPLEMENTAR ADITIVOS EN EL PROCESO DE RECUPERACIÓN

En esta alternativa se analiza la necesidad de utilizar aditivos en el material recuperado, considerando los porcentajes de *scrap* de la alternativa 5 y las pruebas de calidad realizadas a cada mezcla, las cuales se relacionan en el anexo C.

En el caso del porcentaje de *scrap*, y después de analizar los defectos que se presentaron a lo largo de las experimentaciones, se afirma que más que trabajar en la implementación de aditivos que contribuyan a disminuir la variable respuesta, se debe primero realizar un diseño de experimentos en donde se manipulen las temperaturas y presiones presentes en la máquina inyectora Ottogalli 3. Lo anterior se afirma gracias a que se demostró con la alternativa anterior, que al manejar adecuadamente las características del material recuperado, se mejora el proceso disminuyendo el porcentaje de *scrap* (considerando la importancia del uso apropiado de temperaturas).

Con respecto a las pruebas de calidad realizadas a las mezclas Z-180 C (14 bultos), Z-180D (18 bultos) y 24 bultos (Z-180L), se especifican las muestras de dureza, flexión capellada y migración de pigmentos. En el anexo C se encuentran los resultados de dichas pruebas, las cuales fueron realizadas en el laboratorio de pruebas físicas de Croydon Colombia S. A.

Las pruebas de dureza como se observa en el anexo C son inferiores al estándar, pero en este caso, no es posible trabajar en la implementación de aditivos desde el material recuperado. En este caso y para cumplir con el estándar presente en la norma NTC 427, se recomienda evaluar la proporción de las cargas presentes en la formulación del compuesto.

Para dos de las tres muestras, no se presentó rotura de las muestras, lo cual no indica ninguna anomalía en las botas analizadas. Para la Z-180C y como lo afirman los resultados, la rotura presentada en el material se debe a que en la zona analizada se presentó el defecto de media filtrada, el cual en ocasiones no se identifica con facilidad. Lo anterior no justifica el uso de ningún tipo de aditivo en los procesos de recuperación de PVC.

Finalmente, para la prueba de migración de pigmentos, se evidencia que en las láminas de color blanco migró una tonalidad amarilla de las muestras de las tres mezclas. Esto se debe a la presencia de material de tonos amarillos utilizados en el proceso de recuperación y por el uso de moldes con presencia de este color en la superficie. Esta característica puede afectar el producto al ser almacenado por largos periodos (superiores a seis meses). En conclusión, no se considera necesario agregar más aditivos (fuera del pigmento negro y el plastificante) en el proceso de recuperación.

4.8 PROPUESTA DE MEJORA EN EL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE MATERIAL NO CONFORME PARA SU APROVECHAMIENTO EN LA ETAPA DE INYECCIÓN

Considerando la información expuesta en este capítulo, se realiza una lista de propuestas para mejorar las características del material recuperado, lo cual contribuirá en la reducción del porcentaje de *scrap* en la producción de botas de PVC que utilicen mezclas tipo Z-180. La lista expuesta a continuación está basada en cada una de las seis alternativas evaluadas:

- Se debe enfatizar en los trabajadores la importancia de controlar la presencia de material contaminante en el material a recuperar. Evitar la mezcla de las diversas fuentes de material de PVC a otro tipo de materiales como caucho u otro tipo de plásticos o sustancias.

- Utilizar un calibre no mayor a 3,00mm en el molino de rodillos, para garantizar una homogeneización adecuada y reducir defectos como pierna contaminada por media.
- Realizar mantenimientos periódicos a las cuchillas del equipo 102 (diagrama 1) para evitar heterogeneidad del VION triturado. En el molino de cuchillas se determinó que no es necesario implementar un tamiz.
- En el proceso llevado a cabo en el molino de rodillos, se recomienda que cuando se esté homogeneizando las diversas fuentes de material a recuperar, se utilicen proporciones altas de material sin textil de poliéster como contaminante.

En otras palabras, gracias a las cuatro fuentes de material no conforme (utilizado en la evaluación de la cuarta alternativa) siempre estarán generándose en el proceso, se propone utilizar la proporción 2 manejada en la experimentación. Es de importancia que al homogeneizar el material, se utilicen fuentes variadas de material, para evitar que unas láminas de VION queden con más contaminantes que otras.

- Debido a que el uso de diversas mezclas de compuesto virgen de PVC con VION no influye sobre la aparición de porcentaje de *scrap*, se recomienda encadenar las propuestas anteriores con cualquier tipo de mezcla que la empresa formule.

5. COMPARACIÓN DE LOS COSTOS INVOLUCRADOS EN EL PROCESO DE RECUPERACIÓN

En el presente capítulo, se realiza una comparación de los costos involucrados en el proceso de homogeneización y laminado, junto con la etapa de mezclado. En cada aspecto, se considera una situación sin y con proyecto.

Debido a las características del proceso de producción de las botas de PVC, se exponen las restricciones a la hora realizar la comparación del proceso de recuperación con proyecto y sin proyecto.

Dándole valor económico al proyecto ejecutado, se realizó una proyección de los costos involucrados en la etapa de homogeneización y laminado a un año, partiendo desde Agosto de 2017 hasta Julio de 2018.

5.1 RESTRICCIONES DE LOS COSTOS INVOLUCRADOS

Para el análisis comparativo no se habla de la etapa de disminución de tamaño de VION, debido a que la variación de costos en esta etapa no se debe al compuesto de PVC puro con recuperado.

Teniendo en cuenta que el proyecto está enfocado en tratar el material recuperado negro, se manejarán únicamente los costos que conciernen a éste y la cantidad de kilogramos que ingresa a la etapa de homogeneización y laminado. No se analizan los costos de transformar el material de otros colores debido a que no se controla el porcentaje de *scrap* de las líneas que no manejan material recuperado negro.

Para la comparación de los costos involucrados en el proceso antes y durante la ejecución del proyecto, se realizan las siguientes aclaraciones:

- El periodo comprendido desde Enero hasta Octubre de 2016 corresponden a los meses previos a la ejecución del proyecto.
- Desde Noviembre hasta Abril de 2017 se lleva a cabo el proyecto.
- Los datos relacionados en el análisis de costos corresponden a los tres turnos manejados en los periodos mencionados.

5.2 ESTIMACIÓN DE COSTOS EN EL PROCESO DE HOMOGENEIZACIÓN Y LAMINADO

Para esta etapa, se manejan tres tipos de costos fijos: costo de material, en donde se considera el uso del pigmento negro y plastificante utilizados para homogeneizar el material a recuperar; costo de mano de obra, el cual se considera un costo directo y se traduce como el sueldo del operario encargado de esta etapa y; costos

indirectos de fabricación, que abarcan lo que necesita la empresa adicionalmente para llevar a cabo la labor en el molino de rodillos como sueldos de jefe de planta, supervisores, personal administrativo, papelería, reparaciones, luz y energía de la fábrica entre otros. A continuación, se expone la tabla 21, en donde se relacionan los costos fijos por kilogramo para los años 2016, 2017 y 2018:

Tabla 21. Costos fijos por kilogramo de material tratado en el proceso de homogeneización y laminado.

Costos fijos	2016	2017	2018
Costo de material (COP/kg)	185	196	207
Costo labor (COP/ kg)	141	146	152
Costos indirectos de fabricación (COP/kg)	372	386	400
Costos fijos totales (COP/kg)	698	728	758

Para efectos de la comparación de las situaciones sin y con proyecto, se realizan los cálculos con los costos fijos totales correspondientes al año 2017.

Con el fin de realizar la proyección de los costos fijos totales en la etapa de homogeneización y laminado, se evalúan dos situaciones para poder calcular el ahorro en el que incurrirá la empresa en el caso de que decida tomar en cuenta las recomendaciones expuestas en el presente texto.

Se tiene en cuenta que para el cálculo de los costos fijos para el año 2018, se asume un comportamiento lineal en el aumento de los costos anuales.

5.2.1 Costos sin proyecto. Para determinar los costos totales en la transformación de *scrap* en la etapa previa a la implementación del proyecto, se utiliza la ecuación 5, la cual relaciona los costos fijos totales mostrados en la tabla 21 y la cantidad de *scrap* generada en kilogramos.

Ecuación 5. Costos totales de procesamiento.

$$Costos\ totales = Cantidad\ de\ scrap\ (kg) \times Costos\ fijos$$

Por otro lado, se presenta la influencia del porcentaje de *scrap* mes a mes mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 6. Porcentaje de *scrap* para el procesamiento de VION.

$$Porcentaje\ de\ scrap = \frac{Cantidad\ de\ scrap\ (kg)}{Cantidad\ inyectada\ (kg)}$$

Teniendo en cuenta las ecuaciones 5 y 6, se expone la tabla 22, en donde se relaciona por meses el material Z-180 (que utiliza material recuperado negro) inyectado por kilogramos, el *scrap* generado en kilogramos, el porcentaje de producto no conforme y el costo total por kilogramo de tratamiento del *scrap*.

Tabla 22. Cantidad inyectada, cantidad de *scrap* con su participación en el proceso y el costo de procesar ese material en el molino de rodillos sin proyecto, considerando los datos de la Tabla 21 para el año 2017.

Mes	Cantidad Inyectada (kg)	Cantidad de <i>scrap</i> (kg)	Scrap (%)	Costo procesamiento (COP)
Enero	57.622	2.651	4,60	1.929.928
Febrero	9.216	394	4,28	286.832
Marzo	119.123	5.038	4,23	3.667.664
Abril	150.497	5.786	3,84	4.212.208
Mayo	97.760	4.047	4,14	2.946.216
Junio	97.713	3.226	3,30	2.348.528
Julio	106.037	3.487	3,29	2.538.536
Agosto	64.482	2.559	3,97	1.862.952
Septiembre	55.435	2.273	4,10	1.654.744
Octubre	90.398	2.975	3,29	2.165.800

5.2.2 Costos con proyecto. Para los costos de procesamiento en el periodo de Noviembre a Abril, se utiliza la misma metodología planteada con las ecuaciones 5 y 6, en la etapa previa a la implementación del proyecto. Luego, se expone la cantidad inyectada por kilogramos, el *scrap* generado en kilogramos, el porcentaje de producto no conforme y el costo total por kilogramo de tratamiento del *scrap* en la tabla 23.

Tabla 23. Cantidad inyectada, cantidad de *scrap* con su participación en el proceso y el costo de procesar ese material en el molino de rodillos con proyecto, considerando los datos de la tabla 22 para el año 2017.

Mes	Cantidad Inyectada (kg)	Cantidad de <i>scrap</i> (kg)	Scrap (%)	Costo procesamiento (COP)
Noviembre	138.632	3.519	2,54	2.561.904
Diciembre	70.606	2.172	3,08	1.581.216
Enero	106.430	4.161	3,91	3.029.208
Febrero	88.375	2.520	2,85	1.834.560
Marzo	70.130	3.372	4,81	2.454.816
Abril	41.182	2.019	4,90	1.469.832

5.2.3 Análisis comparativo de costos para el proceso de homogeneización y laminado. Para realizar el análisis comparativo, no es apropiado observar los costos de procesamiento más altos o bajos, debido a que la cantidad inyectada de material por meses es variable, por consiguiente, la reducción en los costos se relaciona con los datos del porcentaje de *scrap*.

De acuerdo con las tablas 22 y 23, la cantidad inyectada de material no tiene relación con el *scrap* generado en el proceso, es decir, que inyectar determinada cantidad de material en un mes, no garantiza el aumento o disminución de la

variable respuesta. Por ejemplo, el mes de Abril de la tabla 23, presenta los datos más altos de material inyectado, pero su porcentaje de *scrap* no es el más elevado.

Es importante mencionar, que en general, los datos del porcentaje de *scrap* con la ejecución del proyecto, alcanzan valores de reducción hasta del 2,54%, mientras que en la etapa previa a la implementación de éste ni siquiera logran un valor inferior al 3%.

Teniendo en cuenta los datos relacionados en la tabla 24 para los meses de marzo y abril con la ejecución del proyecto, se puede evidenciar que presentan porcentajes de *scrap* de 4,81% y 4,90%, por lo tanto, se resalta el compromiso que deben tener las personas directamente relacionadas con el proceso, para reducir la no conformidad en la inyección de las botas. A pesar de ejecutar el proyecto en el segundo turno, las propuestas fueron elaboradas para llevarse a cabo en todo momento.

Para una visión más general, se decide realizar un promedio para la comparación de los costos involucrados en la etapa de homogeneización y laminado, debido a la heterogeneidad de los periodos con y sin proyecto, en donde además se especifican los costos directos e indirectos relacionados con la tabla 21. Los resultados se encuentran expuestos en la tabla 24.

Tabla 24. Comparación de la situación sin y con proyecto del promedio de los costos involucrados en la etapa de homogeneización y laminado.

		Sin proyecto	Con proyecto
Scrap (%)		3,90	3,68
Cantidad de scrap (kg)		3.244	2.961
Costos directos	Costo total material (COP)	635.745	580.261
	Costo total labor (COP)	473.565	432.235
Costos indirectos	Costos de fabricación (COP)	1.252.029	1.142.759
Total	Costos homogeneización y laminado (COP)	2.361.340	2.155.256

A nivel general, durante la ejecución del proyecto se logró reducir en los tres turnos la no conformidad del proceso desde 3,9% hasta 3,68%. Esta reducción, debe entenderse como menor cantidad de picas o *scrap* a tratar en esta etapa, por lo cual, la ejecución de las alternativas contribuyó para mejorar el proceso. (A pesar de ver un incremento en los meses de marzo y abril).

5.2.4 Proyección a un año de los costos totales del proceso de homogeneización y laminado sin y con proyecto. La información contenida en la tabla 25, corresponde a la proyección a un año de los costos totales del proceso de homogeneización y laminado en dos situaciones diferentes: sin proyecto y con proyecto.

Para realizar la proyección, se tomó la cantidad inyectada en kilogramos de material de color negro correspondiente a la mezcla Z-180 para el año 2016, asumiendo que para los meses relacionados en la tabla 25, la producción será igual.

Para calcular el *scrap* en las dos situaciones diferentes, se toma como referencia el porcentaje de esta variable relacionado en la tabla 24.

Tabla 25. Comparación de la situación sin y con proyecto de la proyección a un año de los costos involucrados en la etapa de homogeneización y laminado.

Año	Mes	Cantidad inyectada (kg)	Scrap sin proyecto (kg)	Scrap con proyecto (kg)	Costo sin proyecto (COP)	Costo con proyecto (COP)
2017	Agosto	64481	2514	2372	1.830.764	1.727.490
	Septiembre	55434	2162	2040	1.573.907	1.485.122
	Octubre	90397	3525	3326	2.566.568	2.421.787
	Noviembre	138632	5406	5101	3.936.043	3.714.010
	Diciembre	70606	2753	2598	2.004.645	1.891.563
2018	Enero	106429	4150	3916	3.146.443	2.968.952
	Febrero	88375	3446	3252	2.612.694	2.465.311
	Marzo	70130	2735	2580	2.073.301	1.956.346
	Abril	41182	1606	1515	1.217.500	1.148.820
	Mayo	97759	3812	3597	2.890.132	2.727.099
	Junio	97713	3810	3595	2.888.753	2.725.798
	Julio	106036	4135	3902	3.134.825	2.957.989
				TOTAL	29.875.580	28.190.291

Con la tabla anterior, es notorio que al implementar el proyecto, se reducirá la no conformidad del producto y por ende, se reprocesará menos material en la etapa de recuperación, lo cual se traduce en una reducción de los costos en el proceso que se lleva a cabo en el molino de rodillos.

Siendo más enfáticos, realizando el análisis desde Agosto de 2017 hasta Julio de 2018, es posible lograr un ahorro de \$ 1.685.289,1 (COP), considerando el aumento de los costos totales para el próximo año. Es importante recordar que es posible reducir aún más la no conformidad en el proceso, lo que indica que el ahorro puede ser mayor.

5.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS PARA LA MEZCLA Z-180

La empresa maneja actualmente las mezclas Z-180, las cuales usan material recuperado y son transformadas para obtener el color negro.

El proyecto no está enfocado en la formulación de mezclas, por lo tanto, los costos que se presentan a continuación no conciernen a las alternativas planteadas anteriormente.

A continuación, se exponen los costos por kilogramo en los que incurre la empresa para realizar los diferentes tipos de mezcla, junto con el costo de aditivar la resina de PVC mostrados en la tabla 26 para los años 2016 y 2017. En estos se consideran los precios de las materias primas mencionadas en el numeral 1.2 de este proyecto.

Tabla 26. Costos por kilogramo para realizar el compuesto puro Z-180 y las diversas mezclas con material recuperado.

Mezcla tipo	2016	2017
	\$ Mezclas (COP/kg)	\$ Mezclas (COP/kg)
Z-180/E1	4.044	3.942
Z-180/C	4.311	4.168
Z-180/D	4.231	4.141
Z-180/E	3.990	-
Z-180	3.929	3.793

La reducción de los costos totales para las mezclas se debe principalmente a cambios en la formulación del compuesto puro (Z-180), y no a la ejecución de las alternativas del proyecto.

6. CONCLUSIONES

- Considerando la información histórica del proceso, se comprobó que con el encadenamiento de todas las alternativas, es posible reducir la no conformidad de las botas hasta valores de 2,56% (porcentaje que cumple con la meta planteada por el departamento de calidad en cuanto a la reducción del *scrap*), trabajando desde las características del material recuperado, a pesar de notar dificultades por la aparición de defectos relacionados con las temperaturas y presiones programadas en la Ottogalli 3.
- Realizar el diagnóstico del proceso de recuperación antes de ejecutar las alternativas planteadas, permitió dar explicación al conjunto de defectos presentes en las botas de PVC, y determinar las fallas en el proceso para corregirlas durante la experimentación, o recomendar enfocar esfuerzos en dichas fallas.
- El material recuperado debe presentar un calibre menor o igual a 3,00mm para un homogeneizado adecuado, el VION debe contener menos del 20% de textil de poliéster para evitar defectos como pierna contaminada con media, y el tamaño de las láminas trituradas debe ser lo más homogéneo posible, en donde se recomienda el manejo de un tamaño de partícula promedio de 3,334mm.
- El evaluar todas las alternativas en el proceso de inyección, permitió determinar que al no utilizar un material recuperado con las características mencionadas en la conclusión anterior, se incrementaba el *scrap* en el proceso. El uso de otro tipo de parámetros en la etapa de recuperación, eleva defectos relacionados con el material recuperado como pierna contaminada, pierna quemada, mala dispersión de material y pierna contaminada por media.
- Haciendo un análisis comparativo promedio, se puede concluir, que al no tener que realizar una inversión por parte de la empresa, se está generando una mayor ganancia si se define una estandarización de parámetros desde la etapa de homogeneización y laminado, debido a que se logra disminuir en un 0,22% la variable respuesta, lo cual contribuye a no necesitar la misma cantidad en kilogramos de *scrap* para volverse a reincorporar en el proceso.

7. RECOMENDACIONES

- De acuerdo a los defectos más representativos del proceso, se recomienda realizar una evaluación de parámetros como temperaturas y presiones de la máquina inyectora Ottogalli 3, implementando la propuesta expuesta en este proyecto.
- Someter el material recuperado triturado a zarandas o agitadores, para aglomerar y remover el textil de poliéster presente en el VION.
- Reevaluar la formulación del compuesto original de PVC, para poder alcanzar los estándares de dureza relacionados en el anexo C.
- Atender las fallas de los sistemas eléctricos y de refrigeración de la máquina inyectora Ottogalli 3, debido a que las temperaturas programadas usualmente para la zona de alimentación son lejanas a las reales que presenta la masa.
- En dado caso que se decida realizar un proyecto tomando como base la propuesta del presente trabajo, se recomienda evaluar los factores que intervienen en el proceso de forma simultánea, es decir, realizar un diseño factorial para observar la interacción de las variables sobre el porcentaje de *scrap*.

BIBLIOGRAFÍA

AL-SALEM,S. M.; LETTIERI,P. and BAEYENS,J. Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. En: WASTE MANAGEMENT. vol. 29, no. 10.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D-1921.100 Barr Harbor Dr., West Conshohocken, PA 19428: 2001.

ARENAS, Pedro. Parametrización del proceso de inyección en plásticos de ingeniería. México, D. F.: Universidad Nacional Autónoma de México, 2014.

BALLESTEROS, Victor. Diseño de pozos profundos. Bogotá, Colombia: Universidad Santo Tomás, 2004.

BODINI, Gianni and PESSANI, Franco. Moldes y máquinas de inyección para la transformación de plásticos. Segunda ed. México D. F.: McGraw-Hill, 1992.

BOZZELLI, John. Moldeo por inyección: otra manera de lidiar con el material recuperado. 29 de diciembre de 2014. [Consultado el 26 de mayo de 2017]. Disponible en: <http://www.pt-mexico.com/columnas/moldeo-por-inyeccion-otra-manera-de-lidiar-con-el-material-recuperado>

CANAVOS, George. Probabilidad y estadística, aplicaciones y métodos. Primera ed. Fernández, España: McGraw-Hill, 1988.

CÁRDENAS, Daniel; SHOMAR, Bernardo and SOLORIO, Alejandro. Análisis de cuchillas de molino para termoplásticos MOD. 2650 y diseño para una mayor duración. Instituto Politécnico Nacional, 2012.

DE SAEGER, Ariane; FEYS, Brigitte and SÁNCHEZ, Martha. El diagrama de Ishikawa: Solucionar los problemas desde su raíz. 50minutes.es.

GALGANO, Alberto. Los siete instrumentos de la calidad total. Madrid, España: Díaz de Santos, 1995.

GROSSMAN, Richard F. Handbook of vinyl formulating. 2. ed. ed. Hoboken, NJ: Wiley-Interscience, 2008.

HERRERA, Andrés. Introducción a los polímeros, Cloruro de polivinilo PVC. Bogotá, Colombia: 2016.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2008. (NTC 1486).

_____. Referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2008. (NTC 5613).

_____. Referencias documentales para fuentes de información electrónicas. Bogotá D.C.: ICONTEC, 1998. (NTC 4490).

Minitab. ¿Qué valor debo usar para el nivel de significancia? . [Consultado el 22 de Abril de 2017]. Disponible en: <http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/introductory-concepts/p-value-and-significance-level/significance-level/>

NASS, Leonard. Encyclopedia of PVC. Segunda ed. Nueva York, Estados Unidos: Dekker, 1992.

PAINTER, Paul and COLEMAN, Michael. Fundamentos de ciencia de polímeros. 1st ed. Lancaster, Pennsylvania: Technomic Publishing Company. Inc., 1996.

PATRICK, Stuart. Practical Guide to Polyvinyl Chloride. illustrated edition ed. GB: ISmithers Rapra, 2005.

PATRICK, Stuart. PVC Compounds and Processing. Shrewsbury: ISmithers Rapra Publishing, 2004.

PEÑA, Daniel. Regresión y diseño de experimentos. Madrid, España. Alianza, 2010.

PRIETO, Adrián, et al. Tipos de contaminación durante el reciclado de plásticos. 01/06/2016. [Consultado el 28/04/2017]. Disponible en: <http://www.pt-mexico.com/art%C3%ADculos/tipos-de-contaminacin-durante-el-reciclado-de-plsticos>

RODRÍGUEZ, Juan and HELGUERO, Manuel. Diseño de una máquina peletizadora para laboratorio. [Consultado el 20 de mayo de 2017]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/2148/1/4250.pdf>

SADAT-SHOJAI, Mehdi and BAKHSHANDEH, Gholam-Reza. Recycling of PVC wastes. En: POLYMER DEGRADATION AND STABILITY. vol. 96, no. 4.

SERRET, Jaime. Manual de estadística universitaria :Madrid, España: ESIC, 1995.

WILKES, Charles E.; SUMMERS, James W. And DANIELS, Charles A. PVC handbook. Munich: Hanser, 2005.

ANEXOS

ANEXO A.
PRUEBA DE GRANULOMETRÍA REALIZADA POR LABORATORIOS M&G.



1. Magnitudes de Influencia durante el ensayo

Etapa	Condiciones Ambientales		
	No. Horas	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
Pre acondicionamiento	NA	NA	NA
Acondicionamiento	NA	NA	NA

2. Especificaciones Técnicas

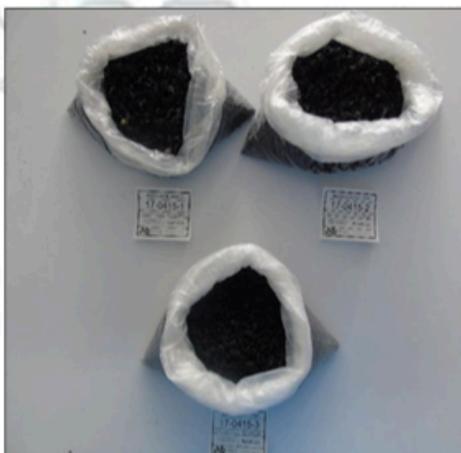
Tabla 1. Granulometría (Método Interno)

Condiciones Ambientales Durante el Ensayo		Temperatura (°C)	20±2	Humedad Relativa (%)	50±5
Código Interno Muestra	Producto	Granulometría			
17-0415-1	CALIBRE 2,5mm	El tamaño de grano de la muestra se encuentra entre 0,075 mm y 4,87 mm.			
17-0415-2	CALIBRE GRUESO 5.3mm	El tamaño de grano de la muestra se encuentra entre 0,15 mm y 6,70 mm.			
17-0415-3	CALIBRE MEDIO 3,8 mm	El tamaño de grano de la muestra se encuentra entre 0,045 mm y 3,63 mm.			

3. Norma(s) de Ensayo Aplicada(s):

TÍTULO DE LA NORMA	CÓDIGO
Granulometria	Método Interno

4. Anexos:



Informe de Resultados No. 17-0415

Página 2 de 3

IR301F09 Versión 00 de 2017-02-22

ANEXO B.
TABLA DE EQUIVALENCIA INTERNACIONAL DE TAMICES, CON SUS ABERTURAS.

I-C4:F44INTERNACIONAL ISO 565 (TLB2):1983	EE.UU. ASTM E 11-87	TYLER Standard screen 1910	BRITANICO BS 410: 1986
Abertura mm	Equivalencia Malla #	Equivalencia Malla #	Equivalencia Malla #
26,670	----	----	----
22,427	----	----	----
15,859	----	----	----
13,335	----	----	----
11,213	----	----	----
9,429	----	----	----
7,929	----	2 1/2	----
6,668	----	3	----
6,300	3	----	----
5,607	3 1/2	3 1/2	3
4,715	4	4	3 1/2
3,965	5	5	4
3,334	6	6	5
2,803	7	7	6
2,357	8	8	7
1,982	10	9	8
1,667	12	10	10
1,402	14	12	12
1,179	16	14	14
0,991	18	16	16
0,833	20	20	18
0,701	25	24	22
0,589	30	28	25
0,496	35	32	30
0,417	40	35	36
0,350	45	42	44
0,295	50	48	52
0,248	60	60	60
0,208	70	65	72
0,175	80	80	85
0,147	100	100	100
0,124	120	115	120
0,104	140	150	150
0,088	170	170	170
0,074	200	200	200
0,062	230	250	240
0,052	270	270	300
0,044	325	325	350

ANEXO C.
PRUEBAS DE CALIDAD REALIZADAS A MUESTRAS DE PRODUCTO FINAL DE LAS
MEZCLAS Z-180 C, Z-180 D Y Z-180 L



CROYDON COLOMBIA S.A.

SOLICITUD DE ANÁLISIS LABORATORIO FSAM-01

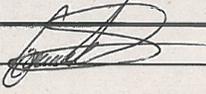
SOLICITADO POR: Sergio Andres Diaz G. DEPARTAMENTO: Calidad.
FECHA SOLICITUD: 7-04-2017 No. SOLICITUD: 750

MATERIAL A ANALIZAR
1. Bota macha alta negra Talla = 8 2 derechas - 9 1 Izquierdo
2. _____
3. _____

ANÁLISIS SOLICITADOS
1. migración de pigmento
2. flexión capellada
3. Dureza.

OBSERVACIONES
*LI NOTA: EL MATERIAL ANALIZADO SE LE DIERON 150.000 CICLOS.

RESULTADOS	14 BULTOS	18 BULTOS	24 BULTOS	ESTANDAR
DUREZA (SHORE A)	50	46	54	55-70 SHORE A
FLEXION CAPELLADA	PRESENTA AGRIETAMIENTO POR MATERIAL FILTRADO *	SIN AGRIETAMIENTO *	SIN AGRIETAMIENTO *	20.00 CICLOS SIN AGRIETAMIENTO
MIGRACION DE PIGMENTO	PRESENTA MIGRACION DE PIGMENTO AMARILLO AL TESTIGO BLANCO	PRESENTA MIGRACION DE PIGMENTO AMARILLO AL TESTIGO BLANCO	PRESENTA MIGRACION DE PIGMENTO AMARILLO EN BARRA PERPENDICULAR	—

ANÁLISIS ELABORADO POR: 
FECHA ENTREGA RESULTADOS : DÍA 09 MES 05 AÑO 2017

CON COPIA A: Calidad.

SE ANEXA DOCUMENTO: SI _____ NO X FORMATO DE REFERENCIA: _____

FORMA: FSAM-01

	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES

Nosotras, **Lina María Castro Jaime** y **Erika Lorena Plazas Barbosa**, en calidad de titulares de la obra **DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE MEJORA EN EL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE MATERIAL NO CONFORME EN LA PRODUCCIÓN DE BOTAS DE PVC PARA LA EMPRESA CROYDON COLOMBIA S. A.**, elaborada en el año 2016, autorizamos al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales nos corresponden y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autores manifestamos conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autores establecemos las siguientes condiciones de uso de nuestra obra de acuerdo con la **licencia Creative Commons** que se señala a continuación:

	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

	Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	<input type="checkbox"/>
	Atribución – no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	<input checked="" type="checkbox"/>
	Atribución – no comercial – compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.	<input type="checkbox"/>

Licencias completas: http://co.creativecommons.org/?page_id=13

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a su(s) autor(es).

De igual forma como autor (es) autorizo (amos) la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

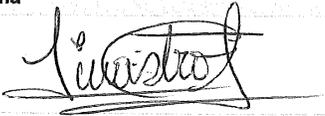
AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	X	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación	X	

Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.	SI	NO
		X

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá, a los 8 días del mes de Agosto del año 2017.

LOS AUTORES:

Autor 1

Nombres	Apellidos
LINA MARIA	CASTRO JAIME
Documento de identificación No	Firma
1010222090 de Bogotá	

Autor 2

Nombres	Apellidos
ERIKA LORENA	PLAZAS BARBOSA
Documento de identificación No	Firma
1010221633 de Bogotá	