

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería Industrial



“PROPUESTA DE UN PROCESO DE RECICLADO PARA OPTIMIZAR EL USO DE RESIDUOS DE CAUCHO NEGRO EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE SUELAS EN UNA EMPRESA DEL SECTOR CALZADO, AREQUIPA”

Tesis presentada por el bachiller:

Cerpa Gonzales, Brian Diego

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Industrial

Asesor:

Mg. Valdivia Portugal, César

Arequipa - Perú

2019

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA INDUSTRIAL



INFORME DICTAMINATORIO
DE BORRADOR DE TESIS



VISTO

EL BORRADOR DE TESIS TITULADO:

PROPUESTA DE IMPLEMENTACION DE UN PROCESO DE
RECICLADO DE CAUCHO PARA OPTIMIZAR EL APROVECHAMIENTO
DE LOS RESIDUOS DE LA LINEA PRODUCTIVA DE SUELAS DE
CAUCHO NEGRO EN UNA EMPRESA PRODUCTORA DE SUELAS EN AREQUIPA
PRESENTADO POR (EL) (LOS) BACHILLER (ES):

BRUNO DIRCO CERPA GONZALEZ

NUESTRO DICTAMEN ES:

Favorable

OBSERVACIONES: Se sugiere cambio nombre a:
PROPUESTA DE UN PROCESO DE RECICLADO PARA
OPTIMIZAR EL USO DE RESIDUOS DE CAUCHO NEGRO
EN LA LINEA DE PRODUCCION DE SUELAS EN UNA
EMPRESA DEL SECTOR CALZADO, AREQUIPA.

Arequipa.



JURADO DICTAMINADOR

Nombre: ABRAHAM
PACHECO OUEDO

Código: 7842



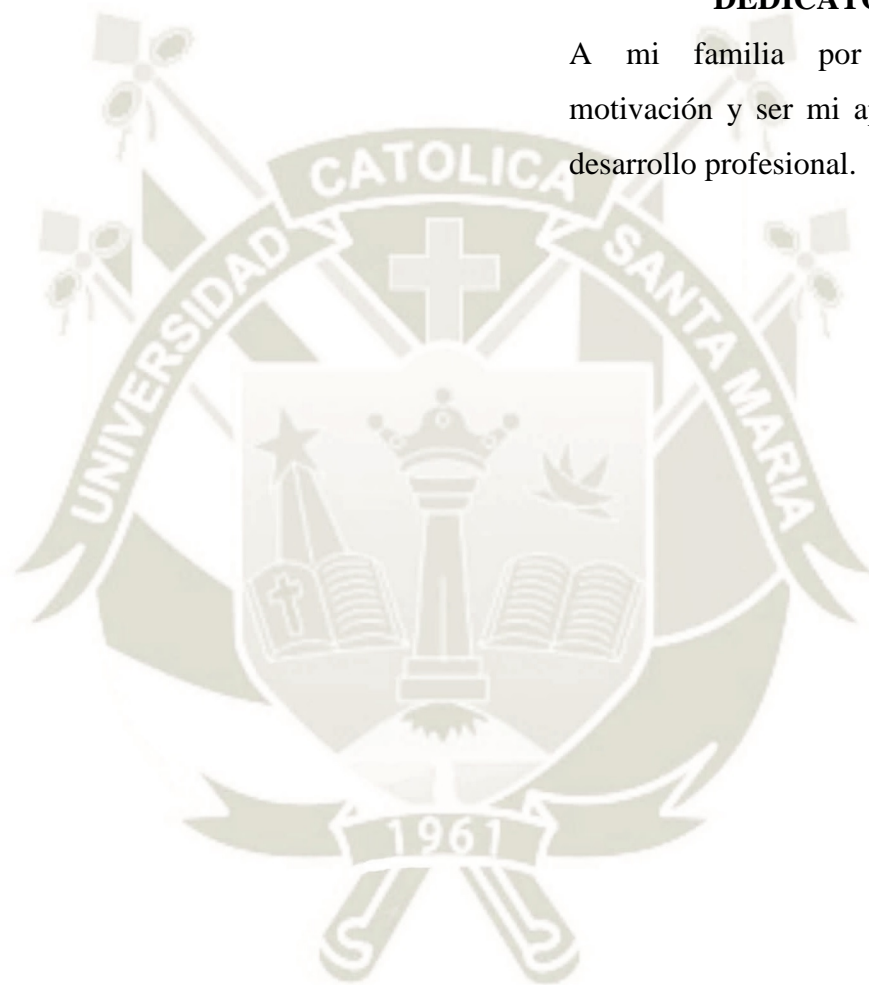
JURADO DICTAMINADOR

Nombre: Cesar
VALDIVIA PORTAYAC

Código: 1987

DEDICATORIA

A mi familia por sus consejos,
motivación y ser mi apoyo durante mi
desarrollo profesional.



RESUMEN

En la presente tesis se desarrolla la propuesta y evaluación para determinar si un proceso de reciclado de caucho ayuda a tener un óptimo aprovechamiento de los residuos de caucho negro generados por una empresa productora de suelas en la ciudad de Arequipa; la propuesta consiste en reciclar el caucho para reintroducirlo al proceso por lo cual no debe verse afectada la calidad final del producto y debe ser rentable para la empresa.

Esta investigación se desarrolló en etapas progresivas, iniciando con la identificación y análisis de los residuos de caucho generados por la empresa; luego se prosigue con la evaluación y determinación de las actividades más óptimas para el proceso de reciclado de caucho, teniendo en cuenta el flujo y requerimientos del material reciclado; continuando con la realización de pruebas de dureza y resistencia a la abrasión para precisar que reusar el reciclado no afecta negativamente la calidad de las suelas, para esto se evaluaron tres formulaciones donde varía la proporción de cantidad del reciclado, y se seleccionó la formulación más beneficiosa; finalmente se realizó una evaluación de viabilidad económica haciendo uso de los indicadores del VAN, TIR, B/C y PRI para determinar los beneficios del proceso de reciclado de caucho en un periodo de dos años.

Según los resultados obtenidos se concluyó que el proceso más óptimo para la implementación de reciclado de suelas de caucho negro es el de trituración mecánica, teniendo como actividades la trituración primaria, el tamizado y trituración fina. Además, la propuesta permite disminuir el almacenamiento actual y aprovechar el residuo generado diariamente, logrando agotar el total de almacenamiento en 52 meses. El uso del gránulo de caucho no afecta de manera negativa las propiedades y por ende la calidad final de las suelas de caucho negro. Dentro del periodo de evaluación de dos años la propuesta del proceso de reciclado de caucho es viable económicamente para su implementación teniendo como indicadores: VAN mayor a 0 (S/6,447.95 y S/6,688.41 para la proyección 1 y 2 respectivamente), TIR entre 41% y 42%, el índice de B/C es de S/.1.46 en la proyección 1 y S/.1.47 en la proyección 2, y finalmente el PRI es de 71.66 días y 70.11 días para las proyecciones mencionadas.

Palabras clave: Suela de caucho, caucho reciclado, residuos de caucho.

ABSTRACT

In the present thesis work is developed the proposal and evaluation to determine if a rubber recycling process helps to have an optimal use of black rubber waste generated by a company producing soles in

Arequipa; The proposal consists of recycling the rubber to reintroduce it to the process, which should not affect the final quality of the product and should be profitable for the company.

This research was developed in progressive stages, starting with the identification and analysis of the rubber waste generated by the company; then, the evaluation and determination of the most optimal activities for the rubber recycling process continues, taking into account the flow and requirements of the recycled material; continuing with the tests of hardness and resistance to abrasion to specify that reusing the recycling does not negatively affect the quality of the soles, for this three formulations were made where the proportion of the amount of recycling varies, and the most beneficial formulation was selected ; Finally, an economic feasibility assessment was carried out using the indicators of the NPV, TIR, B / C and Payback Period to determine the benefits of a rubber recycling process in a period of two years.

According to the results obtained, it was concluded that the most optimal process for the implementation of recycling of black rubber soles is that of mechanical crushing, having as activities the primary crushing, sieving and fine crushing. In addition, the proposal allows to reduce the current storage and take advantage of the waste generated daily, managing to exhaust the total storage in 52 months. The use of the rubber granule does not negatively affect the properties and therefore the final quality of the black rubber soles. Within the evaluation period of two years, the proposal for the rubber recycling process is economically viable for its implementation, having as indicators: NPV greater than 0 (S/6,447.95 and S/6,688.41 for projection 1 and 2 respectively), IRR between 41% and 42%, the cost-benefit ratio is S/. 1.46 in projection 1 and S/. 1.47 in projection 2, and finally the Payback Period is 71.66 days and 70.11 days for the projections mentioned.

Keywords: Rubber outsole, recycled rubber, rubber waste.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	I
RESUMEN	II
ABSTRACT.....	III
ÍNDICE GENERAL	IV
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE DIAGRAMAS	XIV
ÍNDICE DE PLANOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVI

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO.....	1
1.1 EL PROBLEMA	1
1.1.1 Identificación del Problema	1
1.1.2 Descripción del Problema	2
1.1.3 Formulación del Problema	2
1.1.4 Justificación de la Investigación	2
1.1.5 Limitaciones de la Investigación	3
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.2.1 Objetivo General	3
1.2.2 Objetivos Específicos	3
1.3 SISTEMA DE HIPÓTESIS	4
1.4 SISTEMA DE VARIABLES	4
1.5 MARCO METODOLÓGICO	5
1.5.1 Nivel de Investigación	5
1.5.2 Diseño de Investigación	5
1.5.3 Metodología de la investigación	5

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	7
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	7
2.2 BASES TEÓRICAS	8
2.2.1 Fabricación de suelas de caucho	8
2.2.1.1 Materias primas	9
2.2.2 Vulcanización del caucho	27
2.2.3 Reciclaje de neumáticos fuera de utilización	29
2.2.3.1 Regeneración	30
2.2.3.2 Trituración criogénica	32
2.2.3.3 Trituración mecánica	33
2.2.4 Pruebas de calidad para suelas de caucho	37
2.2.4.1 Grado de dureza (NTP 300.022-2006)	37
2.2.4.2 Resistencia a la abrasión (NTP-ISO 20871-2013)	39

CAPÍTULO III

3. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	43
3.1 INFORMACIÓN DE LA EMPRESA	43
3.1.1 Actividad productiva	43
3.1.2 Estructura orgánica de la empresa	44
3.1.3 Productos	45
3.2 PROCESOS PRODUCTIVOS	47
3.2.1 Línea de TR	47
3.2.2 Línea de PU	58
3.2.3 Línea de caucho	63

CAPÍTULO IV

4. PROCESO DE RECICLADO	73
4.1 RESIDUOS DE LA LÍNEA DE CAUCHO	73
4.1.1 Cantidad de residuos generados al día	75
4.1.2 Almacenamiento de residuos de caucho	76
4.2 DESCRIPCIÓN DEL RECICLADO DE CAUCHO	78

4.3 PROCESO DE RECICLADO PROPUESTO	79
4.3.1 Análisis comparativo de procesos para la aplicación en reciclado en suelas de caucho negro	79
4.3.2 Descripción del proceso	80
4.3.2.1 Trituración o molienda primaria	81
4.3.2.2 Tamizado	82
4.3.2.3 Trituración o molienda fina	84
4.3.3 Diagrama de flujo	85
4.3.4 Diagrama de operaciones del proceso	87
4.3.4.1 Suelas con cerco.....	87
4.3.4.2 Suelas sin cerco.....	89
4.3.5 Diagrama de análisis del proceso.....	90
4.3.5.1 Suelas con cerco.....	90
4.3.5.2 Suelas sin cerco.....	91
4.3.6 Diagrama hombre máquina.....	91
4.4 CAPACIDAD DEL PROCESO DE RECICLADO	93
4.4.1 Determinación de composición de las formulaciones	93
4.4.1.1 Composición de la formulación 0	94
4.4.1.2 Composición de la formulación 1	94
4.4.1.3 Composición de la formulación 2	95
4.4.1.4 Composición de la formulación 3	95
4.4.2 Determinación de la necesidad máxima de residuos de caucho para el proceso	96
4.4.3 Determinación del tiempo máximo de procesamiento	97
4.4.4 Balance de materia del proceso	97
4.4.4.1 Formulación 1	97
4.4.4.1 Formulación 2	98
4.4.4.1 Formulación 3	98
4.5 PROYECCIÓN DE LOS DE RESIDUOS DE CAUCHO	98
4.5.1 Formulación 0	98
4.5.2 Formulación 1	99
4.5.3 Formulación 2	100

4.5.4 Formulación 3	101
4.6 DISTRIBUCIÓN DE PLANTA.....	101
4.6.1 Cálculo de áreas (método Guerchet).....	102
4.6.2 Ubicación del proceso de reciclado en el layout actual de planta	103
4.6.2.1 Determinación del grado de proximidad	103
4.6.2.2 Determinación de razones de proximidad	104
4.6.2.3 Tabla relacional de actividades.....	104
4.6.2.4 Diagrama relacional de actividades	104
4.6.3 Distribución en el área del proceso de reciclado	105
4.6.3.1 Determinación del grado de proximidad	105
4.6.3.2 Determinación de razones de proximidad	105
4.6.3.3 Tabla relacional del proceso de reciclado.....	106
4.6.3.4 Diagrama relacional de actividades	107
4.6.3.5 Diagrama relacional de espacios.....	107
4.6.3.4 Distribución en el área del proceso de reciclado	107
4.6.4 Diagrama de recorrido en el área de proceso de reciclado	107
4.6.4.1 Suelas con cerco.....	107
4.6.4.2 Suelos sin cerco	107

CAPÍTULO V

5. PRUEBAS DE CALIDAD.....	115
5.1 APLICACIÓN DE PRUEBAS DE CALIDAD.....	115
5.1.1 Grado de dureza (NTP 300.022-2013)	115
5.1.1.1 Objetivo de aplicación	115
5.1.1.2 Principio de la prueba	115
5.1.1.3 Muestra	115
5.1.1.4 Procedimiento de la prueba.....	116
5.1.2 Resistencia a la abrasión (NTP-ISO 20871-2006).....	116
5.1.2.1 Objetivo de aplicación:	116
5.1.2.2 Principio del ensayo:.....	116
5.1.2.4 Muestra:	117
5.1.2.5 Procedimiento de ensayo:	117
5.2 RESULTADO DE PRUEBAS DE CALIDAD	118

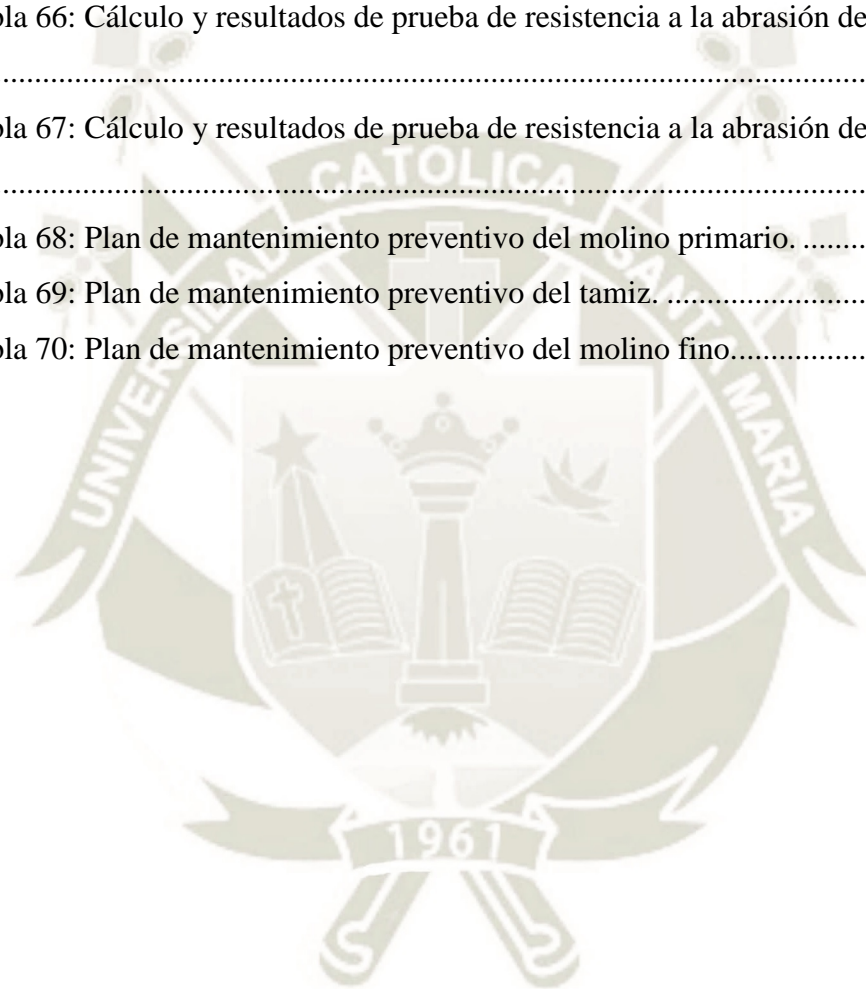
5.2.1 Grado de dureza	118
5.2.2 Resistencia a la abrasión	119
5.2.3 Elección de formulación óptima	121
CAPÍTULO VI	
6. EVALUACIÓN ECONÓMICA	122
6.1 ESTRUCTURA DE LA INVERSIÓN	122
6.1.1 Inversión	122
6.1.2 Inversión financiada por leasing	122
6.1.3 Financiamiento por leasing	123
6.2 PLAN DE USO DE RECURSOS	125
6.2.1 Materia prima	125
6.2.2 Mano de obra	125
6.2.3 Consumo de energía eléctrica	126
6.3 FLUJO DE EFECTIVO	127
6.3.1 Ahorro con nueva formulación	127
6.3.2 Depreciación	129
6.3.3 Flujo de efectivo	130
6.3.4 Indicadores financieros	131
CONCLUSIONES	133
RECOMENDACIONES	135
BIBLIOGRAFÍA	136
ANEXOS	139

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Sistema de variables.	4
Tabla 2: Composición del látex recién extraído.	13
Tabla 3: Composición de caucho procesado.....	13
Tabla 4: Ventajas del caucho sintético.	17
Tabla 5: Porcentaje de residuos diarios de caucho negro.	76
Tabla 6: Cantidad total de caucho almacenado.	78
Tabla 7: Escala de ponderación para el reciclado de suelas de caucho.	79
Tabla 8: Análisis de alternativas de proceso a implementar para reciclado de suelas de caucho.	80
Tabla 9: Composición de formulación actual de caucho negro.....	93
Tabla 10: Cantidad de caucho reciclado en formulaciones de prueba.....	94
Tabla 11: Composición de formulación 0.....	94
Tabla 12: Composición de formulación 1.....	95
Tabla 13: Composición de formulación 2.....	95
Tabla 14: Composición de formulación 3.....	96
Tabla 15: Caucho máximo requerido diariamente.....	96
Tabla 16: Tiempo máximo calculado de procesamiento requerido diariamente.....	97
Tabla 17: Proyección de residuos de la formulación 0.....	99
Tabla 18: Proyección de residuos de la formulación 1.....	100
Tabla 19: Proyección de residuos de la formulación 2.....	100
Tabla 20: Proyección de residuos de la formulación 3.....	101
Tabla 21: Resumen de proyección de caucho.....	101
Tabla 22: Cálculo de áreas.....	102
Tabla 23: Cálculo del coeficiente de superficie evolutiva.....	103
Tabla 24: Grado de proximidad.....	103
Tabla 25: Razones de proximidad.....	104
Tabla 26: Relación de actividades.....	104
Tabla 27: Código de líneas de diagrama relacional de actividades.....	105
Tabla 28: Grado de proximidad.....	105
Tabla 29: Razones de proximidad.....	105
Tabla 30: Relación de actividades.....	106

Tabla 31: Código de líneas de diagrama relacional de actividades.	107
Tabla 32: Código de líneas de diagrama relacional de espacios.....	107
Tabla 33: Resultado de prueba de dureza de formulación 1.....	118
Tabla 34: Resultado de prueba de dureza de formulación 2.....	118
Tabla 35: Resultado de prueba de dureza de formulación 3.....	119
Tabla 36: Resultado de prueba de abrasión de formulación 1.....	119
Tabla 37: Resultado de prueba de abrasión de formulación 2.....	120
Tabla 38: Resultado de prueba de abrasión de formulación 3.....	120
Tabla 39: Comparación de resultados de pruebas de calidad.	121
Tabla 40: Inversión requerida para implementación del proceso de reciclado.....	122
Tabla 41: Inversión financiada por leasing.....	122
Tabla 42: Tasas de interés compensatorio.	123
Tabla 43: Cuotas del contrato de leasing.....	124
Tabla 44: Parámetros del contrato de leasing.	125
Tabla 45: Uso de residuos de caucho negro.	125
Tabla 46: Costo unitario de mano de obra.....	126
Tabla 47: Costo de mano de obra.	126
Tabla 48: Tarifa por KW-h.	126
Tabla 49: Consumo eléctrico de equipos (KWh).....	127
Tabla 50: Costo de consumo de energía eléctrica.....	127
Tabla 51: Costo de caucho regenerado.	128
Tabla 52: Proyección de tipo de cambio.....	128
Tabla 53: Ahorro al reemplazo del caucho regenerado por gránulos de caucho (proyección 1).	128
Tabla 54: Ahorro al reemplazo del caucho regenerado por gránulos de caucho (proyección 2).	129
Tabla 55: Depreciación acelerada de bienes financiados por leasing.....	130
Tabla 56: Flujo de efectivo (proyección 1).....	130
Tabla 57: Flujo de efectivo (proyección 2).....	131
Tabla 58: Indicadores financieros.....	131
Tabla 59: Datos recolectados y procesados de los residuos de caucho negro.	139
Tabla 60: Porcentaje por tipos de residuo de caucho negro.	140

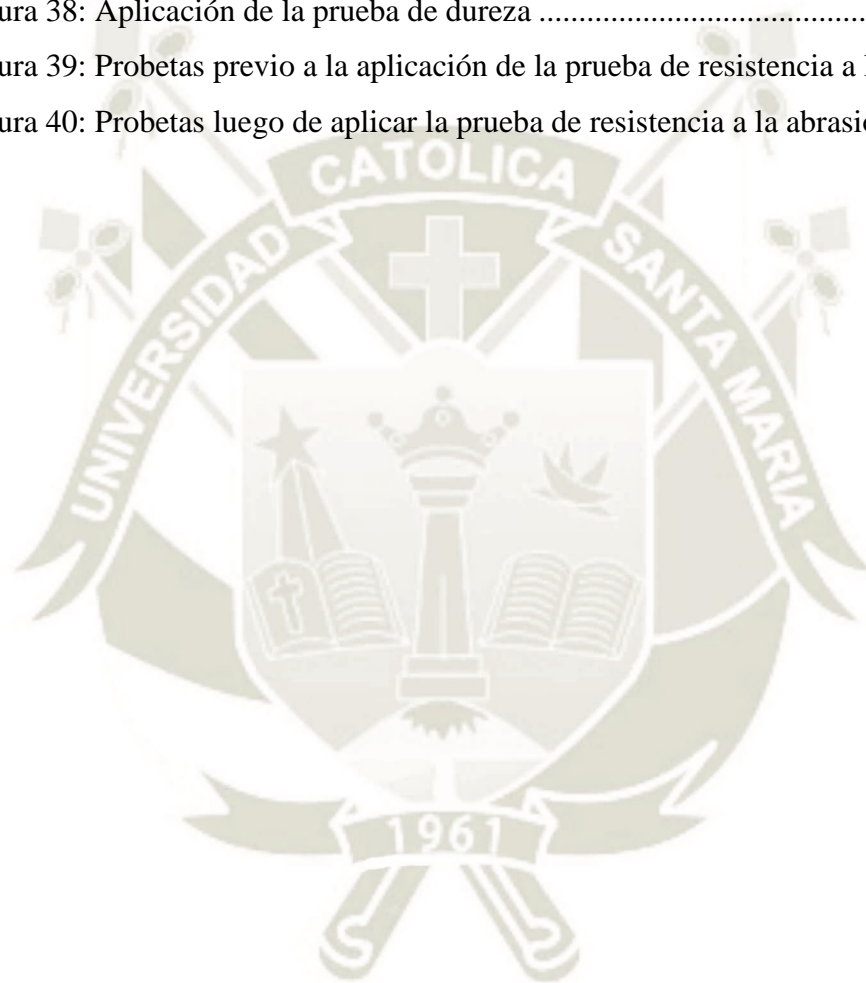
Tabla 61: Producción mensual de suelas de caucho negro del año 2015-2017.....	141
Tabla 62: Lecturas y resultado de dureza Shore A de la formulación 1	142
Tabla 63: Lecturas y resultado de dureza Shore A de la formulación 2	142
Tabla 64: Lecturas y resultado de dureza Shore A de la formulación 3	142
Tabla 65: Cálculo y resultados de prueba de resistencia a la abrasión de la formulación 1.	144
Tabla 66: Cálculo y resultados de prueba de resistencia a la abrasión de la formulación 2.	144
Tabla 67: Cálculo y resultados de prueba de resistencia a la abrasión de la formulación 3.	145
Tabla 68: Plan de mantenimiento preventivo del molino primario.....	148
Tabla 69: Plan de mantenimiento preventivo del tamiz.	149
Tabla 70: Plan de mantenimiento preventivo del molino fino.....	150



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura del caucho.	11
Figura 2: Unión de átomos de azufre y carbono.	23
Figura 3: Trituración primaria y secundaria.	34
Figura 4: Granulación.	35
Figura 5: Clasificación y molienda fina.	35
Figura 6: Recuperación de la deformación elástica del caucho.	37
Figura 7: Aguja del durómetro de tipo Shore A.	38
Figura 8: Movimiento lateral del abrasímetro.	40
Figura 9: Esquema del abrasímetro.	41
Figura 10: Organigrama.	45
Figura 11: Suela de TR.	46
Figura 12: Suela de caucho.	46
Figura 13: Suela de PU.	47
Figura 14: Secuencia de movimiento de máquina inyectora.	50
Figura 15: Ciclo de trabajo de la inyectora.	52
Figura 16: Diagrama de bloques del proceso productivo de suelas de TR.	54
Figura 17: Diagrama de bloques del proceso productivo de suelas de PU.	60
Figura 18: Mezclador intensivo de tipo Banbury.	64
Figura 19: Molino abierto.	65
Figura 20: Distribución de corte de caucho para moldeado.	66
Figura 21: Diagrama de bloques del proceso productivo de suelas de caucho.	69
Figura 22: Suelas defectuosas de caucho negro.	73
Figura 23: Retazos de caucho negro.	74
Figura 24: Rebabas de caucho.	74
Figura 25: Pulidora y bolsa de almacenado.	75
Figura 26: Lugar de almacenamiento de residuos.	77
Figura 27: Gránulo de caucho.	79
Figura 28: Cuchillas de trituradora de 2 ejes.	81
Figura 29: Tamiz (malla).	83
Figura 30: Discos de molienda fina.	84
Figura 31: Balance de materia de la formulación 1.	97

Figura 32: Balance de materia de la formulación 2.	98
Figura 33: Balance de materia de la formulación 3.	98
Figura 34: Probetas para la prueba de grado de dureza.	115
Figura 35: Probetas para la prueba de resistencia a la abrasión.....	117
Figura 36: Probetas previo a la aplicación de la prueba de dureza shore A	146
Figura 37: Durómetro Shore A utilizado en las pruebas realizadas	146
Figura 38: Aplicación de la prueba de dureza	146
Figura 39: Probetas previo a la aplicación de la prueba de resistencia a la abrasión ...	147
Figura 40: Probetas luego de aplicar la prueba de resistencia a la abrasión	147

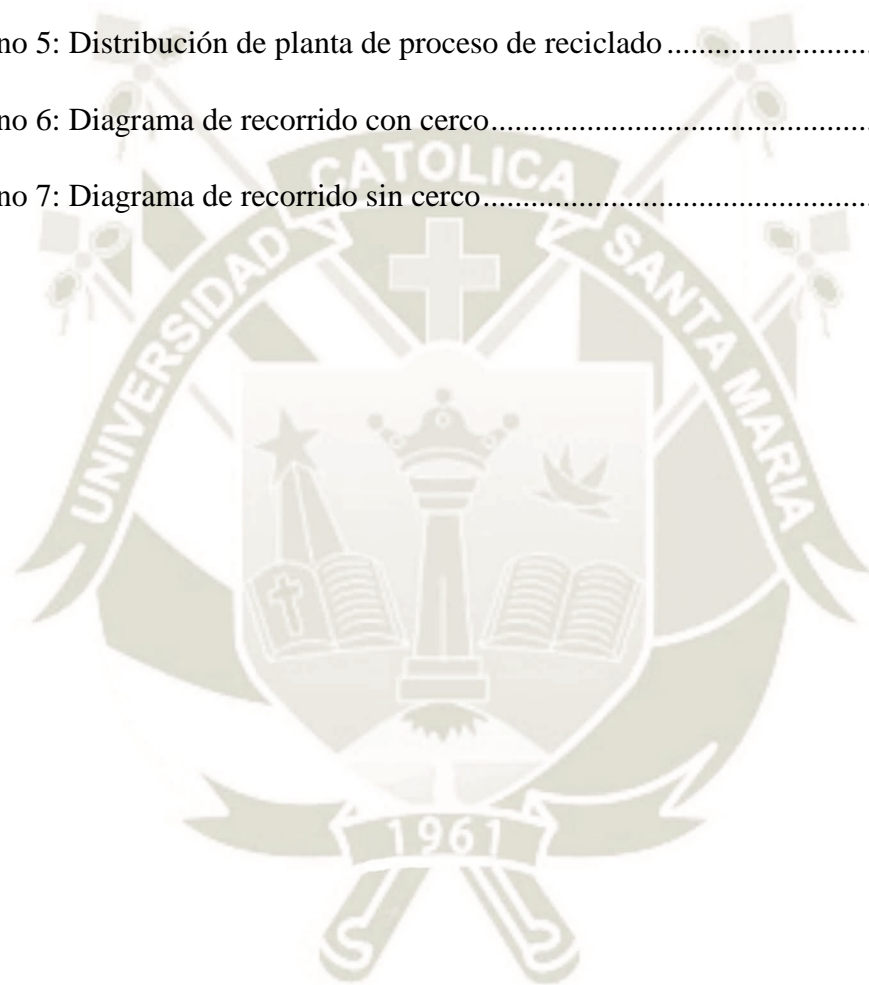


ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1: Diagrama de análisis del proceso de producción de suelas de goma termoplástica	55
Diagrama 2: Diagrama de análisis del proceso de producción de suelas de poliuretano	61
Diagrama 3: Diagrama de análisis del proceso de producción de suelas de caucho	70
Diagrama 4: Diagrama de flujo del proceso de reciclado.....	86
Diagrama 5: Diagrama de operaciones del proceso de reciclado de caucho para suelas con cerco	88
Diagrama 6: Diagrama de operaciones del proceso de reciclado de caucho para suelas sin cerco	89
Diagrama 7: Diagrama de análisis del proceso de reciclado de caucho para suelas con cerco.....	90
Diagrama 8: Diagrama de análisis del proceso de reciclado de caucho para suelas sin cerco.....	91
Diagrama 9: Diagrama hombre máquina del proceso de reciclado de caucho.....	92

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1: Distribución de planta actual	108
Plano 2: Diagrama relacional de actividades	109
Plano 3: Diagrama relacional de actividades - reciclado	110
Plano 4: Diagrama relacional de espacios - reciclado	111
Plano 5: Distribución de planta de proceso de reciclado	112
Plano 6: Diagrama de recorrido con cerco	113
Plano 7: Diagrama de recorrido sin cerco	114



INTRODUCCIÓN

Las empresas productoras durante el desarrollo de sus actividades por el uso constante de materias primas e insumos obtienen distintos tipos de residuos, los cuales la mayoría de veces son tratados como desperdicios y tienen como disposición final los rellenos sanitarios.

Muchas empresas están desaprovechando una oportunidad, debido que gran parte de los residuos pueden ser reutilizados en los procesos productivos en la misma empresa o pueden ser utilizados por empresas de otras industrias; en algunos casos estos pueden ser usado directamente y en otros se requiere de un procesamiento previo; en ambos casos estos representan un beneficio significativo. Esto llevado al rubro del calzado, específicamente las empresas productoras de suelas generan gran cantidad de residuos que pueden ser reaprovechados en los mismos procesos de donde provienen; el caucho es de los residuos más comunes y de mayor volumen en estas empresas; identificándose como una oportunidad realizar el reciclado de todas las mermas de caucho de las líneas productivas. Es por ello que en el presente trabajo de tesis se determina qué tan beneficioso es implementar un proceso de reciclado de caucho en una empresa que produce suelas, además se evalúa las variables que interviene directamente, tales como el grado de aprovechamiento de los residuos, la variación de la calidad de las suelas provocado por el uso del reciclado, y si tiene viabilidad económica.

La presente tesis fue desarrollada en seis capítulos: En el primer capítulo, se realizó el planteamiento teórico que implica la investigación. En el segundo capítulo se muestra el desarrollo del marco teórico; prosiguiendo con el tercer capítulo, donde se muestra la descripción de la empresa y los procesos productivos que realiza. En el cuarto capítulo se identifican los residuos de la línea de suelas de caucho negro y se determinan las características del gránulo de caucho requerido, a su vez se detallan las actividades del proceso de reciclado y se evalúa la capacidad, localización óptima y distribución, se determinan las alternativas de formulaciones; y se realizan proyecciones para determinar en cuanto tiempo se agotarían los residuos actuales y futuros. El quinto capítulo se enfoca en la aplicación y evaluación de resultados de las pruebas de dureza y resistencia a la abrasión, con el objetivo de determinar que formulación afecta en menor medida la calidad final de las suelas de caucho negro, culminando con el sexto capítulo donde se evalúa la viabilidad económica para un periodo de dos años.

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1.1 EL PROBLEMA

1.1.1 Identificación del Problema

Una empresa del sector calzado ubicada en Arequipa, tiene como actividad económica la producción y comercialización de suelas en tres líneas o materiales; los cuales son suelas de goma termoplástica (TR) de diversos colores, suelas de poliuretano (PU) de color negro y suelas de caucho negro y de color; los cuales son producidos para distintos clientes nacionales e internacionales.

Por efecto de sus actividades en la línea de suelas de caucho; en la empresa se presenta una gran acumulación almacenada de productos disconformes y residuos de caucho que ha ido incrementando con el pasar del tiempo, dicha acumulación está compuesta por suelas de caucho que tuvieron fallas o imperfecciones de calidad, retazos sobrantes de la actividad de prensado y vulcanización de suelas, rebabas de los procesos de acabado y potencialmente por gránulos de caucho sobrantes de la actividad de lijado de superficie, los cuales actualmente se desechan.

Debido a esta acumulación se desaprovecha el espacio que actualmente ocupa los sobrantes de caucho el cual podría ser utilizado en actividades productivas o que den un valor agregado, al poseer suelas con imperfecciones se tiene una pérdida por producto inconforme y en conjunto se tiene un costo de oportunidad no aprovechado debido a que se podría recuperar dichas suelas, tener una óptima disposición final o tener un mejor aprovechamiento de los residuos de caucho que otorguen un beneficio adicional a la empresa.

Si bien el caucho no está clasificado como un residuo sólido peligroso o que pueda afectar negativamente al ambiente; se evita recepcionarlo en los rellenos sanitarios debido a que el caucho tarda muchos años en degradarse en él ambiente (aproximadamente 80 años) y cuando es enterrado tiende a emerger del suelo dificultando su disposición final, por lo que se opta almacenarlo superficialmente en montículos en los rellenos sanitarios o de manera ilegal también es desechado en lugares descampados o cerca de carreteras como es el caso de los neumáticos.

1.1.2 Descripción del Problema

Como se mencionó en la identificación del problema la empresa tiene gran acumulación de residuos de caucho (la cual aún tiende a aumentar) que se ha incrementado en los últimos meses debido a las actividades que se realizan en la línea de suelas de caucho, y no cuenta con una estrategia o proceso que permita una óptima disposición, eliminación o reutilización de lo almacenado y de los desechos generados diariamente. Cabe mencionar que el almacenamiento no se realiza de manera continua; es decir, hay días que los sobrantes se desechan.

Por lo cual se planteó desarrollar una propuesta de un proceso donde se realiza una serie de actividades que permite reciclar los residuos de caucho por medio de procesos físicos y mecánicos, el cual da como resultado un polvillo o gránulo de caucho que se puede volver a utilizar en el proceso productivo de la línea de caucho, este gránulo se usa como materia prima y en reemplazo de cierto porcentaje del caucho utilizado en las formulaciones, colaborando con la disminución de los residuos almacenados y que a su vez significa un ahorro en los insumos, además no afecta la calidad final de las suelas de caucho.

La presente investigación se aplicó para el caucho de color negro.

1.1.3 Formulación del Problema

- Deficiente gestión de los residuos de la línea de caucho negro en una empresa del sector del calzado en Arequipa.

1.1.4 Justificación de la Investigación

- El desarrollo de esta investigación ayuda a la empresa a mejorar la disposición final de las suelas de caucho disconformes, retazos y sobrantes de la línea de caucho.
- Justificación económica: Ayuda a reducir el espacio que se ocupa en el almacenamiento de caucho sobrante, se aprovecha y se le da uso a las suelas de

caucho que no pasaron el control de calidad además de los sobrantes de las actividades de la línea de caucho, y se reduce los costos de la materia prima en la formulación de la línea de caucho.

- Justificación social/ambiental: Es de gran importancia que se tenga control sobre los residuos sólidos que se descargan o vierten, ya que estos perjudican al medio ambiente, por eso se propuso reciclar el caucho de manera que se evite llevarlo a los rellenos sanitarios a la vez que se le da un segundo uso y se aprovecha de manera adecuada.

1.1.5 Limitaciones de la Investigación

- Falta de cooperación o negación al suministro al requerirse información histórica de la empresa.
- Demora o dificultad al realizar las pruebas de calidad al producto final de suelas de caucho con la nueva formulación.
- Dificultad al determinar el porcentaje óptimo de utilización de caucho reciclado en la formulación de materia prima.

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Objetivo General

- Proponer un proceso de reciclado que contribuya a mejorar el aprovechamiento de los residuos de caucho negro.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar y establecer los procesos óptimos para el reciclado de caucho que permita el máximo aprovechamiento.
- Determinar si la implementación del proceso de reciclado de caucho ayudará a disminuir el almacenamiento innecesario y la cantidad de residuos de caucho.
- Determinar en qué porcentaje de utilización de los gránulos de caucho en la formulación no afectarán la calidad final de las suelas de caucho.

- Determinar si el uso de los gránulos de caucho (reciclado) representará un ahorro de materia prima en las formulaciones de láminas o rollos de caucho.
- Determinar si es económicamente viable la implementación de un proceso de reciclado de caucho negro.

1.3 SISTEMA DE HIPÓTESIS

- ✓ H0: La propuesta de reciclado de caucho ayuda a disminuir el almacenamiento innecesario de residuos de caucho negro, se logra aprovechar los residuos sin afectar la calidad final de las suelas de caucho y tiene viabilidad económica.

1.4 SISTEMA DE VARIABLES

Las variables identificadas se muestran en la tabla N°1.

Tabla 1: Sistema de variables.

Variable	Dimensión	Indicador	Nivel de medición
Proceso de reciclado de caucho	Capacidad	Requerimiento de caucho reciclado	Razón
		Capacidad máxima del proceso	Razón
		Aprovechamiento de caucho para reciclar	Razón
Pruebas de calidad	Calidad de suelas de caucho	Resistencia a la abrasión	Intervalo
		Grado de Dureza Shore A	Intervalo
Viabilidad económica	Ahorro	Ahorro de materia prima en formulación	Razón
	Indicadores financieros	Estructura de inversión	Nominal
		VAN	Razón
		TIR	Razón
		Beneficio/Costo	Razón
Periodo de recuperación de la inversión	Razón		

Fuente: Elaboración propia

1.5 MARCO METODOLÓGICO

1.5.1 Nivel de Investigación

La investigación que se realizó es de naturaleza experimental, ya que no se sabía con certeza si la propuesta de un proceso de reciclado de caucho ayudaría a tener un óptimo aprovechamiento de los residuos, disminuir el almacenamiento innecesario de residuos de caucho, a la vez proporcionar ahorro en la formulación de materia prima, no afectaría la calidad final de las suelas de caucho y sería viable económicamente.

Pero se tenía conocimiento previo, y se deseaba identificar si en el desarrollo se presentarían factores que afectarían el cumplimiento de los objetivos de la investigación.

1.5.2 Diseño de Investigación

La investigación es documental, de campo y experimental.:

- ✓ Es documental, ya que durante el desarrollo se recurrió a las Normas Técnicas Peruanas que tratan acerca de las pruebas de calidad en las suelas de caucho.
- ✓ Es de campo, porque se recolectó datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, además de aplicar pruebas de calidad y evaluar los resultados.
- ✓ Es experimental, debido que se investigó en que proporción de uso de caucho reciclado en la fórmula de producción no afecta la calidad final del producto y cumple con los objetivos propuestos.

1.5.3 Metodología de la investigación

Primero se determinó las actividades en el proceso de reciclado de caucho y de que consta cada una para tener el mayor aprovechamiento de los residuos, y poder ser reutilizado en el proceso productivo de la línea de caucho, además de la determinación de los equipos necesarios, los balances de material de ingreso y salida, entre otros.

Luego se realizó un piloto en el cual se obtuvo el polvillo o gránulo de caucho reciclado con el fin de realizar las pruebas de calidad, luego se continuó con la elaboración de probetas de caucho según las especificaciones de las normas técnicas peruanas.

Las pruebas de calidad del caucho para suelas se trataron de la siguiente manera: se realizaron tres formulaciones con cantidades distintas de reciclado de caucho, a las cuales se aplicaron las pruebas para determinar y analizar la relación existente entre calidad y cantidad usada de caucho reciclado para poder identificar qué proporción es más óptima.

Por último, se realizó una evaluación de viabilidad económica para identificar los beneficios de implementar un proceso de reciclado de caucho en un plazo de tiempo determinado, además de verificar el cumplimiento de los objetivos propuestos.



CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Rojo Osorio Jorge (2002) en su tesis titulada “Evaluación técnica-económica sobre reutilización de los desperdicios de caucho regenerado en la producción de suelas de calzado”; se propuso emplear desperdicios de caucho vulcanizado obtenido de los neumáticos fuera de uso, como materia prima para la obtención de un producto con características semejantes al caucho natural o sintético, para volver a utilizarlo en la fabricación de suelas u otros productos de caucho. Dentro de su desarrollo se realizó la descripción de dos procesos para la obtención del producto que servirá como materia prima; se desarrolló un estudio de mercado para determinar clientes potenciales del producto y subproductos; y se desarrolló una evaluación financiera.

Olivares Carmona Daniel (2016) en su plan de negocios para postular al grado de Magister en Administración (MBA) titulado “Planta de reciclaje de neumáticos de caucho Comercialización de miga de caucho”, se identificó la problemática de la disposición final de los neumáticos, planteando como solución establecer una planta sostenible de reciclaje de neumáticos donde puedan procesarse para obtener gránulo de caucho, fibras textiles y acero, los cuales tengan las condiciones para ser reutilizados como materia prima. Además, se desarrollaron procesos que permiten obtener los componentes de los neumáticos con las condiciones necesarias para ser reutilizados. Y se analizó su factibilidad técnica y económica del plan de negocio.

Luna Morocho Patricio (2013) en su tesis titulada “Estudio de la aplicación potencial de compuestos obtenidos con residuos de caucho reciclado provenientes de continental tire andina como materiales estructurales” presenta el estudio de diversas formas de reutilización del reciclado de caucho proveniente de neumáticos fuera de uso en la aplicación como elemento agregado de materiales estructurales; además, se dio a conocer métodos de trituración mecánica para la obtención de reciclado de caucho.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Fabricación de suelas de caucho

En la fabricación se sigue un proceso irreversible que tiene como objetivo vulcanizar caucho a altas temperaturas en moldes de suelas; con el fin de obtener la forma, tamaño deseado y propiedades que permitan un producto duradero.

En este proceso se pueden utilizar distintas formulaciones y combinaciones de materiales dependiendo de las propiedades finales que se desean obtener y de las experiencias previas; pero en general se puede agrupar las materias primas y aditivos usados según su utilidad en el proceso, como:

- **Caucho:** Es la materia prima principal, en el proceso se puede optar por utilizar caucho natural, sintético y/o regenerado.
- **Agente de vulcanización:** La presencia de este compuesto permite realizar la vulcanización.
- **Antioxidantes:** Como menciona Abad (2002), el caucho natural, como cualquier otro polímero, es susceptible a la degradación oxidativa que disminuye algunas propiedades físicas y Al-Malaika (1991), asegura que la oxidación del caucho natural se debe a la formación de radicales libres que pueden propagar las reacciones de ruptura de la molécula de caucho es por ello que los antioxidantes previenen las reacciones oxidativas del caucho y ayudan a mantener sus propiedades físicas.
- **Plastificantes:** Castro (2008) menciona que se adicionan para facilitar la preparación y elaboración de las mezclas, utilizándose para el control de la viscosidad; reducen la fricción interna durante el procesado y mejoran la flexibilidad a bajas temperaturas del producto, además en el producto vulcanizado disminuyen la resistencia a la tracción aumentando la elongación hasta un punto de rotura más elevado, a su vez disminuye la dureza, brindan propiedades antiestáticas y mayor resistencia las llamas. Los materiales de esta clase de productos son generalmente derivados de ácidos grasos y alcoholes grasos, polímeros de bajo peso molecular y teniendo mayor importancia los hidrocarburos como se menciona en el Manual del caucho de Struktol.

- **Acelerantes:** Se utilizan para reducir el tiempo que demora en vulcanizarse el caucho sometido a cierta temperatura.
- **Iniciadores vulcanizantes:** También llamados activadores, Rojo (2002) afirma que se emplean para facilitar la vulcanización bajando la energía de activación de la reacción y siempre actúan simultáneamente con los aceleradores de vulcanización, además mejoran la incorporación y la dispersión de los compuestos. El iniciador de vulcanización inorgánico más utilizado es el óxido de zinc.
- **Agentes homogeneizantes:** Conocidos también como ablandadores, ayudan a mejorar la homogeneidad en las mezclas de caucho y los elastómeros en general, además facilitan la incorporación del caucho con los otros compuestos. En el Manual del caucho de Struktol (2014) se definen como mezclas a base de resinas que exhiben una buena compatibilidad con varios elastómeros y facilitan la mezcla a través de ablandamiento y humectación tempranos de las interfaces del polímero. Las resinas de ablandamiento tienen cierta pegajosidad que provoca que los polímeros tiendan fácilmente a separarse y las mezclas de polímeros se unirán más rápidamente entre sí y los demás compuestos, haciendo que el mezclado sea más efectivo y sus tiempos puedan reducirse.

2.2.1.1 Materias primas

En la industria del caucho se tiene una gran variedad de productos que se pueden elaborar a partir de este, muchos de estos productos son insumos o materia prima para empresas de diversos rubros, debido a esto en la industria se hace uso de gran cantidad de materias y aditivos los cuales se seleccionan según las características que requiera el producto final, el rubro al cual se dirige y el uso que se le dará a este; de igual manera en el rubro de calzado, exactamente en la producción de suelas se tiene muchas opciones de formulación que contienen distintas materias y aditivos, por lo cual se mencionará las más utilizadas y las que más se adaptan a la realidad de la empresa.

a) Caucho natural

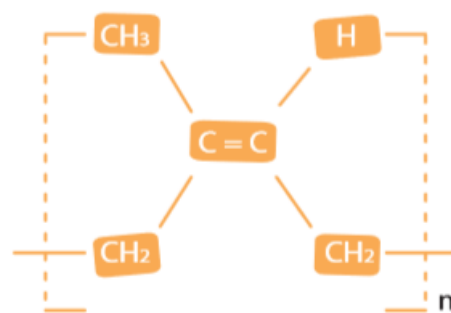
Según Urrego (2014) el caucho natural es un polímero de alto peso molecular, químicamente se forma a partir de la polimerización de moléculas de isopreno creando una macromolécula de configuración cis; es posible también lograr una configuración trans del poli isopreno, sin embargo, esta configuración no tiene ningún potencial tecnológico debido a su alto grado de cristalinidad, particularidad que lo hace muy rígido.

Según Alan Echt (2001) “el caucho natural (cis-1,4-polisopreno) es un producto vegetal procesado que se obtiene de la savia de varias especies de árboles y plantas; el trans-1,4-polisopreno natural, que se conoce como gutapercha o balata y se obtiene de árboles de Sudamérica e Indonesia, proporciona un caucho menos puro que el isómero cis”.

El caucho natural que se obtiene del árbol *Hevea brasiliensis* tiene el mayor consumo mundial, se le conoce como látex. El método más común para obtener el látex de los árboles consiste en realizar incisiones en forma de espiral en la corteza, esto no daña al árbol; debajo de las cuales se coloca un recipiente de tal manera que el látex pueda ser recolectado y luego transportado a plantas o estaciones. Luego se puede optar por dos formas de procesamiento, la primera consta en recepción del látex líquido que se centrifuga con el objetivo de eliminar las impurezas que pueda presentar para luego añadirle aditivos y separar el caucho por medio de suspensión; la otra manera consiste en la utilización de látex seco que al combinarlo con ácido fórmico (HCOOH) o acético (CH₃COOH) forma coágulos. De ambas maneras se obtiene caucho natural sólido con Ph de 4.8 a 5.0, el cual es procesado en un molino de rodillos para drenar y secarlo con el fin de formar láminas.

En la figura N°1 se muestra la estructura química que presenta el caucho natural.

Figura 1: Estructura del caucho.



Fuente: Facultad de Química de la Pontificia Universidad Católica de Chile

El caucho natural forma parte del grupo de materiales poliméricos, específicamente de los conocidos como elastómeros; la importancia del caucho natural se debe a sus propiedades, las cuales se amoldan a las necesidades de diversas industrias y aplicaciones de alta ingeniería.

Propiedades físicas

Castro (2008) expresa que, en un estado natural, el caucho es de color blanco y en algunos casos incoloro.

La densidad del caucho a 0 °C es de 0.950, y a 20 °C es de 0.934. El caucho bruto deshelado después de la masticación por cilindros fríos no varía de densidad.

Y Rojo (2002) añade que, cuando el caucho bruto ha sido estirado y deformado durante algún tiempo, no vuelve completamente a su estado original. Si se calienta, la recuperación es mayor que a la temperatura ordinaria.

Según Rojo (2002) respecto a la temperatura tiene comportamientos muy variables:

- ✓ En temperaturas bajas tiende a volverse rígido y quebrarse, incluso puede volverse polvo si se le aplica presión. Si el caucho es estirado en un ambiente con bajas temperaturas cambia su aspecto a uno fibroso.
- ✓ En temperaturas dentro del rango de 15 a 30 grados Celsius, el caucho es flexible y con un comportamiento plástico.

- ✓ En temperaturas mayores a 100 grados Celsius el caucho se ablanda y sobrepasa el límite en el que obtiene cambios irreversibles.
- ✓ El punto de fusión oscila entre 140°C y 200°C, dependiendo de la cantidad de resinas e impurezas.
- ✓ El caucho tiene baja solubilidad frente a sus solubles más comunes. Al tener contacto con alguno de sus disolventes, aumenta de volumen lentamente hasta llegar a una consistencia coloidal y luego se dispersa formando una mezcla o solución.

Propiedades químicas

El caucho arde con llama brillante y produce un olor desagradable.

Ofrece buena resistencia a los ácidos minerales diluidos y álcalis, pero se degrada de manera acelerada en medios de ácido nítrico y ácido sulfúrico. Es soluble en hidrocarburos.

Castro (2008) menciona que varias sustancias son solubles o pueden dispersarse en caucho bruto, tales como el azufre, colorantes, ácido esteárico, N-fenil-2-naftilamina, mercaptobenzitiazol, pigmentos, aceites, resinas, ceras, negro de carbono y otras.

El caucho tiene una oxidación lenta en presencia del oxígeno del medio ambiente, pero con agentes oxidantes químicos se oxida rápido; en ambos casos al oxidarse se vuelve pegajoso y con estructura resinosa.

Según Rojo (2002) “los dobles enlaces de la molécula del caucho son de gran importancia porque permiten la adición de halógenos y su vulcanización”, esto debido a que se forman puentes entre las moléculas de azufre y las cadenas de caucho, aumentando la dureza y resistencia del caucho vulcanizado.

Composición

En la tabla N°2 se muestran los resultados de los estudios de Roberts en varios tipos de látex de Hevea, donde identificó los componentes del látex recién extraído.

Tabla 2: Composición del látex recién extraído.

Compuesto	Látex 1 (%)	Látex 2 (%)	Látex 3 (%)
Sales amoniacales	0.02	0.03	0.02
Éter sal	0.06	0.06	0.02
Ácidos grasos	0.41	0.33	0.47
Ácidos sulfurados	0.92	0.94	1.16
Ácidos proteínicos	2.56	1.45	2.05
Caucho	32.92	27.17	32.98
Agua	62.75	69.78	36.68

Fuente: Vidal de Cárcer, M. "Tratado moderno de las industrias del caucho"

Respecto al caucho procesado se tiene muchas variaciones de composición dependiendo de las industrias a las cuales van dirigidas y a las formulaciones utilizadas por los productores; pero de manera aproximada se puede definir la composición en las dos presentaciones más comunes (caucho ahumado y caucho crepé). En la tabla N°3 se muestra la composición de las dos presentaciones de caucho mencionados.

Tabla 3: Composición de caucho procesado.

Compuesto	Caucho ahumado (%)	Caucho Crepé (%)
Humedad	0.6	0.4
Extracto de acetona	2.9	2.9
Éteres insolubles en acetona	1	1
Proteínas	2.8	2.8
Cenizas	0.4	0.3
Extracto acuoso	1	1
Caucho	91.3	91.6

Fuente: Vidal de Cárcer, M. "Tratado moderno de las industrias del caucho"

Tipos de caucho natural

El mayor volumen de caucho se comercializa en láminas de crepé, planchas ahumadas o como látex concentrado; pero también se produce el caucho natural epoxidizado, termoplástico y de especificación técnica.

b) Caucho sintético

Kogut (1945) define que “caucho sintético es el nombre genérico de los materiales compuestos que tienen un alto grado de las principales características del caucho natural, especialmente la elasticidad y la posibilidad de ser vulcanizados”.

El caucho sintético es el sustituto por excelencia del caucho natural debido a su resistencia química a los ácidos, gases y aceites minerales, entre otras sustancias.

Se obtiene de hidrocarburos insaturados derivados del petróleo, mediante reacciones de polimerización complejas. Su producción comienza con la refinación química del petróleo, que consiste en procesos de emulsión y coagulación para generar olefinas y aromáticos, estos son la base para obtener el estireno, el butadieno, el acrilonitrilo, entre otros; que por medio de procesos de polimerización son transformados en diversos tipos de caucho sintético. También se pueden obtener mediante la polimerización de los monómeros de isopreno y de isobutileno.

Según la Facultad de Química de la Pontificia Universidad Católica de Chile los cauchos sintéticos son más estables a temperaturas elevadas, que el caucho natural.

Desde el año 1860 se empieza a investigar y estudiar las propiedades del caucho natural para la realización de productos sintéticos similares a este.

En 1890 se da un aumento en la demanda del caucho debido a la alta producción de automóviles y neumáticos; además, la primera guerra mundial lleva a que distintos movimientos geopolíticos encarecieran los precios del caucho natural, desestabilizando por completo el mercado de caucho; provocando la investigación y desarrollo de distintos materiales sintéticos que puedan reemplazar al caucho natural.

En el año 1931 se conoce al primer caucho sintético que fue desarrollado con éxito, el cual fue nombrado como Neopreno.

En 1940, durante la Segunda Guerra Mundial se produce de nuevo un desbalance en la demanda del caucho debido a la problemática geopolítica, las empresas occidentales por necesidad desarrollan nuevas alternativas para reemplazar al caucho natural logrando mejorar su composición; la fábrica BFGoodrich inventa una versión más barata y rentable de producción de caucho.

En 1945, al término de la segunda guerra mundial, se recurrió de nuevo al uso del caucho natural; sin embargo, en 1970 las ventas de caucho sintético y caucho natural llegaron a igualarse.

Brunssen (2011) expresa que de esta época surge el caucho estireno-butadieno, abreviado SBR (del inglés Styrene-Butadiene Rubber) que es obtenido mediante la polimerización de una mezcla de estireno y de butadieno. Actualmente es el caucho sintético con mayor volumen de producción mundial.

Actualmente se tiene más de veinte categorías destacadas de caucho sintético. Los primeros cauchos sintéticos desarrollados eran copolímeros de estireno-butadieno, estos se llamaban SBR y Buna S.

El SBR se deriva la mezcla de dos monómeros (estireno y butadieno) que se pueden polimerizar por medio de dos procesos distintos: el proceso de solución (S-SBR) o el proceso de emulsión (E-SBR). El primero se realiza mediante la polimerización aniónica; consiste en utilizar compuestos de alquil-litio sin presencia de agua. El segundo se da a través de la copolimerización en emulsión en frío mediante la reacción química de radicales libres de monómeros de butadieno y estireno, y con presencia de agua.

Según IndustriALL Global Union (2013); el SBR es el caucho sintético más usado, representa el 45% del consumo mundial. El sector del neumático es el sector que más lo demanda, ya que consume el 75% del SBR fabricado en el mundo. Los sectores del calzado y la construcción vienen en segundo y tercer

lugar; el SBR también se utiliza en diferentes modificaciones de polímeros y en adhesivos.

El primer caucho sintético del grupo nombrado Buna, fue elaborado por químicos alemanes, como resultado de la polimerización de dos monómeros denominados comonómero.

El termino Buna se deriva de la combinación de los nombres de los dos comonómeros utilizados: el butadieno y el natrium (sodio metálico), que fue empleado como catalizador.

Se tuvo dos tipos de caucho Buna: El Buna-S, que estaba elaborado por la unión del butadieno y el estireno, el cual destacaba por su alta resistencia dieléctrica, a la abrasión y baja permeabilidad al gas; y el Buna-N (Perbunan), donde se reemplaza al estireno por el acrilonitrilo, el cual era muy útil en casos donde se requería resistencia a la abrasión y a los aceites.

Existen más tipos de caucho sintético, tal como el EPDM (monómero dieno propileno etileno), que según IndustriALL Global Union (2013) es “el tercer segmento más importante en el mercado mundial del caucho sintético, se utiliza primordialmente, en el sector de componentes de automóviles y en mangueras, materiales aislantes de electricidad y otras aplicaciones”.

Ventajas del caucho sintético

En la tabla N°4 se muestra las ventajas que poseen tres tipos de caucho sintético (buna S, neopreno y SBR) y se las compara con las propiedades del caucho natural.

Tabla 4: Ventajas del caucho sintético.

Propiedad	Buna S	Neopreno	SBR	Natural
Resistencia a la tensión (libra por pulgada)	2.0	2.5	2.5	<u>3.8</u>
Alargamiento	B	<u>E</u>	<u>E</u>	<u>E</u>
Recobro después de alargamiento	B	B	P	<u>E</u>
Peso específico	0.94	1.25	0.91	0.993
Dureza	25-100	20-90	20-85	10-100
Aislamiento eléctrico	<u>E</u>	P	<u>E</u>	<u>E</u>
Método de vulcanización	Calor y azufre	Calor	Calor y azufre	Calor y azufre
Resistencia a llama	P	<u>B</u>	P	P
Abrasión	B	<u>E</u>	R	<u>E</u>
Flexión	B	<u>E</u>	<u>E</u>	B
Agentes corrosivos	B	B	B	B
Resistencia al desgarre	R	B	B	<u>E</u>
Resistencia al corte	R	B	R	B
Resistencia a ácidos	B	B	<u>E</u>	B
Derivados de petróleo	P	B	P	P
Soluciones oxidantes	P	P	<u>E</u>	P
Adhesión a metales	B	<u>E</u>	<u>E</u>	<u>E</u>
Adhesión a tejidos	R	B	<u>E</u>	<u>E</u>
Facilidad de trabajo	B	B	<u>E</u>	B
Conservación en depósito	<u>E</u>	<u>E</u>	<u>E</u>	R

(Abreviaturas: P-pobre, R-regular, B-bueno; E-excelente)

Fuente: Kogut, S. "Caucho sintético"

Tipos de caucho sintético

Según COECA (2018) Entre los cauchos sintéticos más comercializados se tiene:

- **Poliisopreno Sintético (IR):**

En operaciones de moldeo, tal como compresión o inyección, es superior al caucho natural, debido a que el poliisopreno fluye muy fácilmente; también puede ser aprovechado en la fabricación de piezas complicadas o de poco espesor y de gran superficie, pero para las piezas complejas presentaría dificultad al momento del desmoldeo a temperaturas altas, debido a su baja resistencia al desgarro.

En comparación con el caucho natural, el poliisopreno en su menor grado de pureza tiene menor tenacidad y resistencia en crudo, además de poseer valores más bajos en dureza, rigidez y resistencia a la tracción. En su mayor grado de pureza mejoran sus propiedades como aislante eléctrico y presenta mayor uniformidad de características que el caucho natural.

- **Cauchos de Butadieno-Estireno (SBR)**

El SBR puede vulcanizarse; de igual manera que el caucho natural, por medio de azufre y acelerantes, además de peróxidos o usando agentes vulcanizantes especiales.

Es más resistente a la oxidación, debido a que está compuesto por cierta cantidad de antioxidante y por su naturaleza intrínseca.

Para mejorar la resistencia mecánica necesitan de cargas reforzantes, con las cuales superan la resistencia de abrasión del caucho natural.

Respecto a la fatiga dinámica, el SBR es más resistente a la aparición de grietas, pero tienden a propagarse más rápido que en el caso del caucho natural.

El SBR solo no supera al caucho natural en sus propiedades de resiliencia.

- **Cauchos de Polibutadieno (BR)**

Al vulcanizar el caucho BR con alto contenido cis-1,4 y sin mezclarlo con otro caucho, presenta ventaja respecto a la resistencia a la abrasión, tracción, desgarro y mayor porcentaje de alargamiento antes de la rotura.

Respecto a la resiliencia, a temperatura ambiente es superior a la del caucho natural, además sobresale por su resistencia al frío.

En una formulación con caucho natural, donde la proporción del BR no supere el 45%, las características no se ven afectadas, pero mejora la resistencia a la abrasión y se tiene menor tendencia de agrietamiento por fatiga.

Al combinarlo con el SBR en las mismas condiciones anteriores, tampoco afecta a las características, pero se obtiene mayor resistencia a la abrasión, menor tendencia al agrietamiento por fatiga, mayor resiliencia y menor histéresis, generando menos calor y teniendo menores temperaturas de rodaje.

- Butadieno-Acrilonitrilo (NBR)

Según COECA (2018) destacan por tener:

- ✓ Muy buena resistencia a los hidrocarburos alifáticos
- ✓ Buena resistencia a ácidos grasos, grasas animales y vegetales
- ✓ Buena resistencia a soluciones diluidas en sales, ácidos y álcalis no oxidantes
- ✓ Baja permeabilidad a los gases
- ✓ Buena resistencia a tracción, desgarró y abrasión
- ✓ Buena resistencia al calor

Y tiene como desventaja:

- ✓ Baja resistencia a hidrocarburos aromáticos (tolueno, xileno, etc.)
- ✓ Baja resistencia a hidrocarburos clorados (tricloroetileno)
- ✓ Muy baja resiliencia

- Cauchos Nitrílicos Modificados (HNBR)

El caucho Nitrílico Hidrogenado se obtiene mediante la hidrogenación catalítica de los enlaces dobles de la cadena principal del caucho nitrílico, haciendo que ésta se sature en su totalidad. La vulcanización del HNBR se da por medio de peróxidos.

Con estas modificaciones se mejora la resistencia al oxígeno, al ozono y a las bajas temperaturas.

c) Caucho regenerado

El caucho regenerado es un producto resultante del reproceso de rezagos de caucho vulcanizado por tratamientos mecánicos, térmicos y químicos con el objeto de producir materiales útiles para procesos industriales posteriores”

Su aspecto es sólido, plástico y de color oscuro.

El proceso de regeneración del caucho consiste en revertir la elasticidad del caucho vulcanizado y volver a su plasticidad original; es decir, volver o acercarse a las propiedades que tenía al ser caucho natural o crudo.

El regenerado se puede obtener del caucho natural, del sintético o de ambos; teniendo características similares de estos, de igual manera también se puede vulcanizar obteniendo buenas propiedades elásticas pero inferiores a las del caucho de procedencia, otra característica que se ve disminuida es la resistencia de ruptura y el alargamiento; la dureza tiene una mínima variación.

El caucho regenerado se suele utilizar en combinaciones de caucho natural y sintético, variando la formulación en sus proporciones dependiendo si se requiere aumentar la elasticidad, la resistencia a la abrasión y al envejecimiento.

El uso de caucho regenerado representa las siguientes ventajas:

- ✓ Bajo costo.
- ✓ Rápido mezclado.
- ✓ Rápida mecanización.
- ✓ Menor consumo de energía.
- ✓ Estabilidad dimensional de las mezclas durante su elaboración.
- ✓ Índice de envejecimiento satisfactorio.
- ✓ Uniformidad de partida a partida

Los procesos de desvulcanización se pueden clasificar en dos grupos; los físicos y los químicos. Los primeros se caracterizan por utilizar una fuente de energía externa para ayudar a la desvulcanización, dentro de estos se encuentran los procesos termo-mecánicos, criomecánicos, microondas y ultrasónicos. Los procesos químicos son los que más se utilizan a nivel industrial, en estos se puede hacer uso de agentes químicos como disulfuros y

mercaptanos orgánicos, con ayuda de trabajo mecánico a altas temperaturas, también puede usarse agentes inorgánicos; otro tipo de procesos puede darse mediante la catálisis por transferencia de fase, conocido como PTC.

A continuación, se describe algunos de los procesos mencionados:

- Desvulcanización química: Se hace uso de agentes químicos para romper los enlaces y eliminar el azufre del enlace químico entrecruzado. En un reciente estudio realizado por Kojima, para la desvulcanización del caucho natural con varios contenidos de negro de carbono se emplea monóxido de carbono supercrítico en presencia de disulfuro de difenilo como reactivo.
- Desvulcanización térmica: Fue de los primeros métodos empleados para la recuperación de caucho, solo sirve para el caucho natural. Se realiza sin la presencia de químicos y consiste en el calentamiento del caucho a una elevada temperatura para romper los enlaces.
- Desvulcanización termo-mecánica: Se realiza por medio de una extrusora a altas temperaturas, con el fin de obtener una masa viscosa que se mezcla con caucho virgen.
- Desvulcanización termo-química: Se realiza en una autoclave aplicando temperaturas entre 150 a 190 grados Celsius durante un tiempo establecido, puede darse con vapor o en seco; con el fin de obtener una masa ablandada la cual será luego laminada.
- Desvulcanización ultrasónica: Se caracteriza por ser un proceso continuo que se encuentra libre de agentes químicos.

Según Balsas “en ciertas condiciones de presión y temperatura, las ondas ultrasónicas pueden romper el enlace químico entrecruzado del azufre en el caucho produciendo la desvulcanización, con alguna degradación de la cadena principal”

d) Resina de colofonia

También llamada “rosin”, su nombre científico es “pinus spp” y su fórmula molecular es $C_{20}H_{30}O_2$ (conocido como ácido abiético).

Es obtenida de la resina de pino, su proceso consiste en la destilación de la trementina (la trementina es un líquido claro, inflamable, inmiscible en el agua

y con punto de ebullición por encima de 150 grados Celsius), donde la colofonia es un residuo no volátil.

Es un sólido frágil, vidrioso y cristalino; insoluble en agua, pero soluble en la gran mayoría de solventes orgánicos como: éter de petróleo, alcohol, acetona, algunos aceites, esencia de trementina y soluciones diluidas de hidróxidos alcalinos. Según Acofarma distribución su punto de fusión es aproximadamente 100 grados Celsius.

Se clasifica y comercializa en base al color; siendo la más requerida debido a su calidad la de color amarillo-marrón de matiz pálido; también dependiendo de sus características fisicoquímicas, debido a que la mayoría reciben modificaciones químicas, estando constituidas principalmente de ácidos de tipo pimárico, abiético y reducidas cantidades de compuestos neutros.

Se usan en la manufactura de adhesivos, producción de tintas para imprenta, materiales aislantes en la industria electrónica, fabricación de goma sintética; en la formulación de caucho aporta plasticidad a la mezcla.

e) Azufre

En la formulación el azufre cumple la función de agente vulcanizante o acelerante.

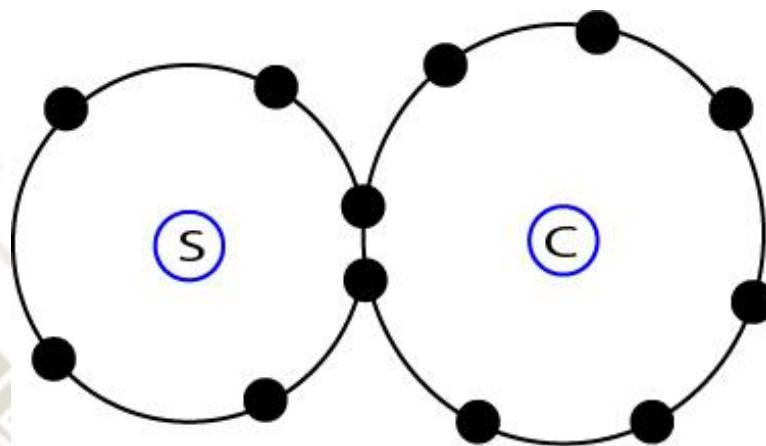
Es un elemento no metálico de color amarillo pálido, es micronizado o dispersado en aceite mineral o en materiales poliméricos.

Castro (2008) afirma que, durante el vulcanizado el azufre une a las moléculas de caucho entre sí, proporcionándoles resistencia tanto al frío como al calor. Además, proporciona impermeabilidad, resistencia química y ayuda al caucho a conservar la elasticidad.

La valencia electrónica del azufre es 6, provoca la combinación de enlaces dobles con las moléculas de caucho, creando de esta manera puentes de cadena de azufre; por parte del caucho, este está compuesto por átomos de carbono, los cuales tiene 6 electrones en el último nivel de energía, y tienden a buscar elementos a los cuales enlazarse para completar la configuración electrónica de dicho nivel; siendo el azufre quien completa los espacios faltantes durante el proceso de vulcanización.

En la figura N°2 se muestra una representación gráfica de la unión que se produce entre el azufre y carbono a causa de la vulcanización.

Figura 2: Unión de átomos de azufre y carbono.



Fuente: Adaptado de Luna Morocho, P. "Estudio de la aplicación de compuestos obtenidos con residuos de caucho reciclado"

f) Negro de humo

En la formulación para vulcanizar el caucho, el negro de humo principalmente se utiliza para aumentar la resistencia a la abrasión y brindar protección al caucho frente a la luz ultravioleta.

El negro de humo está formado de carbono puro y su color se debe a que no refleja luz en la parte visible del espectro. Es una forma de carbono amorfo con una relación superficie-volumen alta.

La producción tradicional del negro de humo se da por combustión incompleta y consta de carbonizar materiales orgánicos como la madera y derivados del petróleo.

Es un conocido carcinógeno y daña el tracto respiratorio si se inhala, debido a su alto contenido en hidrocarburos policíclicos aromáticos.

El negro de humo se usa en gran parte como pigmento y como refuerzo en productos de goma y plástico, su uso más común (cerca del 70%) es como pigmento y base de refuerzo en neumáticos para automóviles; además, también ayuda a disipar el calor de las zonas de la huella y el cinturón del neumático

reduciendo el daño térmico e incrementando la vida del caucho. Las partículas de negro de carbón también se emplean en algunos materiales absorbentes de radar y en el tóner de impresoras.

g) Aceite

El uso de aceites derivados de petróleo en el proceso de vulcanizado para diluir o extender el caucho, es conocido desde hace muchos años. El aceite dentro de la formulación para el vulcanizado cumple con diferentes objetivos: como un plastificante, reblandecedor, reduce la viscosidad de fundido del caucho a la requerida para la composición, además de ayudar a obtener un producto menos caro.

Los aceites para el proceso de vulcanización son una mezcla compleja de hidrocarburos y además contienen pequeñas concentraciones de otros componentes, la composición varía según el tipo de petróleo y proceso utilizado en su producción.

En estos aceites se presenta una mezcla de hidrocarburos parafínicos, nafténicos y aromáticos; pero las empresas pueden producir aceites en donde predomine uno de los tres, según sea necesario; es por ellos que generalmente se habla de tres tipos de aceite, aunque estos no sean puros y tengan concentraciones menores de los otros dos tipos. En algunos casos también se componen de una pequeña proporción de heterocíclicos o compuestos polares; los que se usan cuando se requiere que el caucho tenga decoloración y/o manchado, lo que se puede observar en los artículos de color claro y en superficies pintadas en contacto con goma; aunque, en muchos países está prohibido el uso de aceites con contenido de heterocíclicos superior a un cierto valor, ya que se sospecha que tienen un efecto cancerígeno en las personas.

Según sus usos se podrían clasificar en:

- Aceites extendedores: Los aceites derivados del petróleo actúan mejor de manera física que química, su efecto no depende de la temperatura durante el mezclado, sirven como plastificante en el proceso provocando la reducción de viscosidad y facilitando la incorporación de los componentes de la formulación.

- Lubricantes: Pueden ser incorporados en el proceso de mezclado, en pequeñas cantidades junto con los demás compuestos para lograr el ablandamiento y facilitar el trabajo e integración de materias. Estos se clasifican en:
 - ✓ Aceites aromáticos: Ayudan con la dispersión del negro de humo durante el mezclado, presentan un efecto de decoloración en el caucho, además de un efecto adverso en la resistencia al calor y radiación ultravioleta.
 - ✓ Aceites parafínicos: No aportan mucho al proceso en comparación con los otros tipos, pero tienen mejor efecto para el envejecimiento, la decoloración y la estabilidad al calor; son más eficientes a bajas temperaturas que los aromáticos.
 - ✓ Aceites nafténicos: Son un punto intermedio entre los beneficios de los aceites aromáticos y parafínicos.

h) Ácido esteárico

El ácido esteárico, también conocido como estearina y llamado ácido octadecanoico por la IUPAC, con fórmula química $C_{17}H_{35}CO_2H$; es un ácido graso saturado cuyo nombre proviene de una palabra griega que significa sebo. Es el ácido graso más abundante en la naturaleza luego del ácido palmítico.

Es una materia muy económica debido a su abundancia en la naturaleza; al ser inocuo, lo hace un producto muy atractivo y utilizado en la industria farmacéutica, cosmética, de plásticos, del caucho, entre otras.

Deriva del aceite de palma y del sebo, se obtiene mediante la hidrólisis de diferentes aceites y grasas de vegetales y animales.

El ácido esteárico, y tanto como sus derivados, son utilizados en la formulación para el vulcanizado del caucho; en el cual cumple el rol de agente dispersante, también es un lubricante interno y fundamentalmente se usa como activador de los acelerantes de vulcanización, actúa como un plastificante y además reduce la tendencia de adhesión a los rodillos.

Este ácido graso generalmente se suele combinar con el óxido de zinc para formar un compuesto dispersable en el caucho y que cuando entra en contacto

con el acelerante, lo activa y permite el inicio de la vulcanización; bajo las mismas circunstancias se puede reemplazar al ácido esteárico y óxido de zinc con el estearato de zinc.

i) Óxido de zinc

El óxido de zinc es un compuesto químico que es soluble en agua y ácidos, es de color blanco, es de partícula fina y posee una alta capacidad calorífica. Es el cuarto mineral con mayor exportación en todo el mundo.

El óxido de zinc es el activador inorgánico más importante, que actúa eficientemente con los acelerantes orgánicos; pequeñas cantidades de zinc acompañado con resinas ayudan a controlar el scorch (tiempo que demora el caucho en vulcanizarse), previene la oxidación y facilita el procesamiento del caucho. También es usado como reforzante de propiedades ya mejora la resistencia al calor y la fatiga por compresión, su baja absorción de humedad lo hace idóneo para compuestos de caucho que requieran aislación eléctrica.

Es recomendado para uso en caucho que tengan contacto con la piel y alimentos, debido a su bajo nivel de impurezas. Da un mínimo de opacidad en cauchos translúcidos.

Para el proceso de vulcanización en el caucho, generalmente se utiliza en concentraciones mayores de 95%, siendo más eficiente en concentraciones altas.

j) Caolín

Es un silicato de aluminio hidratado, se da principalmente como producto de la descomposición de rocas feldespáticas. Al hablar de caolín se hace referencia a arcillas donde se tiene gran cantidad del mineral caolinita ($2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), esto debido a que puede presentar muchas impurezas, es de color blanco y posee un brillo terroso mate.

Se caracteriza por presentar inercia con agentes químicos, no tiene olor, es aislante eléctrico, es moldeable y de fácil extrusión; puede resistir altas temperaturas, no es tóxico ni abrasivo y tiene elevada refractariedad y facilidad

de dispersión. Tiene propiedades absorbentes y es de baja viscosidad en altos porcentajes de sólidos.

Se usa mayoritariamente en la fabricación de porcelanas, producción de medicamentos y de papel; en un estado espeso se puede utilizar en la industria del papel, refractarios, cerámica, vidrio, pinturas y plásticos.

En la industria del caucho es usado como pigmento debido al bajo costo que representa y la blancura que posee; también es utilizada para brindar al caucho resistencia a la abrasión y rigidez, además de facilitar el proceso de mezclado.

k) Sílice precipitada

La sílice precipitada o sílice hidratada con fórmula química SiO_2 , tiene la apariencia en forma de polvo, granular o de micro perlas blancas.

Es utilizada en la industria del caucho como material de relleno activo, reemplaza las propiedades de refuerzo del carbono negro o negro de humo, mejora las propiedades mecánicas, la resistencia a la abrasión y propiedades térmicas; además, mejora la resistencia a la tracción, resistencia al desgarrar y la flexibilidad.

En casos especiales se utiliza porque no afecta la translucidez, tiene mayor agarre en superficies húmedas y césped, y presenta resistencia a los aceites.

Aunque su uso fue originalmente para reducir costos de producción, actualmente se prioriza por los beneficios que aporta en la modificación de las propiedades, además de ayudar en los procesos debido a que es fácil de dispersar, manipular y no genera polvos.

2.2.2 Vulcanización del caucho

Es el proceso más común y económico para el tratamiento del caucho, es irreversible y se realiza para crear un material menos pegajoso y de propiedades mecánicas superiores. Se realiza en presencia de azufre, en proporciones reducidas del 1 al 2%; alta temperatura y presión; estas pueden variar según la formulación, cantidad y de las propiedades requeridas, en neumáticos generalmente se trabaja a una temperatura de 170 grados Celsius durante 10 minutos.

Según Quarleri (1955), la vulcanización le permite al caucho conservar su elasticidad aun a bajas temperaturas impidiéndole además volverse pegajoso hasta el límite de los 100 grados.

Debido a la gran variedad de elementos presentes en el compuesto de caucho natural, la vulcanización se entiende como un proceso complejo que aún no puede ser comprendido en su totalidad. Las opiniones se encuentran divididas respecto al mecanismo predominante durante la reacción; algunos proponen que ocurre por efecto de la interacción iónica, otro por reacción radicalaria o podría ser por la combinación de los mecanismos mencionados. La reacción propuesta mediante mecanismos iónicos se da en tres etapas; la primera consiste en reacciones de iniciación, luego por reacciones de propagación y culminando con reacciones de finalización; en cambio, la reacción por radicales libres puede llegar a suceder en diez etapas.

Gonzales Alvar, afirma que las moléculas de azufre se intercalan entre las cadenas de caucho dándoles mejores propiedades. Esto permite que, tras una deformación, el material vulcanizado vuelva a su estado original.

En el año 1839 Charles Goodyear, comerciante en ferretería e inventor procedente de Estados Unidos, descubrió el proceso de vulcanización; se dice que fue accidentalmente, cuando se le derramó la mezcla de caucho, plomo y azufre en una estufa caliente, logrando que el caucho fuera menos pegajoso y más resistente, de esta manera sus estudios y pruebas durante años habían tenido resultado. El nombre de vulcanización se le dio en honor al dios Vulcano de la mitología romana.

En 1844 Goodyear obtuvo la patente del proceso de vulcanización en Estados Unidos; pero Thomas Hancock solicitó en 1843 la patente por el mismo proceso ante el gobierno británico, el cual le fue concedido en 1844. Stephen Moulton, quien fue un agente de Goodyear, declaró que en 1842 había enseñado a Hancock las muestras del caucho vulcanizado estadounidense; pero a pesar de esto y tras varios procesos, en 1855 Moulton perdió el juicio porque los químicos determinaron que no se podía explicar el proceso de vulcanización a partir de exámenes en las muestras. De esta manera Hancock pudo obtener la patente británica.

Los métodos de vulcanización más conocidos y utilizados son:

- a) Vulcanización Estática: Puede darse por transferencia, compresión, inyección o por vapor abierto en una autoclave.
- b) Vulcanización Continua: Se produce mediante vapor abierto (usando tubo), por medio de aire caliente o por baños de sal (LCM).

En algunos casos es conveniente el uso de aire caliente respecto al vapor, esto para evitar humedad en la vulcanización, el desteñido y las manchas acuosas de los productos. Sin embargo, el aire debido a su menor capacidad calorífica, no es muy bueno para transmitir el calor como el vapor; por eso los vulcanizadores de aire se usan cuando se requiere obtener una rápida circulación de aire y evitar zonas muertas en la cámara de vulcanización.

- c) Vulcanización por radiofrecuencia: Se realiza mediante un campo eléctrico de alta frecuencia. En los dos métodos anteriores, el calor es suministrado a la superficie del caucho, y por conducción llega a la parte central; el caucho al ser un mal conductor, presenta problemas al momento de vulcanizar objetos gruesos o de gran tamaño por lo cual requieren de mayor tiempo de vulcanizado y en algunos casos las superficies se vulcanizan demasiado.

En el método por radiofrecuencia, el calor se suministra a toda la masa, ahorrando el tiempo que se demoraba al transmitirlo mediante conducción. El gran inconveniente de este método reside en que los materiales usados como molde no son muy óptimos, por lo cual tiene aplicaciones limitadas.

2.2.3 Reciclaje de neumáticos fuera de utilización

El reciclaje es un proceso mecánico y/o fisicoquímico que se realiza con el objetivo de convertir en materia prima o producto nuevo a una materia o producto utilizado con anterioridad, de tal manera que este pueda ampliar su ciclo de vida útil.

Los procesos que se mencionarán a continuación son utilizados para el reciclaje de llantas o neumáticos fuera de utilización, solo se tomaron en cuenta los procesos que permiten recuperar el caucho y que este sea apto para volverlo a introducir en las formulaciones para la vulcanización del mismo, cabe mencionar que los neumáticos poseen fibras textiles y partes metálicas de acero; por ello al momento de aplicar estos

procesos a las suelas tendrán variaciones en las máquinas utilizadas (como su potencia y otras especificaciones) y algunas actividades que se realizan no serán necesarias.

Los métodos empleados para el reciclaje de caucho son los siguientes:

2.2.3.1 Regeneración

El caucho regenerado de igual manera que el caucho natural es un producto plástico y pegajoso, pero este se obtiene a partir de residuos o desperdicios de caucho vulcanizado utilizando diversos tipos de tratamientos; además este también puede ser manufacturado y vulcanizado utilizando varias formulaciones, similares a las usadas en el procesado de caucho natural.

Si bien la vulcanización es un proceso irreversible, que consta del cambio de estado plástico a elástico del polímero por medio de la sustitución de enlaces dobles en la cadena del caucho por enlaces entre átomos de carbono y azufre actuando como puentes en toda la cadena; por ello la regeneración no podría considerarse un proceso inverso a la vulcanización por no poder eliminar el azufre combinado presente, pero existen procesos mecánicos, térmicos y químicos que permiten desulfurizar el caucho hasta un grado significativo, el cual posee propiedades similares al caucho natural.

Según Rojo (2002) existen diversos procedimientos de regeneración, el más utilizado se realiza en una caldera provista de un agitador, la cual se calienta con vapor por el interior y exterior. En ella se introducen los residuos, agua y agentes adecuados para la regeneración, luego se procede a calentar a 190 °C y sometiendo a agitación durante varias horas. Luego se descarga el material, se deja secar y finalmente se refina en mezcladores.

También se puede mencionar procesos químicos como:

- La desulfuración en la que se emplea metal alcalino; este procedimiento se sustenta en el rompimiento de los enlaces de azufre que unen las moléculas de caucho vulcanizado, este rompimiento se logra por acción del sodio (metal alcalino) cuya presencia genera una reacción exotérmica produciendo sulfuro de sodio. La desulfuración se lleva a cabo en un reactor mezclando caucho

hinchado por un solvente orgánico y el sodio metálico. Luego se procede a purgar el oxígeno con ayuda de nitrógeno, debido a que reacciona con el sodio formando el dióxido de sodio. A continuación, se agrega hidrógeno para alcanzar la presión de 200 psi a efecto de favorecer la reacción de vulcanización. Finalmente se procede a calentar los residuos de caucho, agitando la mezcla a una velocidad de 1600 rpm. La reacción comienza a 125 °C y se debe mantener a temperatura menor a 220 °C para evitar la degradación del polímero.

A su vez existen procesos térmicos que emplean principalmente al calor como fuente de energía para romper los enlaces azufre-carbono y carbono-carbono, se menciona algunos:

- Métodos que se caracterizan por efectuar una sola aplicación de calor directo en una autoclave que contenga residuos finamente triturados. Los regenerados obtenidos por este procedimiento son muy plásticos, dando lugar a vulcanizados de baja calidad. La temperatura en estos procesos varía entre 130 y 200 °C y las presiones de 5 a 13 atmósferas. Se debe controlar la temperatura y evitar recalentamientos locales que puedan provocar la descomposición de la goma, con el peligro consiguiente de un gran aumento de presión. Cuando se considera terminada la operación se deja enfriar la autoclave hasta una temperatura que permita el contacto del regenerado con el aire sin provocar la auto-inflamación.
- Métodos que utilizan vapor húmedo como medio de calefacción. La base de estos procedimientos es la aplicación del vapor de agua con o sin adición de plastificantes. La regeneración consiste en someter los residuos de neumáticos cortados a una temperatura de 250 °C en autoclaves provistas de bandejas, por las cuales se hace pasar vapor saturado o sobrecalentado, entre 5 y 10 atmósferas, hasta conseguir la temperatura indicada. Pasadas 4 o 5 horas se enfría el regenerado para evitar oxidaciones e inflamaciones.

Además, en la actualidad se emplean otros procesos que utilizan otras fuentes de energía u agentes para romper los puentes de azufre. Entre ellos se puede mencionar:

- Desvulcanización por ultrasonido; la patente US 5799880, publicada en 1998; describe el diseño de un aparato que utiliza frecuencias ultrasónicas en el rango de 20,000 a 50,000 Hertz, estas producen la ruptura de los enlaces azufre - carbono que son menos estables que los enlaces carbono - carbono.
- Procesos bioquímicos; se emplea microorganismos para producir la devulcanización a temperatura ambiente.

Como puede apreciarse, existe gran diversidad de procedimientos de regeneración, los cuales han ido evolucionando y combinándose con el transcurrir del tiempo. El procedimiento a elegir depende de las características del caucho a regenerar, de la tecnología disponible y de las propiedades que deseamos que tenga el producto elaborado con el regenerado.

Ventajas

- ✓ El caucho regenerado obtenido tiene varias características muy similares al caucho natural.
- ✓ El precio del caucho regenerado es menor al del caucho natural, por lo que se puede sustituir totalmente o de manera parcial en una mezcla, dependiendo de las especificaciones finales que requiera el producto.

Desventajas

- ✓ Es preferible que no se aplique completamente en una formulación para productos con prestaciones mecánicas elevadas, ya que su resistencia mecánica es menor al caucho natural, provocando inconvenientes.
- ✓ El caucho para reciclar debe de estar en óptimo estado; además de requerir una adecuada y cuidadosa selección, de igual manera las condiciones del proceso deben de ser controladas de manera rigurosa.
- ✓ Para su obtención se requiere profundos conocimientos químicos además de instalaciones sofisticadas y costosas.

2.2.3.2 Trituración criogénica

Este proceso se caracteriza por someter a los neumáticos a una temperatura de -196 grados Celsius en un túnel de ciclo cerrado al vacío, esta temperatura corresponden

al nitrógeno líquido en forma de espuma criogénica, el cual es muy utilizado a lo largo del proceso de ciclo cerrado y aislado al vacío; mediante este método y la baja temperatura provoca que el caucho se vuelva muy frágil y quebradizo anulando su elasticidad y permitiendo que se desintegre o triture con mucha facilidad, logrando separar el caucho de las fibras textiles y el acero.

El método de trituración criogénica requiere de instalaciones muy complejas, el costo de mantenimiento de la maquinaria es elevado, además el proceso es muy complicado por lo que muchas veces se eleva el costo de producción y se requiere de grandes cantidades de nitrógeno, por estas razones el método no es muy atractivo en el factor económico para la implementación de reciclaje de neumáticos. Por otro lado, el producto es de baja calidad comparado con las otras alternativas.

Ventajas

- ✓ La separación de los elementos del neumático y su molienda es fácil, además tiene buenos resultados.
- ✓ Es un método de recuperación de materiales de neumáticos que se realiza de forma no contaminante.
- ✓ Las partículas de reciclado que se obtienen son pequeñas, tienen una superficie suave y poseen menor oxidación superficial.

Desventajas

- ✓ El costo de implementación, producción y mantenimiento de equipos es elevado.
- ✓ El producto tiene una calidad deficiente, además de necesitarse gran cantidad de material para separar el caucho de los demás elementos de los neumáticos que han sido triturados.

2.2.3.3 Trituración mecánica

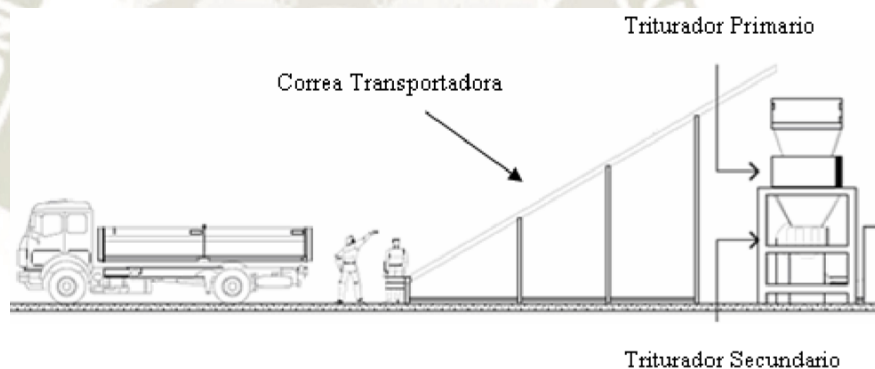
Este método es aplicado para el reciclado de neumáticos fuera de uso (NFU), es un proceso mecánico en el cual no es necesario aplicar agentes químicos, ni tampoco hacer uso de calor; obteniendo componentes de calidad tal como el caucho, el acero y las fibras textiles, que solo varían en su aspecto físico y se obtienen productos

más limpios, libres de impurezas en comparación con los demás procesos; el caucho reciclado que se obtiene es fácil de utilizar como componente en distintos procesos de producción, el acero de igual manera se puede reutilizar y las fibras textiles son usadas como combustible en varias empresas.

Olivares (2016) describe que el proceso inicia con la limpieza del neumático, luego se retiran los aros metálicos de los talones y se corta la llanta en trozos de tamaño procesable para las trituradoras; los trozos obtenidos son sometidos a un proceso de triturado primario en donde se logra reducir el tamaño de los trozos de caucho incluyendo los restos metálicos y las fibras textiles; luego se realiza un segundo triturado llamado secundario, que reduce aún más el tamaño de los compuestos.

En la figura N°3 se muestra las actividades de trituración primaria y secundaria que se realizan para el reciclaje de NFU.

Figura 3: Trituración primaria y secundaria.

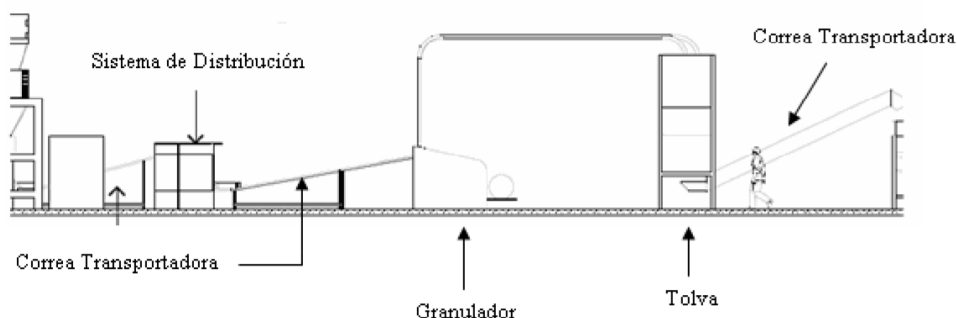


Fuente: Olivares Carmona, D. "Planta de reciclaje de neumáticos de caucho"

Luego de realizadas las etapas de trituración se separan los granos de caucho que están entre 10 a 12 mm, el cual es demandado por ciertos clientes; después con los granos sobrantes se prosigue con la actividad de granulación, que reduce el tamaño hasta 8 mm; continuando con la separación del acero por medio de imanes y cribas; a continuación, se clasifica los granos de caucho y las fibras textiles en una clasificadora.

En la figura N°4 se muestra la granulación y sus actividades precedentes y consecuentes.

Figura 4: Granulación.

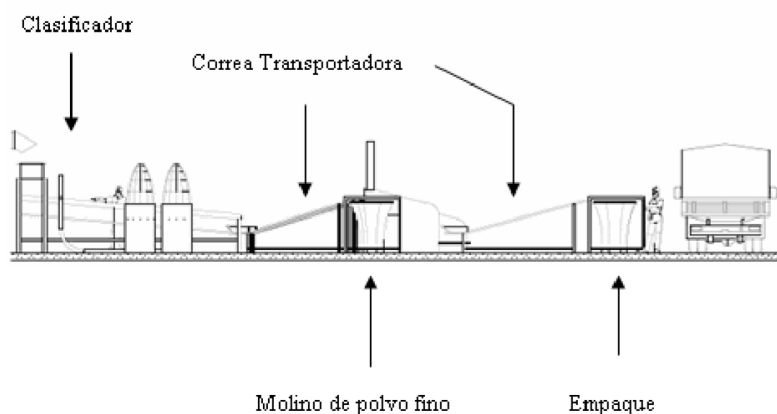


Fuente: Olivares Carmona, D. "Planta de reciclaje de neumáticos de caucho"

Finalmente se separa una parte que es almacenada para la venta y el restantes se envía al molino fino en donde se obtienen tamaños menores de 80 mesh. Cabe mencionar que se obtiene reciclado en diversos tamaños los cuales son separados con ayuda de tamices.

En la figura N°5 se encuentran las actividades de clasificación y molienda fina, siendo estas las actividades finales el proceso.

Figura 5: Clasificación y molienda fina.



Fuente: Olivares Carmona, D. "Planta de reciclaje de neumáticos de caucho"

Este proceso es el más eficiente en la recuperación de los elementos del neumático y es amigable con el medioambiente, es excelente para ser implementado en plantas

de tratamiento de neumáticos fuera de uso; además el costo de inversión y mantenimiento de la maquinaria es bajo en comparación con los otros procesos.

Ventajas

- ✓ Mínima generación de residuos no utilizables o desperdicios, no contamina al medio ambiente.
- ✓ El material reciclado puede ser reutilizado en la producción de gran variedad de productos de caucho de tal manera que se evita su degradación total y puede ampliarse su ciclo de vida o de utilización.
- ✓ Los productos; tal como el granulado de caucho, fibra textil y acero, obtenidos son de alta calidad y libres de impurezas al no estar en contacto con factores químicos.

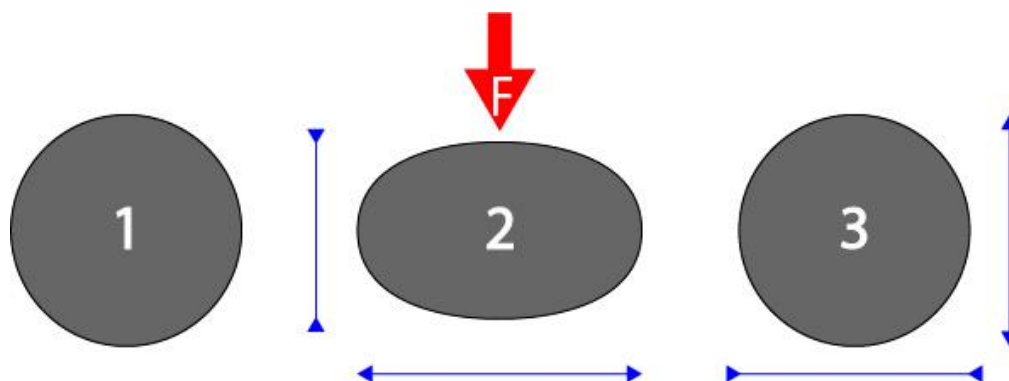
Desventajas

- ✓ El aprovechamiento del producto obtenido aún no se encuentra totalmente desarrollado a pesar de tener un amplio mercado.
- ✓ Existe un costo elevado por la necesidad de un mantenimiento continuo de la maquinaria, debido a la presencia de acero en los neumáticos que desgasta los ejes de las trituradoras; en el caso de las suelas no existe este problema ya que estas están compuestas totalmente de caucho.

Este proceso se basa en el principio de trituración mecánica; que consta en separar parte de la estructura de las moléculas de un elemento sólido por medio de la aplicación de un esfuerzo (fuerza por unidad de área) que sobrepase el límite de fluencia o cedencia (este límite permite la recuperación de gran parte de la deformación elástica); en el caso del caucho, este es muy elástico por lo cual tiende a recuperar su forma luego de retirado el esfuerzo, esto debido a que posee largas cadenas poliméricas.

En la figura N°6 se detalla de manera gráfica como es la recuperación elástica del caucho: primero se tiene el caucho inicial sin ninguna alteración, luego se muestra la deformación temporal del caucho al aplicarle una fuerza (esfuerzo) y por último se puede observar como el caucho retorna a su forma inicial cuando la fuerza aplicada ha sido retirada.

Figura 6: Recuperación de la deformación elástica del caucho.



Fuente: Adaptado de Luna Morocho, P. "Estudio de la aplicación de compuestos obtenidos con residuos de caucho reciclado"

2.2.4 Pruebas de calidad para suelas de caucho

2.2.4.1 Grado de dureza (NTP 300.022-2006)

Esta prueba se expresa según lo especificado en la norma técnica peruana NTP 300.022-2006; la cual es una norma recomendable mas no obligatoria.

a. Objetivo de aplicación

Esta prueba tiene como finalidad identificar la característica del grado de dureza, respecto a la resistencia que presenta la superficie de una probeta de caucho vulcanizado a la penetración intencionada de la aguja de un durómetro al aplicarle una fuerza definida y constante.

b. Principio de la prueba

Consiste en cuantificar la magnitud de penetración de la aguja del durómetro en una probeta y expresar el resultado obtenido como el grado de dureza que posee la muestra.

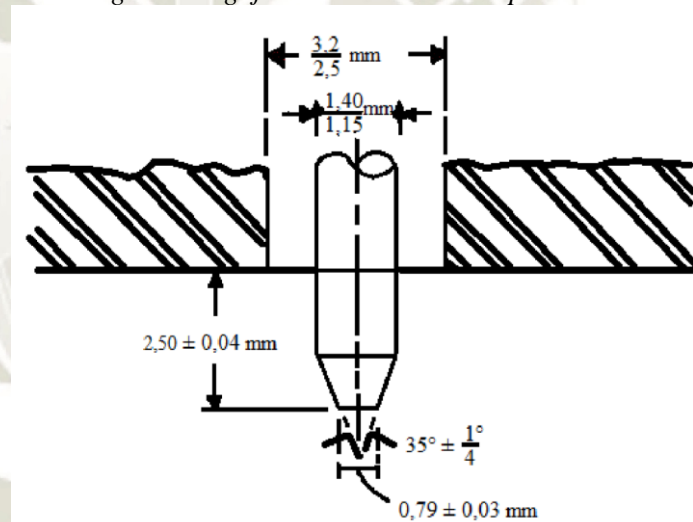
c. Equipos utilizados

Para determinar el grado de dureza del caucho vulcanizado se requiere de los siguientes equipos:

- Durómetro: Se utiliza el durómetro de tipo Shore A, el que está compuesto por: una aguja de penetración elaborada con acero endurecido, con un diámetro de 1.15 a 1.40 mm, la punta se encuentra truncada con un ángulo de referencia de $35^{\circ} \pm 0.25^{\circ}$ y un diámetro de 0.79 ± 0.03 mm. La aguja se sitúa dentro y de manera centrada en una base de presión, la superficie de la base y de la aguja deben de estar separadas mínimo por 6 mm. La aguja sobresale de la base en 2.50 ± 0.04 mm. También posee un resorte para anular cierta cantidad de presión aplicada a la probeta.

La representación gráfica de la aguja del durómetro utilizada para la medición de la dureza Shore A esta en la figura N°7

Figura 7: Aguja del durómetro de tipo Shore A.



Fuente: NTP 300.022

Una escala indicadora para medir la dureza de la probeta sometida a prueba, esta debe de estar graduada de 100 cuando la aguja se encuentre al nivel de la superficie de la base, hasta 0 cuando no se ejerza presión a la aguja.

d. Muestra

Las probetas necesarias para esta prueba se vulcanizan manteniendo las superficies lisas y planas; respecto a sus dimensiones, el espesor mínimo es de

6 mm y el área de la superficie a ensayar debe de ser del tamaño suficiente para realizar 3 perforaciones alejadas mínimo 12 mm de los bordes y 6 mm entre sí.

e. Procedimiento de la prueba

El procedimiento a seguir para una correcta medición del grado de dureza se muestra a continuación:

La probeta debe estar sobre una superficie plana, horizontal y dura; luego se ubica el durómetro encima de la probeta de manera perpendicular; hecho lo anterior se procede a aplicar presión de manera rápida evitando golpear el durómetro y logrando hacer contacto entre la base de presión y la superficie de la probeta sin deformarla; finalmente de manera inmediata se toma la lectura del valor presente en la escala manteniendo la presión.

Esta prueba se realiza a temperatura ambiente, la dureza debe de medirse mínimo 12 mm alejado del borde de la probeta; además deben de tomarse como mínimo 3 lecturas con puntos de presión separados por lo menos 6 mm entre sí. El resultado se obtiene al promediar los valores obtenidos.

2.2.4.2 Resistencia a la abrasión (NTP-ISO 20871-2013)

Esta prueba se expone según lo especificado en la norma técnica peruana NTP-ISO 20871-2013; la cual es una norma recomendable mas no obligatoria.

a. Objetivo de aplicación

Esta prueba se realiza con el fin de conocer la resistencia que presenta la superficie de una probeta de caucho vulcanizado al aplicar una acción mecánica desgastante de forma constante y controlada.

b. Principio del ensayo

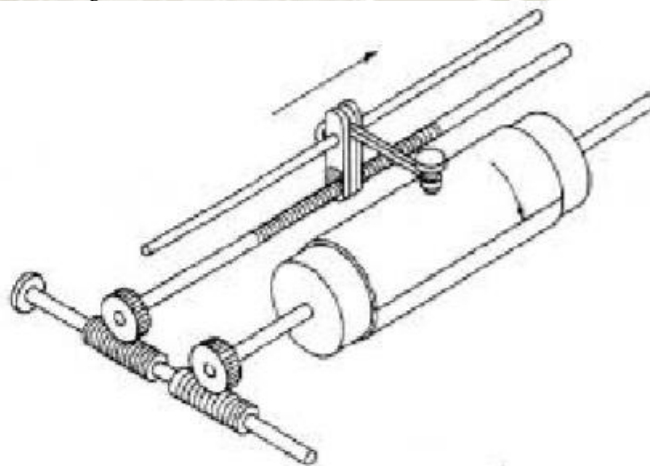
Consiste en colocar una probeta de caucho vulcanizado sobre una tela abrasiva rotativa de granulometría definida, por un tiempo y distancia recorrida controlada; con el fin de provocar desgaste y cuantificar la pérdida relativa de masa y de volumen de la muestra.

c. Equipos utilizados

Para determinar la resistencia a la abrasión del caucho vulcanizado se requiere de los siguientes equipos:

- Abrasímetro: Consta de un portador de probetas con movimiento lateral y un cilindro rotativo con superficie abrasiva (se coloca una tela abrasiva). El portaprobetas debe de permitir sujetar la probeta y evitar que esta se libere, además la probeta debe de sobresalir 2 ± 0.2 mm del portador. El portaprobetas debe estar unido a un brazo basculante que permita moverse de manera lateral 4.20 ± 0.4 mm por cada vuelta del cilindro sin vibraciones. El brazo debe de permitir que se ejerza una fuerza de 10 ± 0.2 N por parte de la probeta respecto al cilindro (esto se puede conseguir añadiendo peso en el brazo o el portador de probetas). En la figura N°8 se observa el movimiento que realiza el cilindro abrasivo y la porta probetas durante el ensayo de muestras.

Figura 8: Movimiento lateral del abrasímetro.



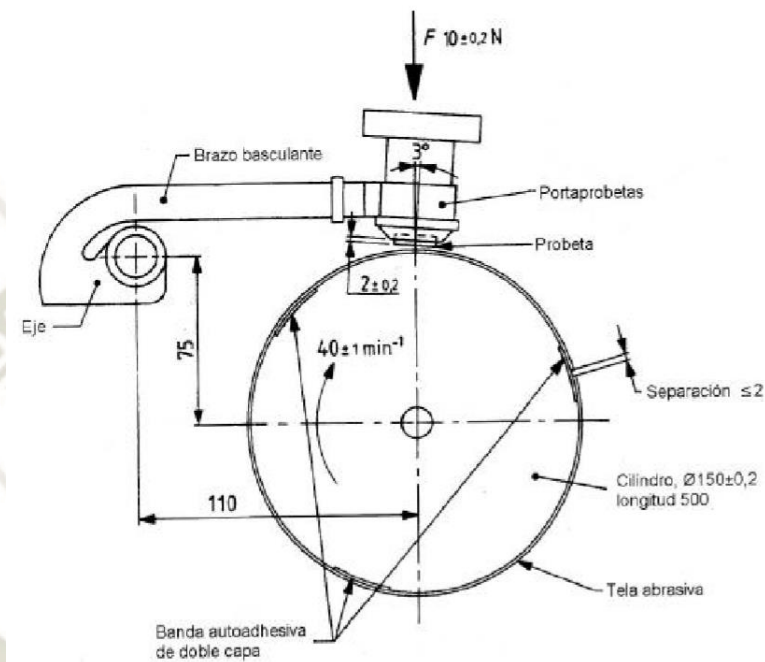
Fuente: NTP-ISO 20871

El cilindro tiene un diámetro de 150 ± 0.2 mm y 500 mm de altura, este debe de girar a una velocidad de 40 RPM. Se utiliza tela abrasiva de óxido de aluminio, con grano 60 y de dimensiones de 400 y 473 mm con un espesor medio de 1 mm.

El desplazamiento de la probeta del recorrido de 40 m (equivalente a 84 revoluciones) se debe de realizar de manera automática, incluyendo el inicio y la parada.

En la figura N°9 se aprecia el esquema y especificaciones del abrasímetro.

Figura 9: Esquema del abrasímetro.



Fuente: NTP-ISO 20871

- Balanza: Se utiliza para cuantificar la pérdida de masa de la probeta; debe de tener una exactitud de ± 1 mg.

d. Muestra

Las probetas necesarias para esta prueba se vulcanizan manteniendo sus superficies lisas y planas, estas deben de tener forma cilíndrica con un radio de $8 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ y un espesor o altura mínimo de 6 mm. Se deben de ensayar tres probetas como mínimo.

e. Procedimiento de ensayo

El procedimiento a seguir para una correcta medición de la resistencia a la abrasión se muestra a continuación:

Primero se obtiene la masa de la probeta aproximándolo al miligramo más cercano; luego se la coloca en el portaprobetas dejando sobresalir 2 mm, se

coloca el brazo en el punto de partida y se aplica la presión de 10 N en la probeta contra el cilindro, se inicia la prueba y se espera a que finalice automáticamente, finalmente se registra la el nuevo peso para realizar el cálculo de la pérdida relativa de masa y de volumen.

Esta prueba se realiza a temperatura ambiente, se toma como mínimo 3 lecturas por cada formulación de caucho propuesta. El resultado final se obtiene al promediar los valores obtenidos.



CAPÍTULO III

3. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

3.1 INFORMACIÓN DE LA EMPRESA

Es una empresa de origen arequipeño que pertenece al rubro del calzado teniendo como actividad económica la producción y comercialización de suelas de goma termoplástica, poliuretano y caucho.

Esta forma parte de un grupo de empresas que de igual manera están relacionadas con el rubro del calzado, comparte las áreas directivas, financieras y administrativas con una empresa que produce calzado de distintos modelos; siendo áreas propias de la empresa las productivas y de compras.

Esta empresa lleva más de 10 años en el negocio de las suelas, su producción está dirigida a clientes nacionales e internacionales, amplía su mercado mediante la realización de ferias para poder exponer sus productos; ofrece suelas con modelos establecidos y de temporada; también por pedidos cumpliendo los requisitos técnicos y modelos especificados por los clientes.

3.1.1 Actividad productiva

La empresa produce suelas de tres materiales distintos, los cuales se tratan en líneas diferentes (goma termoplástica, poliuretano y caucho), teniendo en común o compartiendo el área y procesos de acabado.

También posee un proceso de diseño, el cual tiene el objetivo de producir moldes de aluminio para las tres líneas de suelas; estos moldes no se comercializan solo se producen para dar apoyo y soporte a las líneas productivas, además de que la empresa tiene mayor flexibilidad para decidir los modelos que producirán para la temporada; esta se divide en cuatro áreas especializadas en distintas actividades, estas son: el área de diseño, que se encarga de modelar las suelas en medio digital por medio de un sistema de diseño asistido por computadora (CAD); el área de maquetaría, como su nombre lo indica realiza maquetas en madera MDF (tablero de fibra de densidad media) y neolite, cumpliendo con lo especificado en el diseño; el área de fundición, se encarga de plasmar la maqueta en moldes de aluminio, que son enviadas a la última

área; siendo esta la de matricería, que por medio de procesos metalmecánicos realiza los acabados de diseño según las especificaciones, y la codificación del molde.

3.1.2 Estructura orgánica de la empresa

Al formar parte de un grupo de empresas relacionadas al rubro del calzado, tiene algunas áreas compartidas con otras empresas que conforman el grupo, esto con el objetivo de alcanzar metas conjuntas, facilitar la gestión y tomar decisiones teniendo en cuenta la relación entre las empresas y como podría afectar a las demás; específicamente comparte siete áreas con una empresa que produce calzado, y estas son:

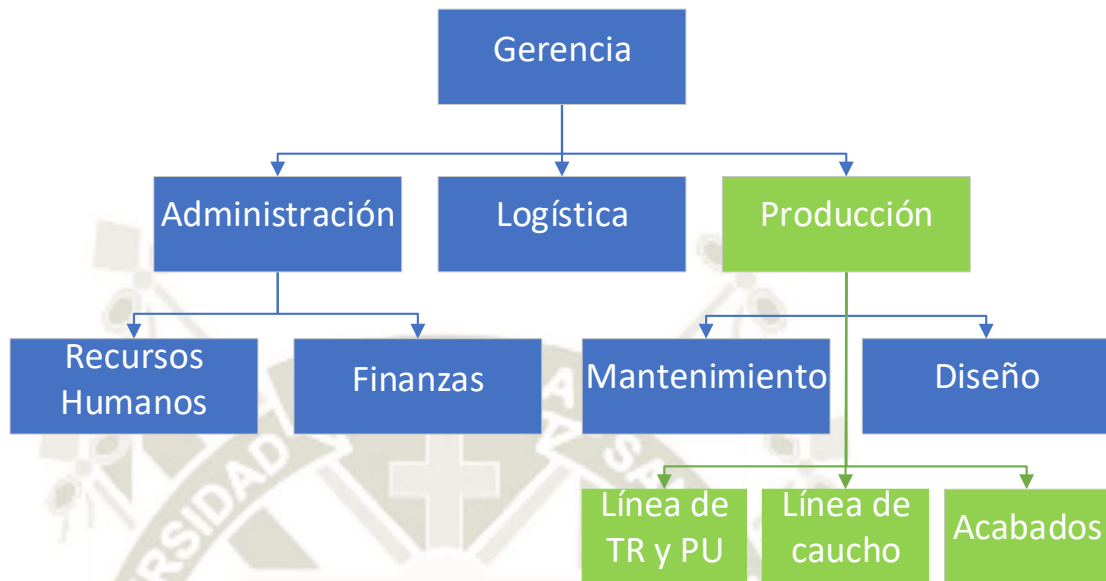
- Gerencia.
- Logística
- Administración.
- Recursos Humanos.
- Finanzas.
- Mantenimiento.
- Diseño.

Además, la empresa de suelas cuenta con áreas propias para tener mayor control sobre sus operaciones y actividades productivas, estas son cuatro:

- Producción
- Línea de TR y PU.
- Línea de caucho.
- Acabados.

En la figura N°10 se observa el organigrama de la empresa, diferenciando en color verde las áreas propias de la empresa productora de suelas y en azul las áreas compartidas.

Figura 10: Organigrama.



Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Productos

La empresa produce y comercializa tres tipos de suelas:

- Suelas de goma termoplástica (TR):

Las suelas de goma termoplástica o TR son las que tiene mayor volumen de pedidos que realizan los clientes.

La goma termoplástica o TR, es un plástico que a altas temperaturas se vuelve muy flexible y maleable, en este punto se aprovecha para otorgarle formas definidas con ayuda de moldes de aluminio.

Estas suelas se caracterizan por ser muy flexibles y ligeras, se suelen desgastar con el tiempo, pero son muy confortables y no transpiran; tienen buena amortiguación y suelen usarse para elaboración de calzado deportivo u ortopédico.

Dentro de las presentaciones de suelas de goma termoplástica o TR que produce la empresa se tiene una gran variedad: por un lado, las de un solo color, y las de dos colores; con o sin cerco; y en distintos modelos dependiendo de la temporada.

En la figura N°11 se muestra un modelo de suelas de TR.

Figura 11: Suela de TR.



Fuente: Elaboración propia

- Suelas de caucho:

Las suelas de caucho son las segundas respecto al nivel de pedidos que realizan los clientes.

Estas suelas son fabricadas a partir del caucho vulcanizado que es un polímero elástico, es una materia vegetal ya que está fabricada a partir del látex procedente de distintas plantas, aunque también puede obtenerse de forma sintética, y aunque es algo pesado las suelas son flexibles, tienen gran durabilidad, resistencia a la fricción y abrasión, haciendo que tengan gran agarre al terreno y resistencia al desgaste. Por eso suelen ser usadas para zapatillas de montaña, botas de trabajo o seguridad, zapatos escolares y tacones en algunos casos.

Dentro de las presentaciones de suelas de caucho que se producen se tienen las de un solo color y las de dos colores, con o sin cerco; y en distintos modelos. El mayor volumen de producción son las suelas de caucho negro sin cerco.

En la figura N°12 se muestra un modelo de suelas de caucho producidas por la empresa.

Figura 12: Suela de caucho.



Fuente: Elaboración propia

- Suelas de Poliuretano (PU):

Las suelas de goma poliuretano o PU son las terceras y últimas respecto al nivel de pedidos que realizan los clientes.

El poliuretano es un material que se obtiene al aplicar un reactivo a la combinación de dos elementos: polioliol e isocianato; con acción del calor.

Son suelas especialmente cómodas, por sus características de flexibilidad, amortiguación de la pisada, capacidad antideslizante, ligereza y aislamiento.

Estas suelas se usan para elaborar calzado de seguridad, calzado deportivo y calzado de dama que tienen plataforma o tacones altos.

Estas suelas se comercializan en un solo color, el cual es el negro, pero se producen en distintos modelos y tipos; además, eventualmente en esta línea se producen plantillas de color anaranjado (con superficie de tela de diversos colores) que sirven de provisión a la empresa de calzado; para realizarlas se utilizan concentraciones diferentes de polioliol, isocianato y del reactivo, con el fin de disminuir su dureza y sean cómodas.

En la figura N°13 se muestra un modelo de suelas de PU.

Figura 13: Suela de PU.



Fuente: Elaboración propia

3.2 PROCESOS PRODUCTIVOS

3.2.1 Línea de TR

En este proceso se realizan suelas de distintos colores y diferentes modelos dentro de los cuales se pueden producir suelas de color completo o de dos colores; con cerco o

sin él; pero en todos los casos las actividades en general son iguales, teniendo algunas variaciones en las actividades de acabado.

Dentro de las actividades que se realizan, se tiene:

1) Preparación de materias primas

En la preparación se utilizan dos materias primas principales: Primero se tienen pellets de TR, los que son comprados directamente a un proveedor, estos pellets son de color blanco y tienen forma esférica. La otra materia prima es TR reciclado, el cual se obtiene del triturado de suelas de TR que tuvieron fallas de calidad y de los sobrantes que quedaron en el molde de aluminio en el proceso de inyectado (siempre se tiene estos residuos en el molde porque el proceso así lo implica); el TR reciclado es triturado hasta obtener un tamaño aproximado al de los pellets de TR; el TR que se usará para reciclar depende del color de las suelas que se desea producir, ya que estos deben de ser iguales; no se tiene ningún inconveniente en utilizar TR reciclado con el TR nuevo debido a que sus características son muy similares.

En la preparación se procede a pesar el TR nuevo y el reciclado según la formulación que se requiera, generalmente en proporciones iguales (50% cada uno); además, se utilizan pigmentos o colorantes según se requiera. Los pigmentos son sustancias inorgánicas sólidas inmiscibles y los colorantes son orgánicos y relativamente compatibles con los polímeros, la principal diferencia se percibe en que los colorantes proporcionan al TR colores más brillantes y pueden ser traslúcidos; los pigmentos son los más utilizados debido a que los colorantes pueden presentar problemas con el TR al mezclarse causado por su baja compatibilidad con los polímeros. Dentro de los pigmentos para colores marrones se utilizan óxidos de hierro, cromato de plomo para el amarillo y de zinc para el color verde, entre otros; por lo general se realizan combinaciones de estos para obtener otros colores. En el caso de los colorantes se utiliza la ftalocianina para diversos tonos azules, la rodamina para rojos, la quinacridona para magenta y violeta, entre otros.

Para el pesado de todas las materias mencionadas anteriormente, se siguen los pesos especificados en la formulación dependiendo del color que se desea producir.

2) Mezclado

Luego de la preparación de la materia prima, se procede a mezclar todos los componentes; para ello se utiliza el mezclado extensivo o también llamado “blending”; que consiste en mezclar todos los componentes de la formulación por medio de la agitación, siguiendo el principio de que estos podrían separarse, aunque en la práctica esto sería complicado.

Para este proceso se utiliza una mezcladora circular con parada automática, la cual está equipada con aspas que giran de forma constante y graduada, estas facilitan la distribución de los componentes durante el proceso de mezclado; además, se aplica calor durante el mezclado para ayudar con la adherencia de los pigmentos al TR.

En el mezclador se añaden los pigmentos, pellets de TR y el reciclado de TR; luego se procede a cerrar el mezclador para evitar que el contenido salga del equipo, se inicia con el mezclado y este se para automáticamente luego de transcurrido el tiempo programado de procesamiento; luego se procede a retirar el TR en gránulos coloreado, se transporta y almacena en el área de inyectado para su uso, el almacenamiento se hace en distintos contenedores separados según el color del TR.

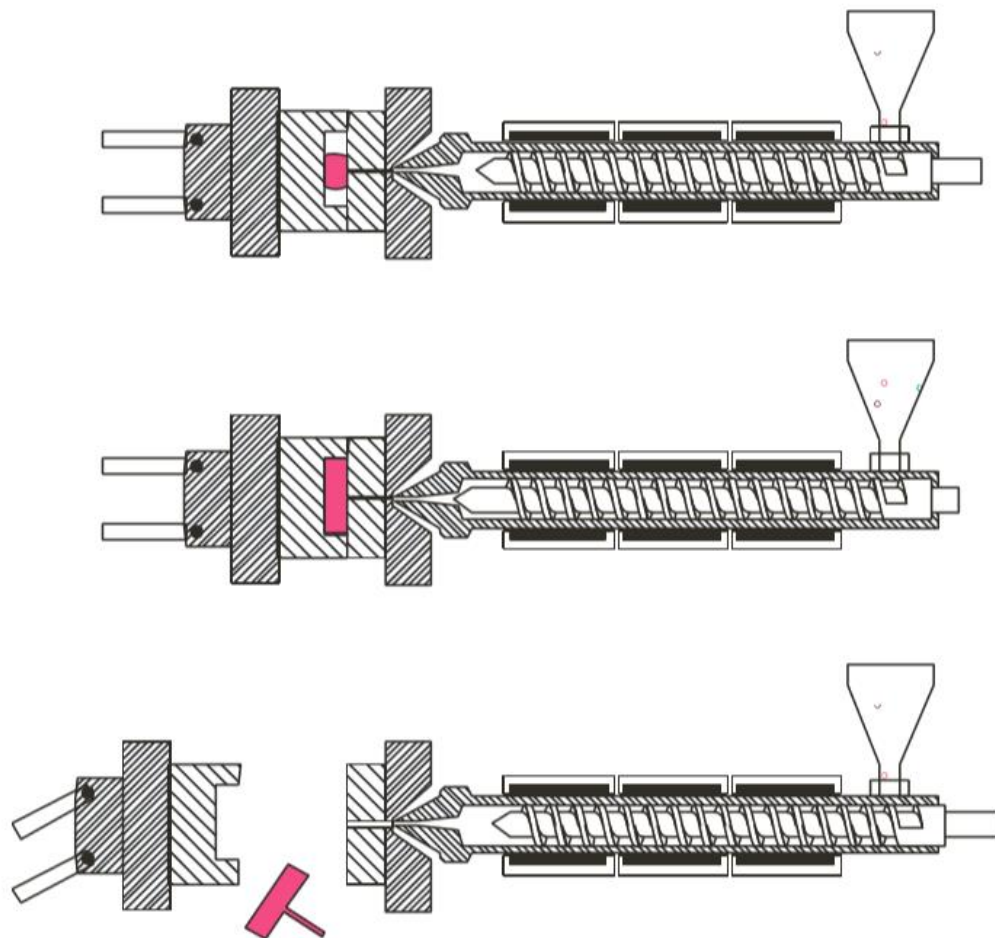
3) Inyectado

Este proceso se realiza con el fin de obtener suelas, utilizando equipos que calientan el TR coloreado a temperaturas que permitan el cambio de estado hasta el punto de fusión del polímero, para luego poder inyectarlo por medio de presión en moldes de aluminio que contienen la forma y medida de la suela que se desea producir.

Los equipos que se utilizan se llaman inyectoras, en este caso se utiliza la inyectora de husillo la que se caracteriza por realizar un calentamiento del polímero de manera uniforme y con un mezclado homogéneo, estas máquinas son las más utilizadas en la inyección de polímeros debido a su eficiencia. Esta inyectora está equipada de un husillo o tornillo sin fin con movimiento axial dentro de un cilindro, el cual en un extremo tiene una tolva de alimentación en donde se vierte

el TR granulado y en el otro una tobera en donde se realiza la inyección del TR fundido hacia el molde. El calentamiento del polímero se produce en parte producto del calor generado en la fricción provocada por la rotación del tornillo y por el calor transmitido por las paredes calientes del cilindro que ayudan a distribuir el calor de mejor manera. Para que pueda darse la inyección el tornillo retrocede hacia la tolva de alimentación en donde acumula el TR y lo envía hacia tobera conforme va girando, a su vez va fundiendo el polímero; cuando se tiene la cantidad necesaria de material fundido en la parte delantera (en dirección hacia la tobera), el tornillo se mueve hacia la tobera para inyectarlo por medio de presión; una vez terminada la inyección el tornillo retrocede y vuelve a seguir el mismo ciclo. En la figura N°14 se aprecia los movimientos que realiza la inyectora para verter el TR fundido dentro del molde de aluminio.

Figura 14: Secuencia de movimiento de máquina inyectora.



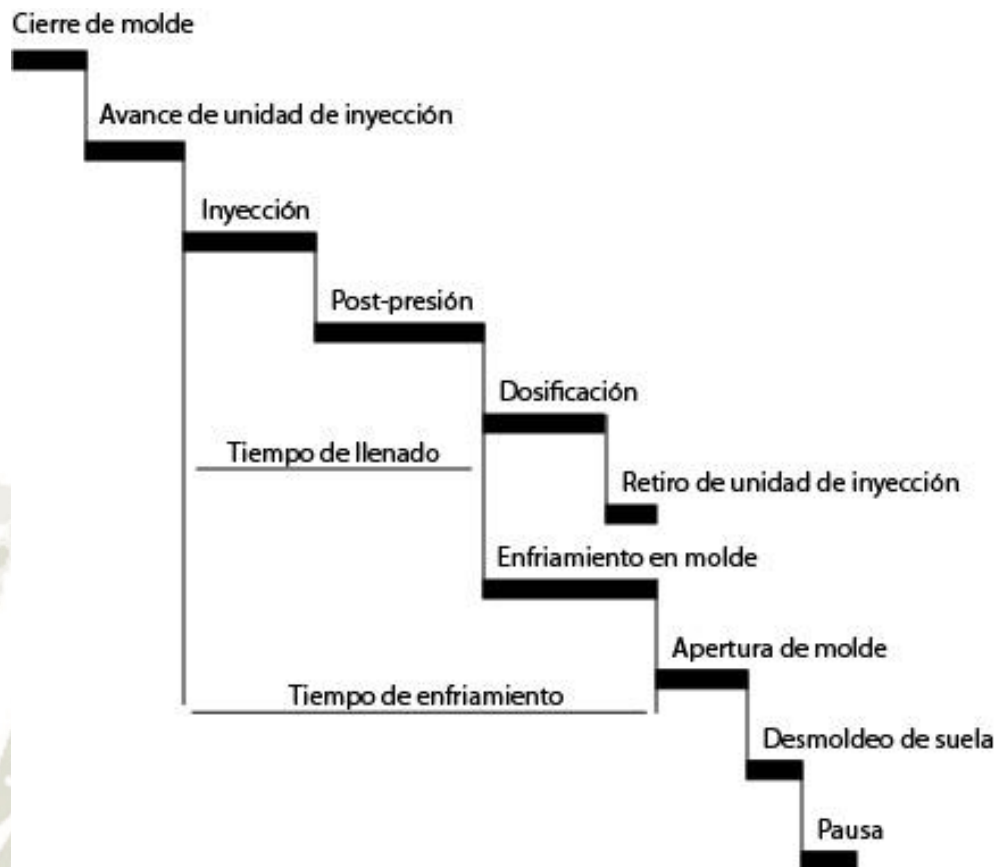
Fuente: Beltrán, M. y Marcilla, A. "Tecnología de polímeros"

El ciclo de inyección de acuerdo a los movimientos que realiza la máquina, es el siguiente:

- a) Cierre de molde: Se aplica presión para evitar el derrame del polímero.
- b) Avance de unidad de inyección: La unidad de inyección avanza hasta la boquilla del molde.
- c) Inyección: El husillo avanza inyectando el TR fundido.
- d) Post-presión: Se mantiene la presión en el molde para inyectar una pequeña cantidad de polímero fundido, esto se realiza debido a que, al entrar en contacto con las paredes frías del molde el TR se contrae y la suela moldeada disminuye su tamaño, por eso se continúa inyectando pequeñas cantidades hasta que el material de la suela se encuentre estable, ocupando el tamaño total del molde y el TR empieza a solidificar.
- e) Dosificación y retiro de unidad de inyección: Cuando en material que se encuentra en la boquilla del molde solidifica, la unidad de inyección retrocede y el husillo gira para captar el TR granulado para llevarlo hacia la tobera mientras se va fundiendo. Esta etapa es simultánea a las con las cuatro últimas (f, g, h y i).
- f) Enfriamiento: El enfriamiento ocurre cuando se retira la unidad de inyección hasta abrir el molde. El enfriamiento en el molde se realiza hasta que el polímero haya solidificado, por lo cual al retirarlo del molde aún mantiene una temperatura elevada pero no corre peligro de perder la forma.
- g) Apertura de molde: Se abre el molde para retirar las suelas.
- h) Extracción de suela: Se retiran las suelas y se colocan en un espacio cercano al área de trabajo para que enfríen.
- i) Pausa o trabajo con molde abierto: Se colocan elementos que debe de contener la suela, por ejemplo: cerco, etiqueta de marca, etc. Además de colocar insumos que ayuden en el proceso de inyectado como: desmoldante, entre otros.

En la figura N°15 se detalla de manera gráfica el ciclo de trabajo general que se realiza en la inyectora.

Figura 15: Ciclo de trabajo de la inyectora.



Fuente: Adaptado de CCA/ASTIN (SENA). "Informador técnico, No.52"

Entonces, el proceso que se realiza empieza con el operario realizando la alimentación del TR granulado en la inyectora dependiendo del color o colores que requiera la suela que se producirá; la cantidad vertida por el operario es la suficiente para producir varias decenas de suelas; cabe resaltar que la producción se realiza por lotes; por ende, la inyectora trabajará con los mismos colores de TR y tipos de molde hasta que se termine de producir las suelas requeridas. Luego el operario con el molde abierto aplica líquido desmoldante en la superficie para facilitar el retirado de la suela en actividades posteriores; además, coloca las etiquetas de las suelas en la parte de la base, y cercos (si son necesarios) que fueron previamente cortados a medida y seleccionados según los colores especificados para el modelo; luego cierra el molde e inicia la operación de la máquina. Una vez la máquina ha terminado, las suelas son retiradas y puestas a enfriar cerca al área de trabajo para luego retirar y cortar los excedentes o rebabas que esta pudiera

tener; también se retira del molde el TR que se encuentra solidificado en el recorrido de la boquilla del molde hasta la suela (conocido como canales de alimentación), este se almacena para poder ser reciclado y utilizado en la etapa de preparación de materia prima.

4) Acabados

Este proceso puede variar dependiendo del modelo que se produce; puede haber modelos con cerco o sin él, modelos que son pintados en los laterales y talón de un color o de dos colores, suelas que son pintadas con un efecto degradado o desgastado, talones pintados con líneas, suelas pintadas con pintura neutra, entre otros; por ello se mencionará este proceso de manera general.

Lo primero en realizar es el cortado de rebabas que pudieran tener las suelas provenientes del proceso de inyectado; luego se pegan los cercos (en caso se tengan) entre sí (donde se unen); debido a que la inyectora no lo realiza, solo los une a la suela; luego se dejan secando en rumas y son llevadas a las pulidoras, en donde con ayuda de distintas escobillas o lijas se puede alisar la superficie de los laterales, se puede desgastarlo para darle efecto, se corrigen imperfecciones que puedan tener, entre otros, según se requiera.

Luego son llevadas al área de pintado, donde se utilizan pulverizadores o atomizadores de pintura en cabinas de extracción, para pintar lo laterales y el tacón de las suelas, si se requiere pintar una zona y proteger otra de la pintura, se hace uso de máscaras metálicas, generalmente se utilizan cuando se desea proteger el cerco o cuando se pinta una suela de dos colores, se dejan secar y se repite el proceso de ser necesario. Existen modelos que tienen líneas en el tacón, estos se realizan luego del último secado de la pintura base, en una máquina especial provista de hilos metálicos extendidos que se mueven por medio de un motor y están cubiertos de pintura, estos son los encargados de realizar las líneas; se tiene otros modelos que se caracterizan por tener un efecto desgastado, para realizarlo son pulidos nuevamente, con escobillas especiales dependiendo del tipo de efecto que el modelo posea.

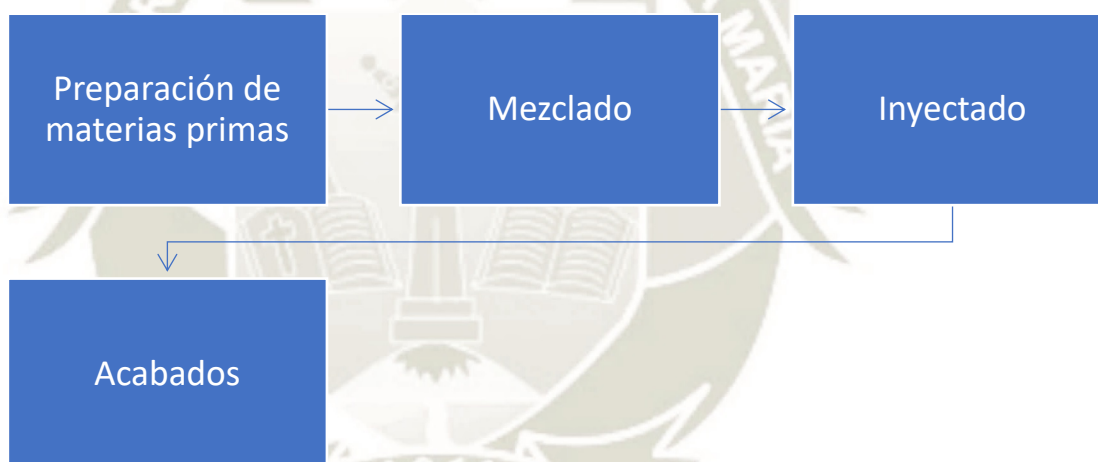
Luego las suelas son llevadas a un área donde se realiza el acabado manual, este acabado consiste en realizar pintado con mayor precisión utilizando pinceles y

demás instrumentos manuales, estos acabados pueden ser: el pintado de figuras en la planta de las suelas, pintado de detalles en los laterales y tacón, pintado de efectos en superficie, entre otros; y también se corrigen los errores que se hayan podido cometer en el pintado anterior.

Luego de los procesos mencionados se realiza una inspección final de calidad, para poder clasificar y retirar las suelas que presenten fallas y puedan ser reprocesadas; luego finalmente se juntan las suelas en pares, se empaquetan y son llevadas al área de despacho para ser distribuidas a los clientes.

La figura N°16 muestra el diagrama de bloques del proceso en la línea de TR.

Figura 16: Diagrama de bloques del proceso productivo de suelas de TR.



Fuente: Elaboración propia

El diagrama N°1 corresponde a la producción de un par de suelas, este diagrama se realizó para el tipo y modelo de suela que requiere de todos los procesos de la línea.

Diagrama 1: Diagrama de análisis del proceso de producción de suelas de goma termoplástica

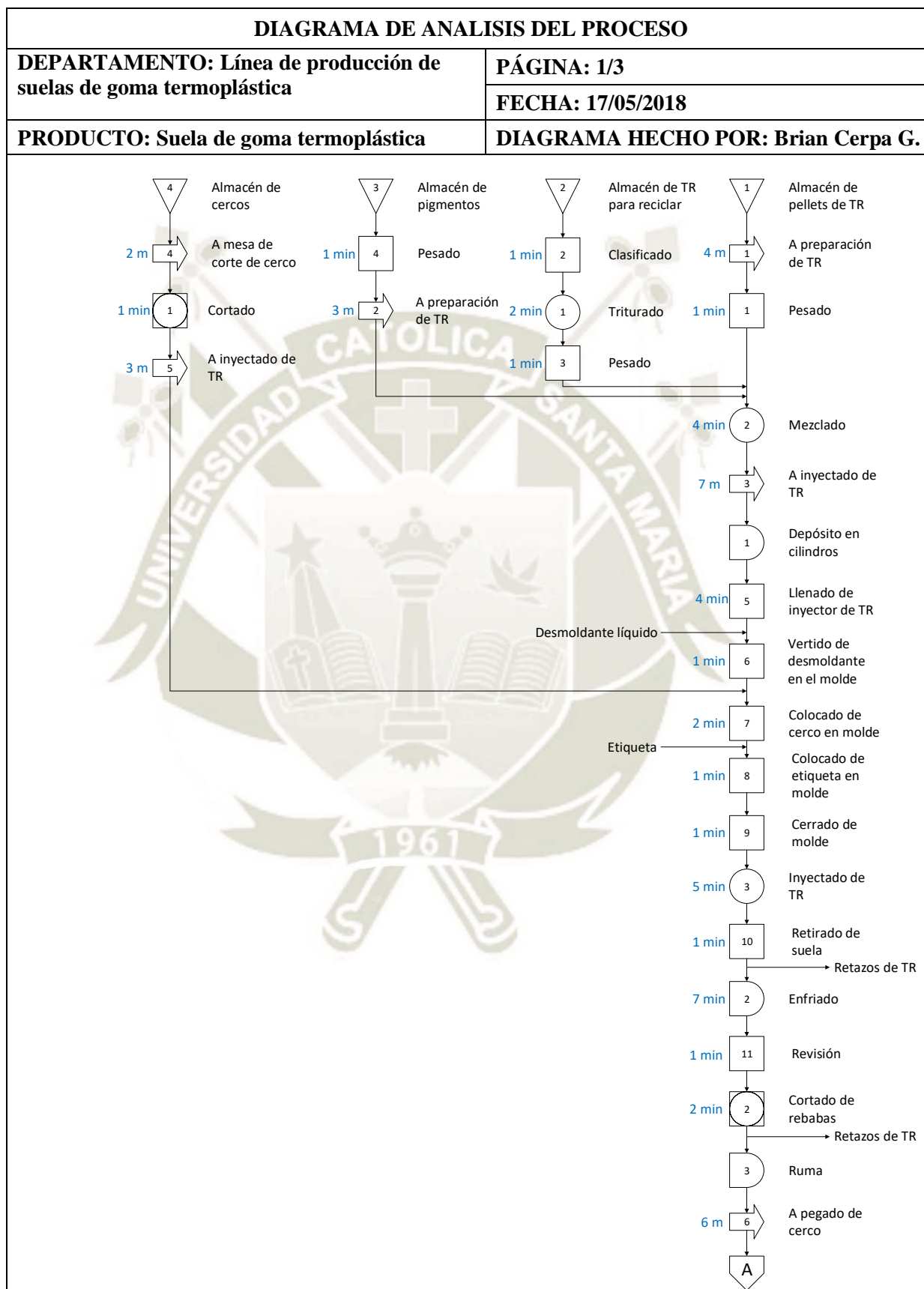


DIAGRAMA DE ANALISIS DEL PROCESO

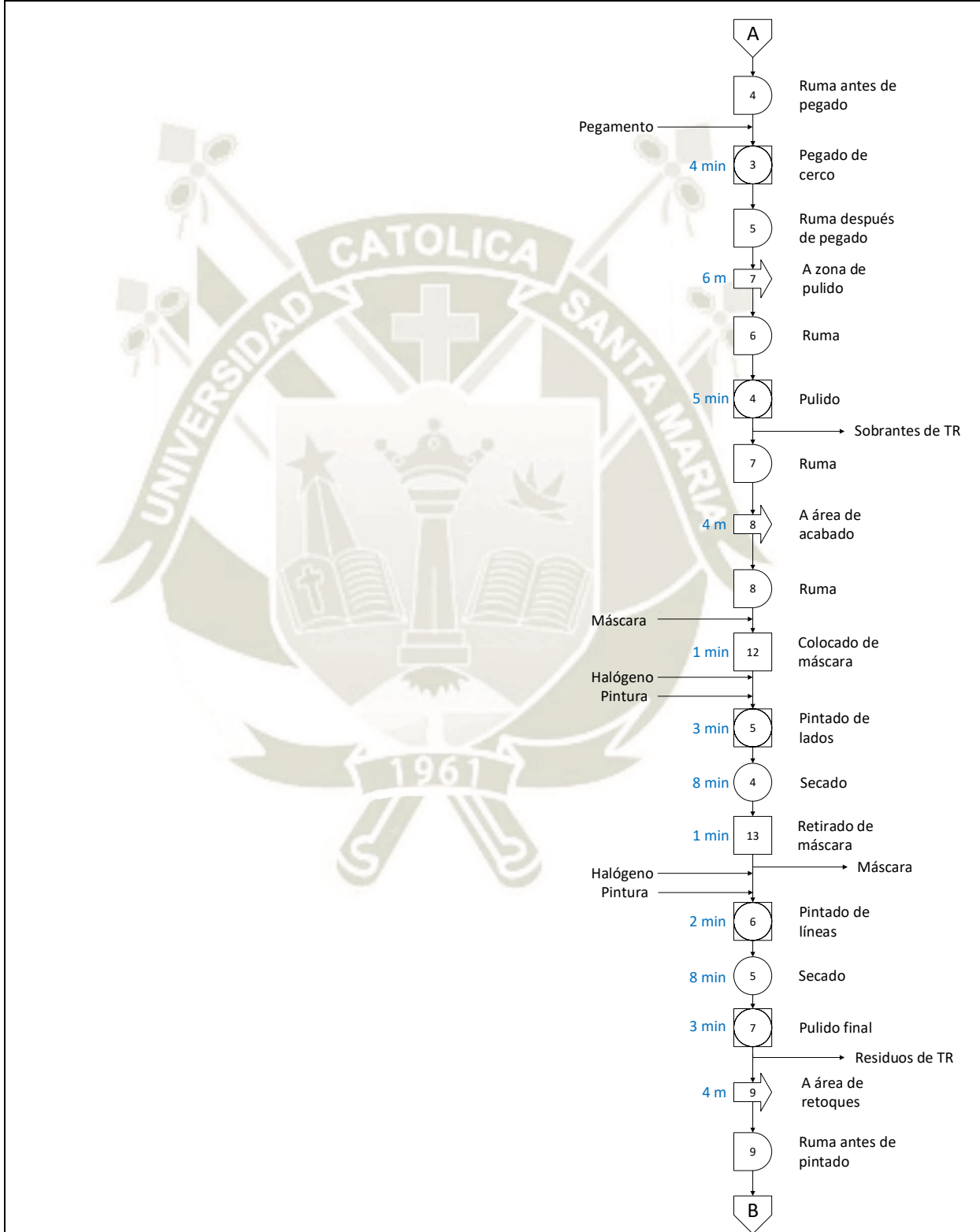
DEPARTAMENTO: Línea de producción de
suelas de goma termoplástica

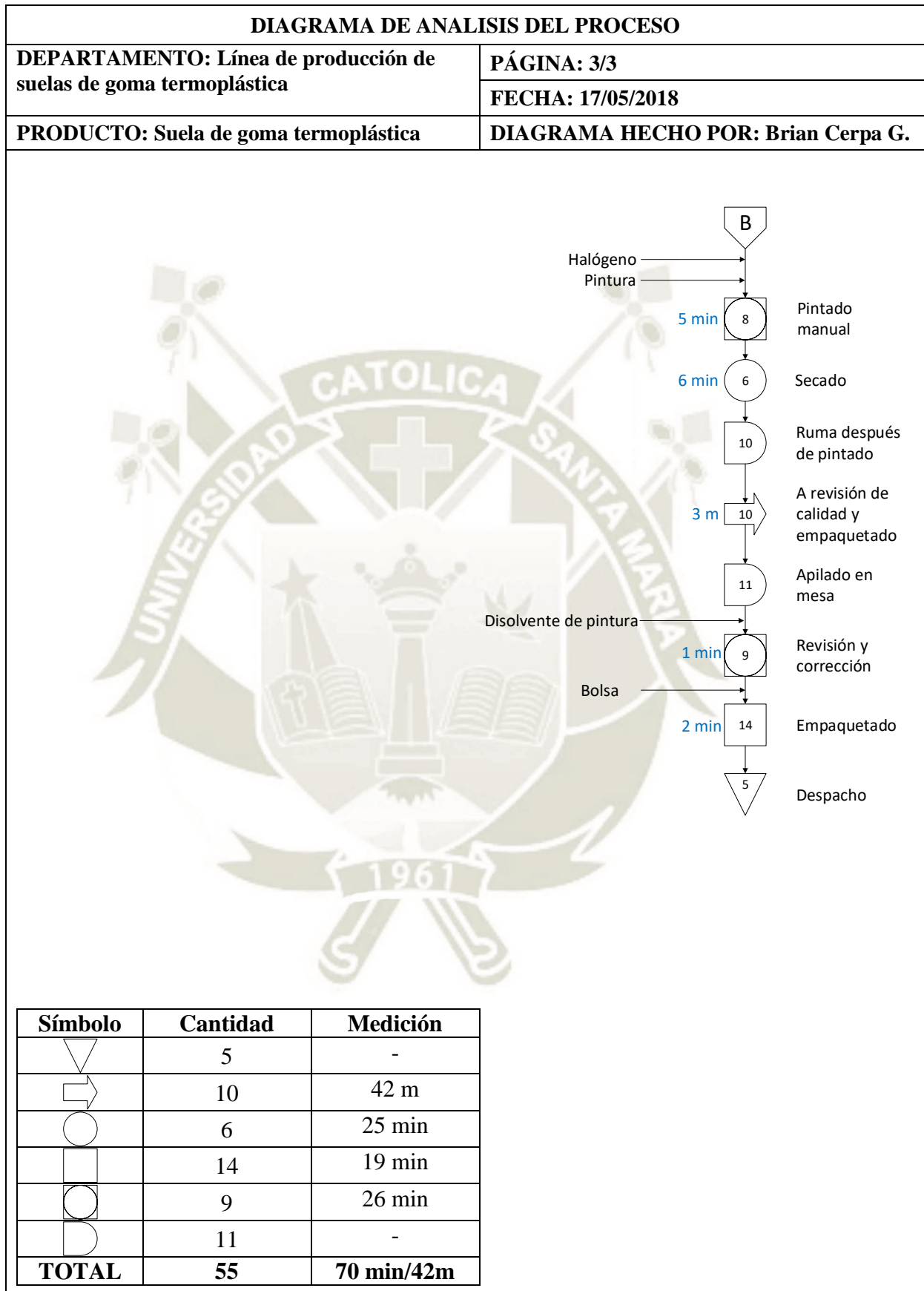
PÁGINA: 2/3

FECHA: 17/05/2018

PRODUCTO: Suela de goma termoplástica

DIAGRAMA HECHO POR: Brian Cerpa G.





Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Línea de PU

En este proceso se realizan solo suelas de color negro, pero en diferentes modelos; es por ello que se siguen las mismas actividades, no como en el caso de la línea de TR.

Dentro de las actividades que se realizan, se tiene:

1) Mezclado

Las suelas de PU están compuestas mayoritariamente por tres materias primas: el polioliol, el isocianato y un reactivo que provoca la iniciación de reacciones químicas entre los dos compuestos; además se utiliza pigmento, pero en muy pequeñas proporciones.

En este proceso se colocan las materias primas en un cilindro según proporciones especificadas en la formulación y son mezcladas con ayuda de un agitador industrial de columna, de tal manera que se obtenga una mezcla homogénea.

2) Horneado activador

Luego de mezclar los compuestos, se tapa el cilindro y se realizan perforaciones en la parte superior para evitar que el cilindro explote durante el horneado. El cilindro es puesto en el horno y es calentado a temperatura constante durante un intervalo de veinte a veinticuatro horas dependiendo de la formulación.

Durante el horneado se producen reacciones químicas que crean enlaces entre los compuestos dando lugar a la polimerización, además de desprender gases. Finalmente se obtiene la polimerización del poliuretano que tiene un aspecto cremoso.

3) Inyectado de poliuretano

Luego de calentada la mezcla en el horno, esta se usa para recargar el inyector de PU, el cual se caracteriza por usar pistones que ejercen presión para poder inyectar el polímero en los moldes. El modo de procesamiento de este equipo es diferente que la inyectora de TR, la diferencia radica que la inyectora de PU no ejerce presión en el molde sino que la ejerce para expulsar el polímero y poder verterlo en el molde (en cantidades programadas anticipadamente) el cual es cerrado para evitar que el producto se derrame, y es calentado para que el poliuretano se expanda y tome la forma de la suela, luego pasado un tiempo se deja de aplicar calor y se procede al enfriamiento con el molde cerrado, esto para evitar que la suela se deforme, pasado un tiempo prudente en donde la suela no corra el peligro

de deformarse se abre el molde y se retira la suela para que esta continúe con el enfriado. Además, cada cierto tiempo se debe de realizar una purga del material presente en la boquilla de la inyectora, ya que durante el enfriado del PU este material va perdiendo sus características y no puede ser utilizado para producir suelas. También cabe destacar que antes de comenzar con la producción de suelas se realiza una prueba de calidad a la mezcla horneada y puesta en la inyectora, para corroborar que esta se encuentra dentro de los límites de control; esta se realiza con un indentador que aplica presión en una probeta de PU durante 45 minutos, pasado este tiempo se mide la distancia que penetró el indentador en la probeta y se determina si el polímero cumple con las especificaciones.

Las actividades que realiza el operario durante la etapa de inyectado, empiezan con el vertido de líquido desmoldante en los moldes para facilitar el retirado de las suelas, luego el operario vierte el PU dentro de los moldes con ayuda de la inyectora (este proceso es manual), seguidamente el operario debe de cerrar los moldes y esperar a que la máquina termine de operar, una vez concluido se retiran las suelas de los moldes y se ponen a enfriar; de esta manera obteniendo las suelas de poliuretano.

4) Refilado

Las suelas obtenidas luego del proceso de inyectado presentan rebabas en los laterales debido a la expansión excesiva del poliuretano dentro del molde, para subsanar esto se requiere del proceso de refileado.

En este proceso se utiliza un equipo llamado refileadora o rebarbadora, el cual requiere de la operación de una persona, este equipo consta de dos cuchillas giratorias ubicados en ejes paralelos y muy cercanos entre sí, de tal manera que permitan el cortado de las rebabas de las suelas.

El operario solo debe de colocar las rebabas de los laterales entre las cuchillas de la refileadora; y luego moverlo por toda la superficie de esta, hasta retirar todo el material sobrante.

5) Lavado

En la superficie de las suelas de poliuretano se tiene presencia de sustancias grasosas, las cuales provienen en gran parte del líquido desmoldante y en menor

cantidad fueron adquiridas durante el proceso. Estas deben de ser eliminadas ya que no son necesarias y dificultan el proceso de pintado o resanado.

Para quitar las sustancias grasosas se utiliza una lavadora especial donde se hace entrar en contacto las suelas con vapor o gases de percloroetileno; este no debe de ser muy prolongado ya que podría causar deformaciones en la suela, y mucho menos se debe de tener contacto directo con el percloroetileno líquido, porque la desintegraría debido a la alta concentración.

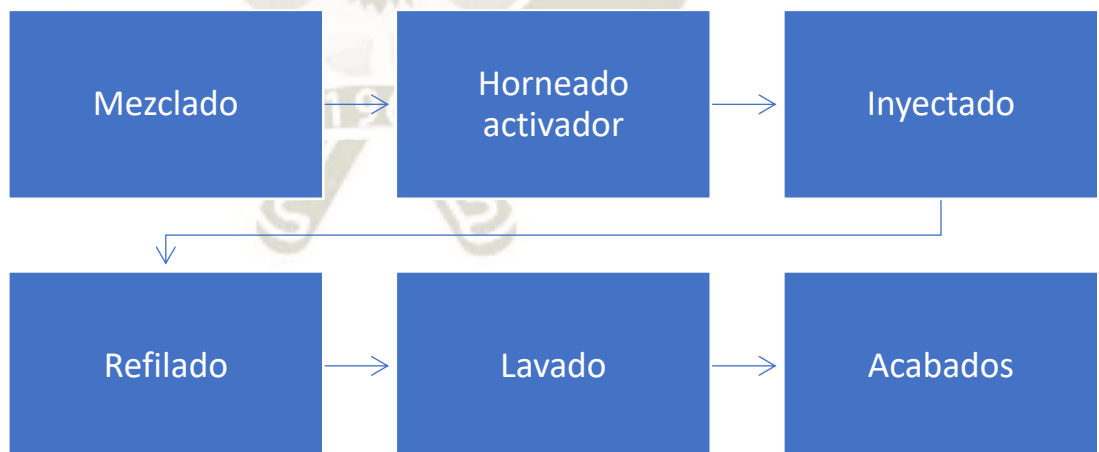
6) Acabados

Las suelas de poliuretano no pasan por muchas actividades de acabado en comparación con las otras líneas de producción, las únicas actividades que se realizan son: resanar agujeros si los tuvieran y se les da una capa de pintura si el modelo lo requiere.

Luego de realizados los procesos mencionados anteriormente, se realiza una inspección final de calidad, para poder clasificar y retirar las suelas que presentan fallas y puedan ser resanadas; finalmente se empaquetan en pares y son llevadas al área de despacho para ser distribuidas a los clientes.

La figura N°17 muestra el diagrama de bloques del proceso en la línea de PU

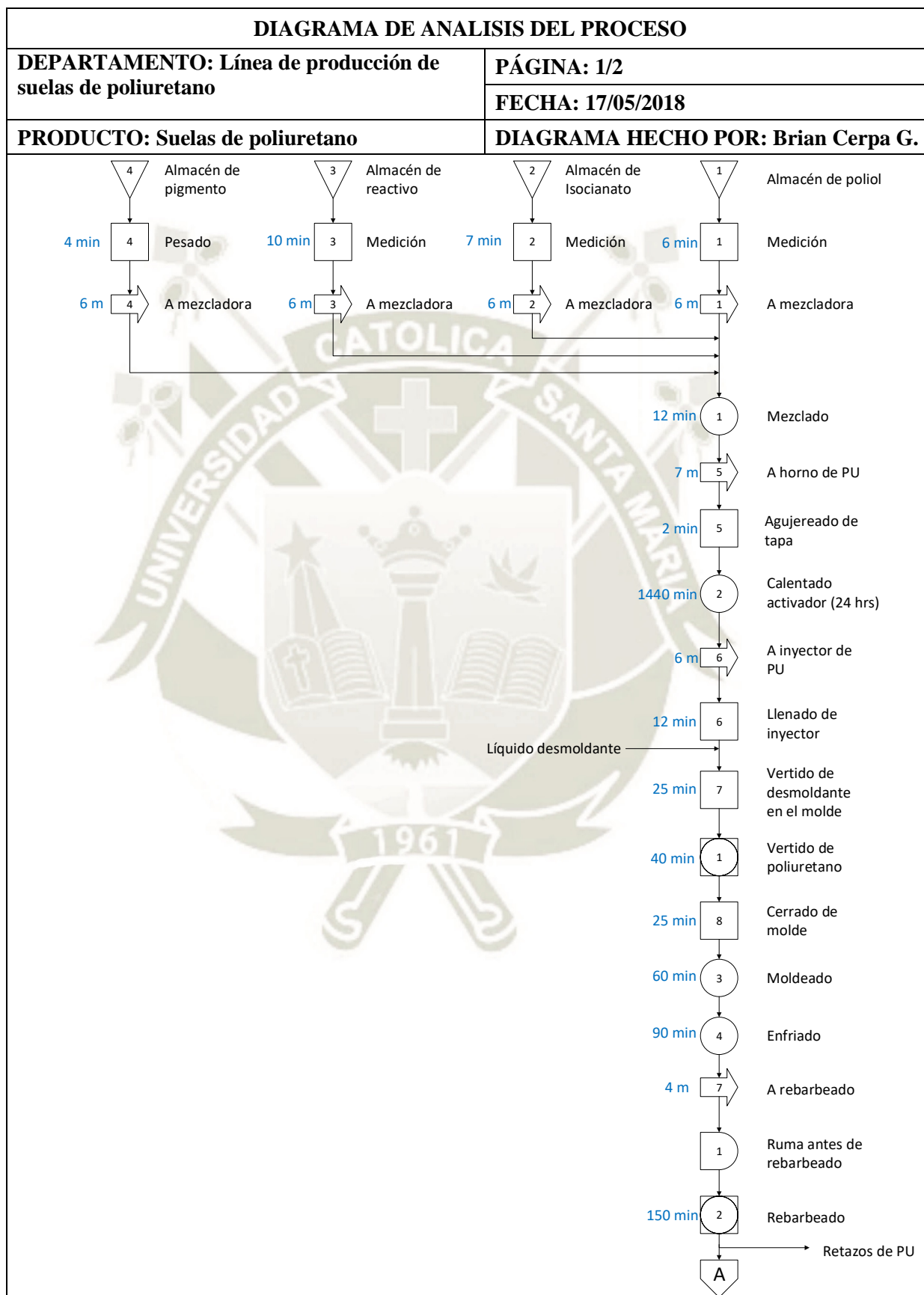
Figura 17: Diagrama de bloques del proceso productivo de suelas de PU.

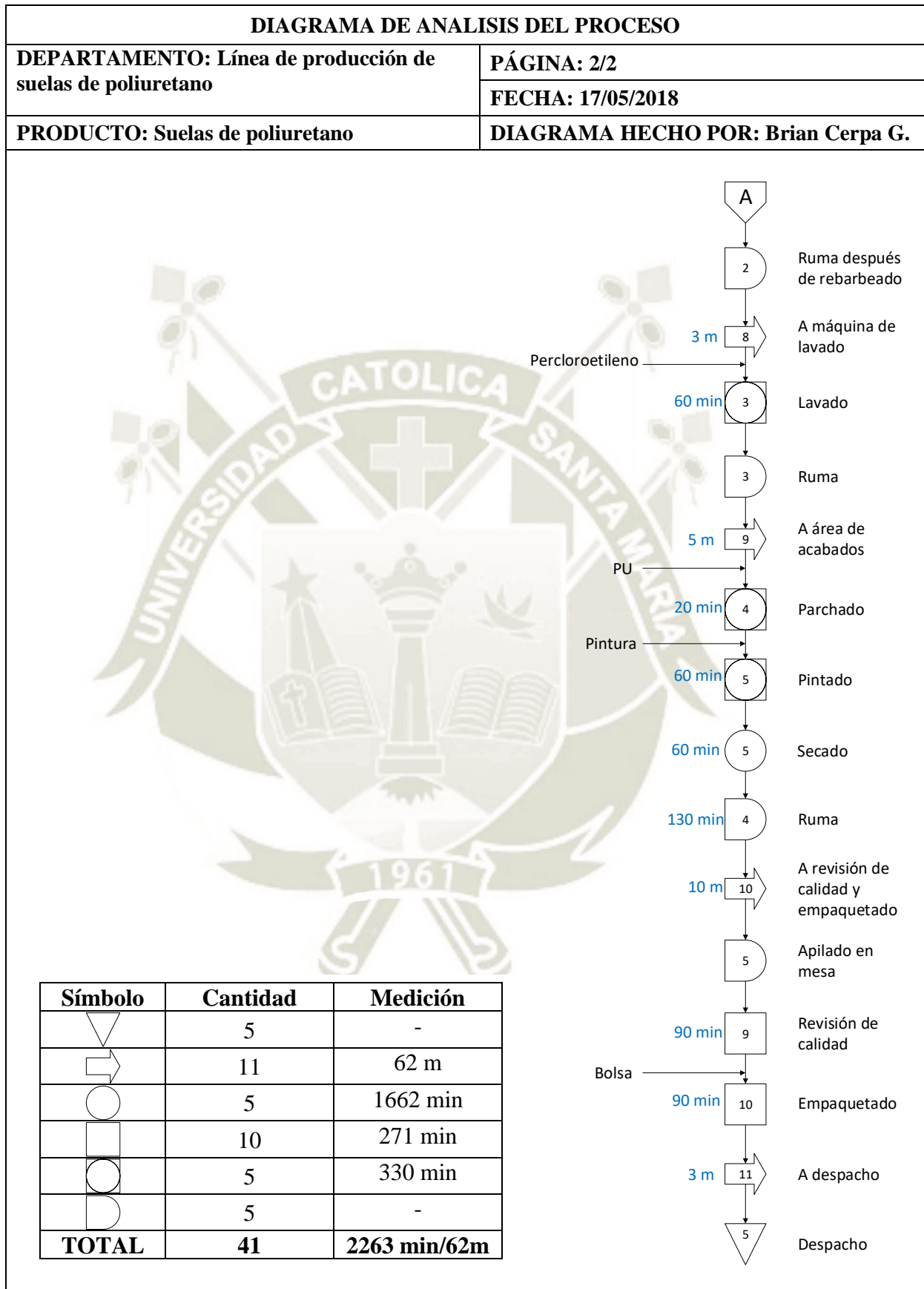


Fuente: Elaboración propia

El diagrama N°2 corresponde a la producción de un lote de 150 pares de suelas, este diagrama se realizó para el tipo y modelo de suela que requiere de todos los procesos de la línea.

Diagrama 2: Diagrama de análisis del proceso de producción de suelas de poliuretano





Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Línea de caucho

En este proceso se realizan generalmente suelas de color negro y sin cerco, pero en menor cantidad se producen suelas de diversos colores (de un color o de dos colores) con o sin cerco. El proceso que se realiza con el caucho negro y de color es el mismo, excepto en el proceso de mezclado en banbury que solo se realiza para el caucho negro. De igual manera que la línea de TR, en el proceso de suelas de caucho se tiene algunas variaciones en las actividades de acabado, debido a los distintos modelos.

Dentro de las actividades que se realizan, se tiene:

1) Preparación de materias primas

Esta actividad tiene el propósito de tratar las materias primas para su posterior mezclado o laminado según corresponda.

Primeramente, se cortan las planchas de caucho en trozos pequeños y se pesan según lo especificado en la formulación; para producir suelas de color negro se utilizan tres tipos de caucho: natural, sintético y regenerado; en caso de requerir suelas de otros colores solo se utiliza el caucho natural y el sintético. El cortado se hace con ayuda de una guillotina eléctrica manejada por un operario.

Luego se realiza el pesado de los demás compuestos en una balanza digital, teniendo en cuenta la cantidad especificada en la formulación según el color que se desea producir. Dentro de los compuestos de la formulación se puede tener: antioxidantes, plastificantes, acelerantes, iniciadores de vulcanización, agentes homogeneizantes y pigmentos; en el caso de los pigmentos muchas veces se combinan entre sí para obtener el color requerido. Luego de tener listas las materias primas estas son llevadas al área de mezclado en el caso del caucho negro y al área de laminado para el caso de caucho de otros colores.

2) Mezclado

Este proceso solo se realiza en el caucho de color negro, debido a que posee muchos componentes que tiene cierta dificultad al homogeneizarse y se requiere que estos estén distribuidos de manera uniforme.

El tipo de mezclado que se utiliza es el intensivo o dispersivo (conocido también como compounding), recibe este nombre porque implica una dispersión de los componentes más exhaustiva que el de tipo extensivo, de tal manera que la mezcla sea lo más uniforme posible. Se caracteriza por requerir el cambio de estado de

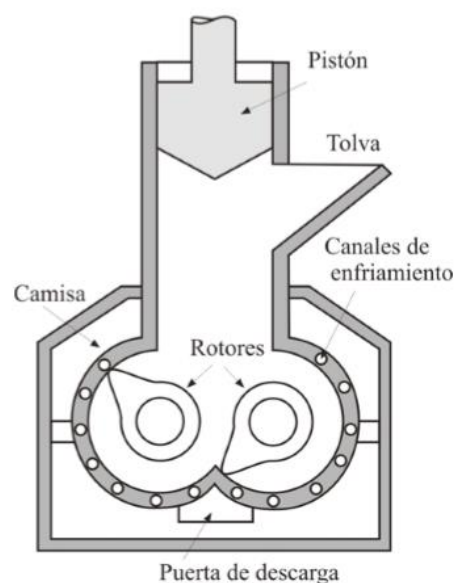
algunos componentes, en este caso el caucho se funde durante el mezclado, para lo cual se lo eleva a altas temperaturas; siempre cuidando que no sobrepase la temperatura de vulcanizado. Durante la mezcla se requiere del uso de aceites para facilitar el procesado; además, de aportar propiedades al producto final.

Para el mezclado se utiliza un equipo mezclador interno intensivo conocido como “banbury”, el cual es una cámara cerrada y sometida a presión, que esta provista con dos rotores ubicados en ejes perpendiculares que al girar mezclan uniformemente los compuestos con ayuda del calor que se obtiene al elevar la temperatura dentro de la cámara; además tienen un sistema de enfriamiento para evitar que el caucho alcance temperaturas de vulcanización.

Las actividades que realiza el operario inician con el transporte del caucho y los aditivos hacia el área de mezclado, luego procede a cargar todas las materias dentro de la cámara del banbury, y luego programa el trabajo que maquina este durante el mezclado, teniendo en cuenta la temperatura máxima y el tiempo de procesado. Una vez terminado el mezclado en el banbury, se obtiene un caucho de color negro de características uniformes en toda su masa; este aún está en temperatura altas por lo que se retira con cuidado del banbury, dando por terminado esta parte del proceso.

En la figura N°18 se observa el mezclador de tipo banbury y sus componentes.

Figura 18: Mezclador intensivo de tipo Banbury.



Fuente: Beltrán, M. y Marcilla, A. “Tecnología de polímeros”

3) Laminado

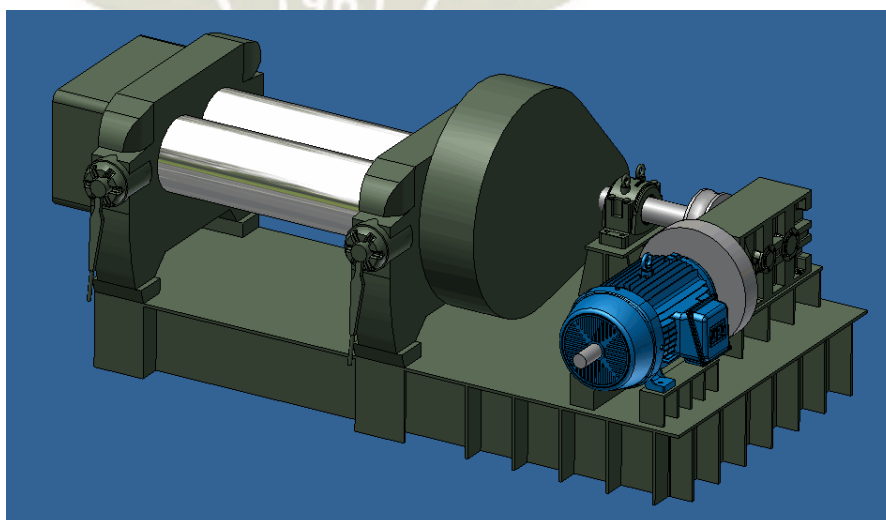
Este proceso se realiza con el objetivo general de obtener láminas de caucho del mismo grosor en toda su superficie y enfriar el caucho de manera uniforme para evitar una accidental vulcanización. En el caso del caucho de color diferente al negro también se realiza el mezclado.

En este proceso se utiliza un equipo llamado molino abierto o laminador, el cual consiste de dos rodillos de acero ubicados de manera paralela, los cuales rotan en diferentes velocidades para amasar el caucho, se puede utilizar aceite de ser necesario; este proceso se realiza hasta que se tenga una superficie suave y contextura flexible; teniendo como resultado una lámina de caucho, que luego se pone a enfriar para evitar una vulcanización accidental. Cabe mencionar que durante el proceso se hace uso del calor para facilitar el maquinado del caucho, de igual manera también se utiliza agua para refrigerar los rodillos (están provistos de cavidades) y mantener bajo control la temperatura.

El operario debe de cargar el molino con el caucho y los aditivos necesarios, luego se realiza el amasado de manera conjunta; una vez terminado el amasado se coloca la lámina de caucho en una superficie para que enfríe. Finalmente, luego de que se haya enfriado la lámina, esta se enrolla y se almacena para su uso posterior.

La figura N°19 muestra el esquema de un molino abierto o laminador.

Figura 19: Molino abierto.



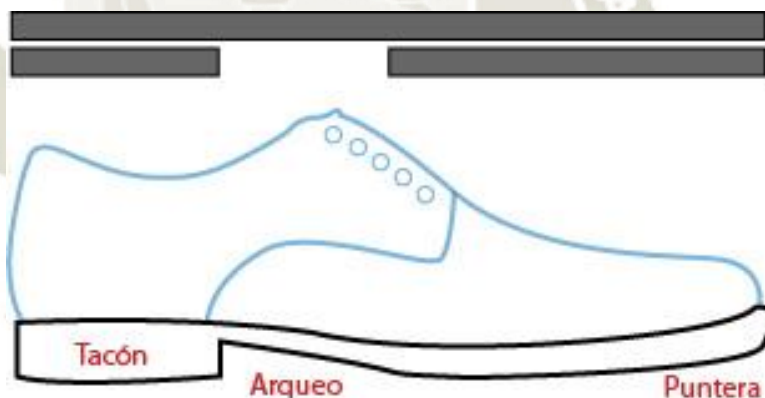
Fuente: Rivas M. "Molino laminador de rodillos". <https://grabcad.com/library/molino-laminador-de-rodillos>

4) Vulcanizado

En esta actividad se utilizan las láminas de caucho obtenidas del proceso anterior, las cuales son cortadas en forma rectangular con un cúter sobre una mesa especial, los tamaños, peso y la cantidad de rectángulos que se usarán para producir un par de suelas depende directamente del modelo a realizar, por lo general se utilizan tres de distintos tamaños: el más pequeño se utiliza en el tacón, el mediano en la parte de la puntera y el más grande ocupa toda la extensión de la suela, cabe resaltar que se deja un espacio vacío en el centro de la superficie de la suela ya que ahí está la zona del arqueo.

En la figura N°20 se muestra de manera gráfica la distribución que deben de tener las piezas rectangulares de caucho, para poder ser moldeadas correctamente durante la vulcanización.

Figura 20: Distribución de corte de caucho para moldeado.



Fuente: Elaboración propia.

Luego, en moldes de aluminio calentados previamente a temperaturas dentro del intervalo de 150 y 180 grados Celsius, y sujetos a prensas neumáticas; se vierte líquido desmoldante en la superficie para facilitar el retirado de la suela vulcanizada en procesos posteriores, seguido de esto con ayuda de una varilla con punta de teflón se raspa una delgada capa de caucho (de un color diferente a la suela) sobre la zona donde se encuentra el diseño de la marca; alternativamente si se requiere se coloca cerco en los laterales interiores del molde, estos cercos

fueron previamente cortados. Finalmente se colocan los rectángulos de caucho previamente cortados y pesados en las ubicaciones especificadas, luego se procede a cerrar el molde y se aplica presión con ayuda de la prensa; mientras se da el proceso de vulcanizado el operario debe de controlar el tiempo y la temperatura con el fin de evitar que el caucho se queme, que se tenga errores de vulcanización o que la vulcanización de este no se dé completamente.

En el caso de producción de suelas de dos colores, se sigue el mismo proceso exceptuando que: primero se calienta el caucho de la parte inferior de la suela usando una plancha de aluminio para ejercer presión y evitar que el caucho se distribuya en la zona vacía del molde (esto se realiza con el molde cerrado y con la prensa ejerciendo presión); luego se abre el molde, se retira la plancha de aluminio y se completa los espacios vacíos con el caucho de otro color, se vuelve a cerrar el molde, se aplica presión y se continúa hasta completar el vulcanizado; de igual manera se controla la temperatura y el tiempo.

Terminado el tiempo de vulcanización estipulado por el modelo de la suela, se retira la compresión ejercida por la prensa y con ayuda de una palanca se abre el molde, al sacar las suelas del molde se utilizan guantes para evitar quemadura, ya que éstas se encuentran a altas temperaturas; y luego se ponen a enfriar. Al momento de desmoldar las suelas también se retiran los residuos de caucho vulcanizado (usando una espátula de metal) que se producen de esta actividad y se juntan en recipientes para luego almacenarlos, así mismo, también se separan y almacenan las suelas que presentan fallas de calidad.

Luego de enfriadas las suelas, se cortan las rebabas que estas puedan presentar en los laterales; las rebabas también se almacenan. Y para culminar se realiza la inspección de la suela.

5) Acabados

De igual manera que en la línea de goma termoplástica o TR; este proceso puede variar dependiendo del modelo que se produce; puede haber modelos con cerco o sin él, modelos que son pintados en los laterales y talón de un color o de dos colores, suelas que son pintadas con un efecto degradado o desgastado, talones

pintados con líneas, suelas pintadas con pintura neutra, entre otros; por ello se mencionará este proceso de manera general.

Lo primero en realizar es el cortado y almacenado de rebabas que pudieran tener las suelas provenientes del proceso de vulcanizado (este cortado es más minucioso), luego se pegan los cercos (en caso se tengan) entre sí (donde se unen); luego se dejan secando en rumas y son llevadas a las pulidoras, en donde con ayuda de distintas escobillas o lijas se puede alisar la superficie de los laterales, se puede desgastarlo para darle efecto, se corrigen imperfecciones que puedan tener, entre otros, según se requiera.

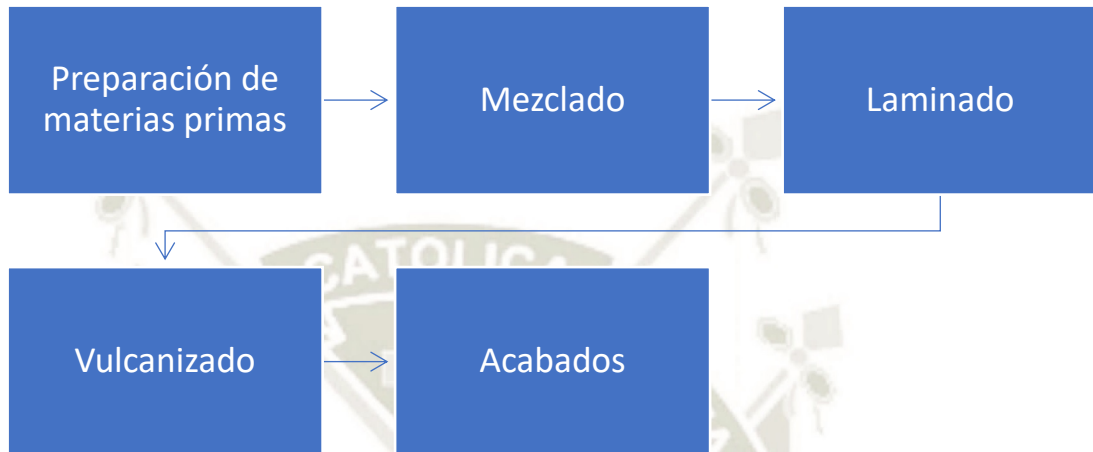
Luego son llevadas al área de pintado, donde se utilizan pulverizadores o atomizadores de pintura en cabinas de extracción, para pintar los laterales y el tacón de las suelas, si se requiere pintar una zona y proteger otra de la pintura, se hace uso de máscaras metálicas, generalmente se utilizan cuando se desea proteger el cerco, parte del lateral o cuando se pinta una suela de dos colores, se dejan secar y se repite el proceso de ser necesario. Existen modelos que tienen líneas en el tacón, estos se realizan luego del último secado de la pintura base, en una máquina especial provista de hilos metálicos extendidos que se mueven por medio de un motor y están cubiertos de pintura, estos son los encargados de realizar las líneas; se tiene otros modelos que se caracterizan por tener un efecto desgastado, para realizarlo son pulidos nuevamente, con escobillas especiales dependiendo del tipo de efecto que el modelo posea.

Luego las suelas son llevadas a un área donde se realiza el acabado manual, este acabado consiste en realizar pintado con mayor precisión utilizando pinceles y demás instrumentos manuales, estos acabados pueden ser: el pintado de figuras en la planta de las suelas, pintado de detalles en los laterales y tacón, pintado de efectos en superficie, entre otros; y también se corrigen los errores que se hayan podido cometer en el pintado anterior.

Luego de los procesos mencionados se realiza una inspección final de calidad, para poder clasificar y retirar las suelas que presenten fallas y puedan ser almacenadas; luego finalmente se juntan las suelas en pares, se empaquetan y son llevadas al área de despacho para ser distribuidas a los clientes.

En la figura N°21 se observa el diagrama de bloques del proceso en la línea de caucho

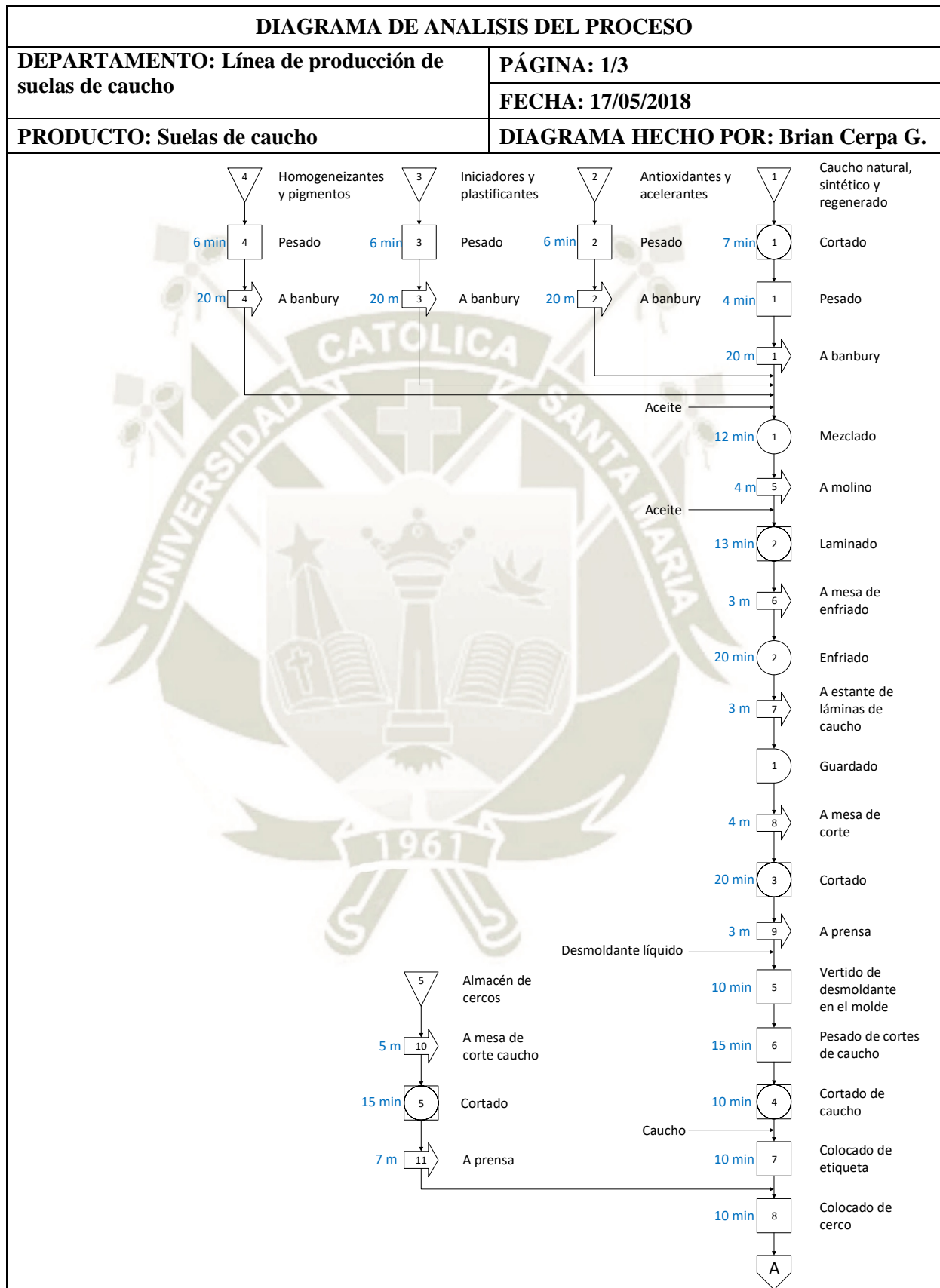
Figura 21: Diagrama de bloques del proceso productivo de suelas de caucho.



Fuente: Elaboración propia

El diagrama N°3 corresponde a la producción de lo equivalente a 1 rollo realizado por un operario en cada actividad, este diagrama se realizó para el tipo y modelo de suela que requiere de todos los procesos de la línea.

Diagrama 3: Diagrama de análisis del proceso de producción de suelas de caucho



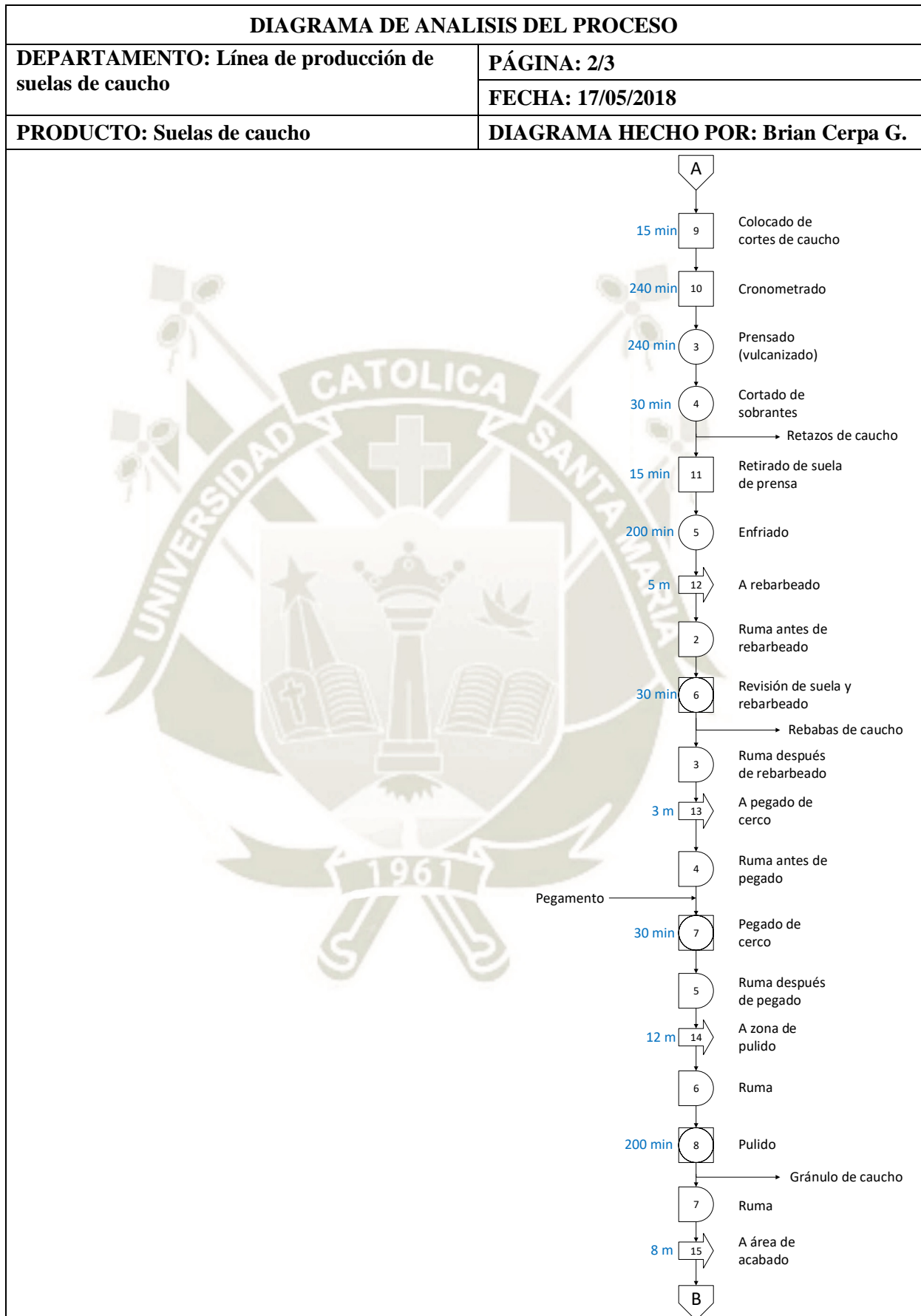


DIAGRAMA DE ANALISIS DEL PROCESO

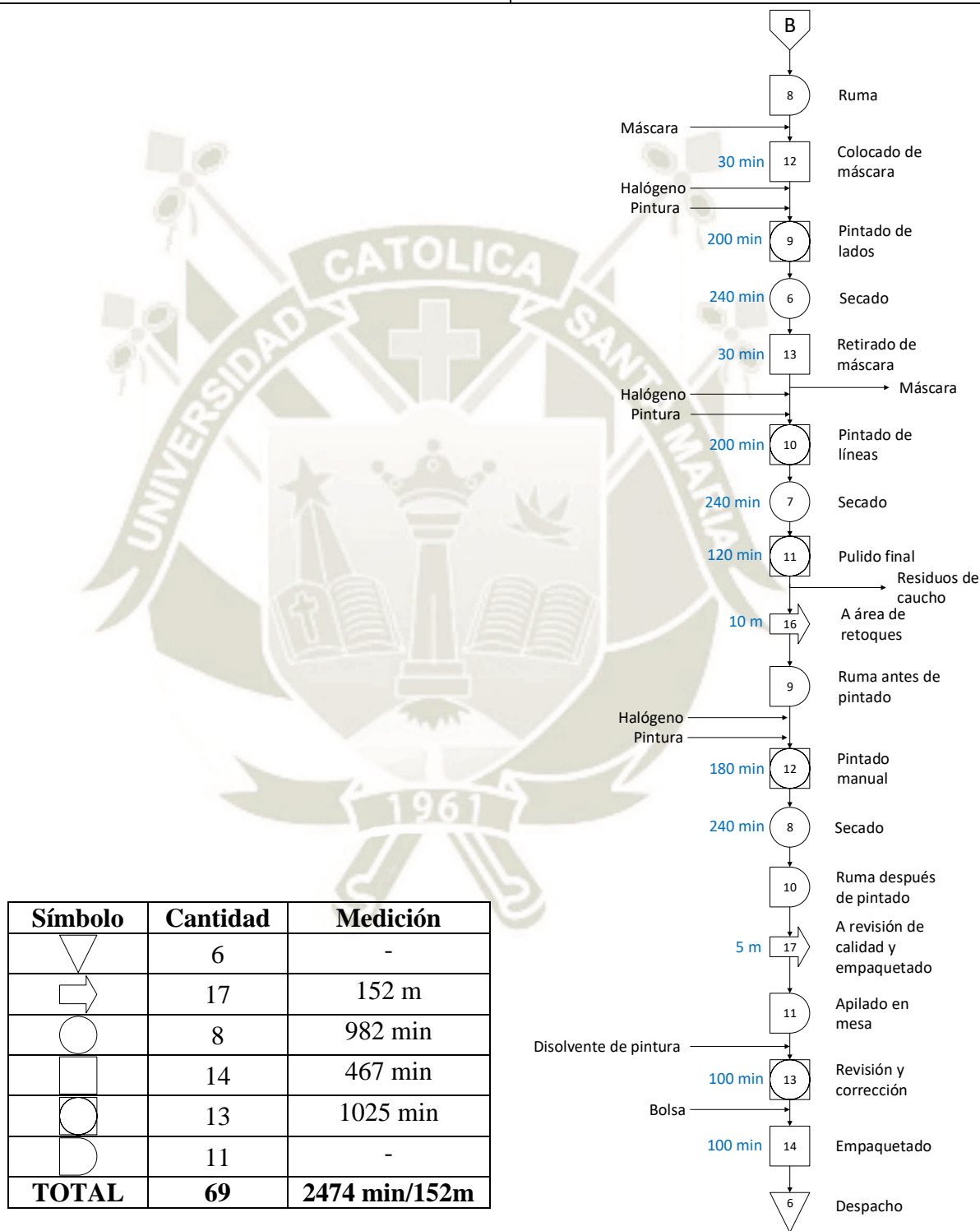
DEPARTAMENTO: Línea de producción de
suelas de caucho

PÁGINA: 3/3

FECHA: 17/05/2018

PRODUCTO: Suelas de caucho

DIAGRAMA HECHO POR: Brian Cerpa G.



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

4. PROCESO DE RECICLADO

4.1 RESIDUOS DE LA LÍNEA DE CAUCHO

El almacenamiento de los residuos de la línea de caucho se comenzó a realizar en el año 2016, esto se da de manera intermitente; es decir, algunos días se almacenan los residuos y otros se desechan.

Los residuos de caucho de color negro están divididos en cuatro grupos: suelas defectuosas, rebabas, retazos y gránulos de caucho.

- Suelas defectuosas: Son suelas que no pasaron la revisión de calidad, debido a que tenían defectos como: agujeros, uniones defectuosas entre las partes de caucho, zonas deformadas, entre otros. Estas se agrupan y se almacenan.

En la figura N°22 se muestran las suelas que no pasaron la prueba de calidad debido a que poseían diversos defectos.

Figura 22: Suelas defectuosas de caucho negro.



Fuente: Elaboración propia

- Retazos: Son trozos de caucho que se recortan al momento de retirar la suela del molde en el proceso de vulcanización. Estos se colocan en cestos de plástico para posteriormente almacenarlos. Estos pueden observarse en la figura N°23.

Figura 23: Retazos de caucho negro.



Fuente: Elaboración propia

- **Rebabas:** Son pequeñas tiras de caucho que se encuentran en los laterales de la suela, los cuales deben ser recortados luego del vulcanizado para actividades posteriores de acabados, el cortado se realiza con cuchillas manuales; y de igual manera se colocan en cestos presentes en los puestos de trabajo para luego almacenarlos. Se muestra en la figura N°24 las rebabas retiradas de los laterales de las suelas.

Figura 24: Rebabas de caucho.



Fuente: Elaboración propia

- **Gránulos de caucho:** Son pequeños residuos de caucho provenientes de las pulidoras en las actividades de acabado, actualmente éstos son retenidas en las bolsas de aspiradoras del sistema de absorción de las pulidoras; en las bolsas se encuentran residuos de distintos materiales debido a que en las pulidoras se procesan las suelas de diferentes líneas y colores. Actualmente los gránulos se desechan en periodos

establecidos de tiempo; pero se propone establecer pulidoras que trabajen solo con caucho, de tal manera que estos residuos puedan aprovecharse en el reciclado.

En la figura N°25 se puede observar las bolsas donde se almacenan temporalmente los gránulos de caucho provenientes de las pulidoras.

Figura 25: Pulidora y bolsa de almacenado.



Fuente: Elaboración propia

4.1.1 Cantidad de residuos generados al día

Se determinó que el total de residuos de caucho negro representan el 8.51% del peso total de los rollos producidos en un día en la línea de caucho negro. Se calculó a partir de la producción de 15 rollos de caucho negro, cada uno con un peso de 25 Kg; produciendo un peso total de 375 Kg en un día.

Teniendo en cuenta los cuatro tipos de residuos que se generan en la línea de caucho, se calculó los porcentajes de los pesos que estos representan según la cantidad total de rollos de caucho negro que se producen al día.

Las suelas defectuosas tienen el mayor porcentaje a nivel de residuos generados, debido a que estas conllevan mayor peso en comparación con los demás; seguidas por los retazos de caucho que representan aproximadamente la tercera parte total de los residuos; luego se tiene a las rebabas de caucho y finalmente a los gránulos obtenidos

de las máquinas pulidoras, siendo las de menor porcentaje. Este cálculo se puede apreciar en el anexo 1 (tabla N°59), cuyo resumen se da en la tabla N°5.

Tabla 5: Porcentaje de residuos diarios de caucho negro.

Residuo	Porcentaje	Porcentaje del total
Suelas defectuosas	40.13%	3.41%
Retazos	23.51%	2.00%
Rebabas	33.23%	2.83%
Gránulos	3.13%	0.27%
Total	100.00%	8.51%

Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Almacenamiento de residuos de caucho

La recolección y almacenamiento de los cuatro tipos de residuos de caucho se realizan de distintas maneras, que son:

- Las suelas al ser detectadas defectuosas se colocan debajo de las mesas donde se realizó la revisión y se comunica al encargado de producción para producir suelas que reemplacen a las defectuosas, al término del turno de trabajo se colocan dentro de una bolsa o costal, al llenarse la bolsa esta se lleva al lugar de la empresa que funciona como almacén provisional. En algunos casos se dejan las suelas en el área de laminado donde se encuentran los molinos.
- En el caso de los retazos, se recolectan en cestos de plástico durante la realización de las actividades, una vez terminado el turno laboral estos se llenan en bolsas y son llevados generalmente cerca de los estantes de rollos de caucho y luego son almacenados junto con las suelas defectuosas, en algunos casos se llevan directamente con las suelas.
- Las rebabas tienen un tratamiento similar a los retazos; la diferencia radica en que estas son almacenadas en cajas dispuestas a un lado de las mesas donde se realiza el cortado de las rebabas, y se espera que se llenen en su totalidad, muchas veces las rebabas son vertidas al basurero por falta de aviso con el personal nuevo; luego se procede igual que el caso de los retazos, se llenan en bolsa y se llevan junto con las suelas.

- Para los gránulos de caucho aún no se cuenta con un proceso de almacenamiento, ya que estos se desechan al estar combinados con gránulos de suelas de otros materiales y colores, por ello se propone designar pulidoras suficientes donde se trabajen solo suelas de caucho negro para poder almacenar los gránulos en las bolsas de las aspiradoras.

Anteriormente se tenía dos lugares donde se almacenaban los residuos de la línea de caucho: el más crítico se encontraba entre el área de inyectado de TR y el almacén, donde a parte de los residuos también se podían encontrar equipos que no se utilizaban y algunas materias primas, estos residuos almacenados obstaculizaban el paso y representaban un foco de suciedad, pero debido a la expansión de la línea de TR estas se movieron a un lugar donde no obstaculizan el desarrollo de las actividades, y es donde actualmente se encuentra la mayor parte del caucho para reciclar; por otra parte una pequeña cantidad de residuos se encuentra en el área de laminado o molino, donde se tiene suelas defectuosas y suelas conformes mezcladas, por lo que se propone llevarlas al lugar mencionado anteriormente; para ello es necesario que primero se clasifiquen. Actualmente se tiene aproximadamente 7500 Kg de caucho negro apto para ser reciclado, se encuentra almacenado dentro de bolsas o costales; se muestra en la figura N°26.

Figura 26: Lugar de almacenamiento de residuos.



Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la tabla N°6 se muestra el total aproximado de residuos de caucho actual que puede ser reciclado, la información está agrupada según el tipo de residuo.

Tabla 6: Cantidad total de caucho almacenado.

Tipo de residuo	Cantidad (kg)	Porcentaje (%)
Suelas	3700	49.33
Rebabas	1600	21.33
Retazos	2200	29.34
TOTAL	7500	100

Fuente: Elaboración propia

4.2 DESCRIPCIÓN DEL RECICLADO DE CAUCHO

El producto que se busca obtener por medio de procesos mecánicos aplicados a los residuos de la línea de caucho es llamado gránulo de caucho, caucho reciclado, polvo de caucho o miga de caucho, el cual se muestra en la figura N°27.

Según lo recopilado de Gonzáles A. (2015) este gránulo de caucho debe de tener un tamaño o espesor menor o igual a 0.60 mm o 30 dentro de la escala Mesh; Mesh es una medida del tamaño de partícula utilizada a menudo para determinar la distribución del tamaño de partícula de un material granular. Debe de tener el tamaño mencionado anteriormente para facilitar su integración con los demás elementos de la formulación para el vulcanizado de caucho y además evitar que estos gránulos se desprendan de las suelas o sobresalgan creando espacios vacíos o aberturas en el caso de que los gránulos de caucho sean muy grandes.

Las demás propiedades no se ven afectadas debido a que los procesos aplicados son mecánicos y no tienden a afectarlas.

Figura 27: Gránulo de caucho.



Fuente: Elaboración propia

4.3 PROCESO DE RECICLADO PROPUESTO

4.3.1 Análisis comparativo de procesos para la aplicación en reciclado en suelas de caucho negro

El presente análisis se realizó a partir de los procesos mencionados en el marco teórico, los cuales son aplicados en neumáticos; por ello se tomó en cuenta las diferencias existentes con las suelas (los neumáticos poseen caucho, fibras textiles y acero; por otro lado, las suelas solo contienen caucho) y que actividades se debería de variar en estos procesos para poder ser aplicables; y de esta manera identificar el proceso más adecuado para el reciclado de suelas de caucho negro. En este análisis se evaluaron distintos criterios, los cuales se valorizaron por medio de un puntaje determinado por una escala de ponderación, teniendo como resultado que el proceso que obtiene el mayor puntaje es el más óptimo. La escala de ponderación utilizada se proporciona en la tabla N°7.

Tabla 7: Escala de ponderación para el reciclado de suelas de caucho.

Escala	Puntaje
Óptimo	3
Bueno	2
Regular	1
Deficiente	0

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°8 se muestra al detalle el análisis realizado a los procesos para la aplicación en el reciclado de suelas de caucho negro.

Tabla 8: Análisis de alternativas de proceso a implementar para reciclado de suelas de caucho.

Criterio	Regeneración	Trituración mecánica	Trituración criogénica
Calidad de caucho reciclado	2	3	3
Conocimientos requeridos para aplicación	1	3	1
Costo de implementación	2	2	0
Costo de producción	2	3	1
Nivel de infraestructura requerida	2	3	0
Utilización de recursos energéticos	2	2	1
Conservación del medio ambiente	1	3	3
Obtención de subproductos peligrosos	2	3	2
Generación de residuos	2	3	2
Requiere gran capacidad instalada	1	3	1
TOTAL	17	28	14

Fuente: Elaboración propia

Como se observa, el proceso más óptimo para implementar en la empresa es el de trituración mecánica; ya que este destaca en la calidad del caucho reciclado que se obtiene, no se requiere de conocimientos muy profundos para poder implementarlo, asimismo el costo de implementación no es muy alto y el costo de producción (de reciclar el caucho) es bajo, la maquinaria o infraestructura no es compleja y es de bajo costo, los recursos energéticos utilizados en el proceso son bajos (se utiliza energía eléctrica), la trituración mecánica no contamina el medio ambiente durante su funcionamiento, no genera productos ni subproductos peligrosos; además no genera residuos que no puedan ser aprovechados ya que solo se obtiene el caucho reciclado, y finalmente no requiere de gran capacidad instalada.

4.3.2 Descripción del proceso

El proceso inicia con el traslado de los residuos de caucho necesarios para el día al área donde se realiza el reciclaje, este traslado se realiza en cestos de plástico, después estos residuos son pesados y de ser requerido son clasificados según su tipo; luego pasan por los siguientes procesos. De ser el caso de tener suelas que posean cerco, este debe ser retirado.

4.3.2.1 Trituración o molienda primaria

La trituración es un método de procesamiento de materiales que consiste en reducir el tamaño de las partículas de un sólido por medio de la molienda.

El triturador mecánico más óptimo a aplicar es el que está compuesto de dos ejes horizontales debido a que ejerce un mayor torque y por ende eleva la capacidad de fragmentación o molienda.

La trituración se llevará a cabo en molinos que están formados por dos ejes posicionados de manera paralela y con una separación mínima entre ambos, estos giran en sentidos contrarios y hacia el centro que existe entre ambos, además poseen ranuras con bordes afilados que atraen a las suelas de caucho vulcanizado hacia el centro entre los ejes y las trituran. Este se muestra en la figura N°28.

Figura 28: Cuchillas de trituradora de 2 ejes.



Fuente: Jaguar Equipamentos. "Triturador 2 ejes".

<http://www.jaguarequipamentos.com/es/triturador-2-ejes/>

La trituración fragmenta las suelas de caucho, obteniendo pedazos de caucho de menor tamaño, estos pedazos no sobrepasan los 3.5 mm. Además, cierto porcentaje del caucho triturado tiene dimensiones menores a 0.60 mm.

El equipo necesario para triturar las suelas de caucho debe de tener una potencia de 20 HP y entre 50 a 80 RPM, con el fin de generar más fuerza entre los ejes y los sólidos para facilitar el triturado del caucho.

Especificaciones principales de la trituradora primaria:

- ✓ Potencia: 20 HP
- ✓ Revoluciones: 70 RPM
- ✓ Tipo de alimentación: Eléctrico
- ✓ Voltaje: 220V 60Hz trifásico
- ✓ Transmisión: Engranajes y fajas (mecánica)
- ✓ Cantidad de ejes fresa: 2
- ✓ Número de fresas templadas: 18 fresas
- ✓ Número de fresas fijas: 4
- ✓ Producción – eficiencia: 72 Kg/hr.
- ✓ Certificación: CE
- ✓ Equipamentos de seguridad: Parada de emergencia, compuerta de cierre de tolva

4.3.2.2 Tamizado

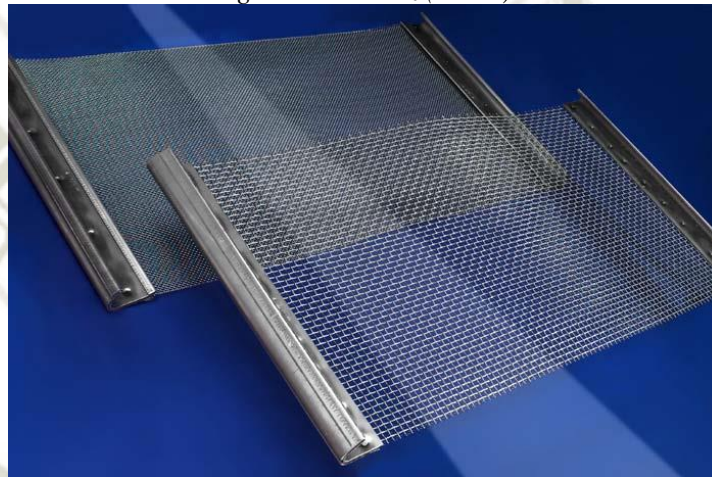
El tamizado es un método físico que consiste en separar un grupo de sólidos formados por partículas de dimensiones distintas. El principio consta de pasar el grupo de sólidos de distintas dimensiones por encima de un tamiz o malla; este presenta aberturas, con el fin de hacer atravesar las partículas de menor tamaño entre los poros o aberturas y dejando las partículas de mayor tamaño retenidas; las partículas pequeñas son separadas en un depósito y las grandes en otro.

El tamiz a utilizar en el proceso se caracteriza por ser de metal y presentar una inclinación con el objetivo de facilitar el recorrido del caucho molido por toda su superficie; se puede decir que se asemeja a un resbalón, diferenciándose que este presenta pequeñas aberturas por donde se harán pasar las partículas pequeñas, exactamente las que sean igual o menor a 0.60 mm de diámetro.

Además, tiene acoplado un motor conectado con un mecanismo que permite que el tamiz tenga vibración para facilitar y agilizar la separación de los sólidos.

Su funcionamiento empieza cuando se coloca el caucho triturado en la parte más alta del tamiz, el caucho empezará a bajar o deslizarse por la superficie debido a la vibración generada por el mecanismo y el motor; mientras este se desliza hacia la parte inferior las partículas más pequeñas pasan a través del filtro o malla y caen en un depósito, en cambio las partículas grandes se deslizan hasta el final del tamiz y caen en un recipiente colocado en la parte inferior. En la figura N°29 se puede observar el tamiz requerido.

Figura 29: Tamiz (malla).



Fuente: Tamices.cl representantes. "Tamices industriales. Tamiz y mallas metálicas".

<http://www.tamices.cl>

Según Castro (2008), al hacer pasar el caucho triturado por una malla de 30 Mesh (0.60 mm.) el 27% del total del caucho traspasa la malla, eso quiere decir que este porcentaje tiene un tamaño menor o igual a 0.60 mm; por lo cual no es necesario que sea procesado en la siguiente actividad ya que tiene el tamaño del gránulo de caucho requerido.

El equipo necesario para esta actividad debe de tener un tamaño de 2 metros de largo, una malla de 30 Mesh y un motor de 4 HP.

Especificaciones principales de la tamizadora

- ✓ Tipo: Tamizador vibratorio inclinado
- ✓ Potencia: 4 HP
- ✓ Tipo de alimentación: Eléctrico
- ✓ Voltaje: 220V 60Hz trifásico

- ✓ Transmisión: Fajas (mecánica)
- ✓ Malla tamiz: 30 Mesh
- ✓ Producción – eficiencia: 120 Kg/hr.
- ✓ Equipamentos de seguridad: Parada de emergencia.

4.2.2.3 Trituración o molienda fina

El principio en esta actividad es igual a la trituración primaria, la diferencia radica en la forma que se lleva a cabo.

Esta trituración se realizará en un molino fino, que se caracteriza por poseer dos discos puestos en el mismo eje. Las superficies de los discos se encuentran muy cerca sin hacer contacto entre ellas, en estas superficies se encuentran partes afiladas que son sobresalientes y presentan cierta desviación respecto al radio del disco que permiten que el material se triture y se desplace hacia las orillas de la circunferencia logrando que el material triturado sea retirado del disco. En estas trituradoras se tiene un disco fijo y uno móvil: el fijo tiene una abertura en su centro que sirve como ranura de alimentación, por su parte el móvil gira en el centro de su mismo eje generando la fricción entre los dos discos con el material a triturar. En la figura N°30 se muestra los discos utilizados en la molienda fina.

Figura 30: Discos de molienda fina.



Fuente: Sumac Auto Recycling Equipment

El equipo necesario para la molienda fina de caucho debe de tener una potencia de 30 HP y entre 20 a 30 RPM, esto con el fin de generar más torque en el eje del disco móvil y por ende ejercer más fuerza entre los discos y el caucho para facilitar el

triturado, y a su vez evitar que se genere altas temperaturas entre los discos, dado que esto podría ocasionar que el caucho se ponga viscoso y dificulte su triturado, la temperatura no debe de sobrepasar los 70 grados Celsius.

Especificaciones principales de la trituradora primaria:

- ✓ Potencia: 30 HP
- ✓ Revoluciones: 30 RPM
- ✓ Tipo de alimentación: Eléctrico
- ✓ Voltaje: 220V 60Hz trifásico
- ✓ Transmisión: Engranajes y fajas (mecánica)
- ✓ Cantidad de discos fijos: 1
- ✓ Cantidad de discos móviles: 1
- ✓ Tipo de disco: Estriado en espiral
- ✓ Producción – eficiencia: 48 Kg/hr.
- ✓ Certificación: CE
- ✓ Equipamentos de seguridad: Parada de emergencia, compuerta de cierre de tolva

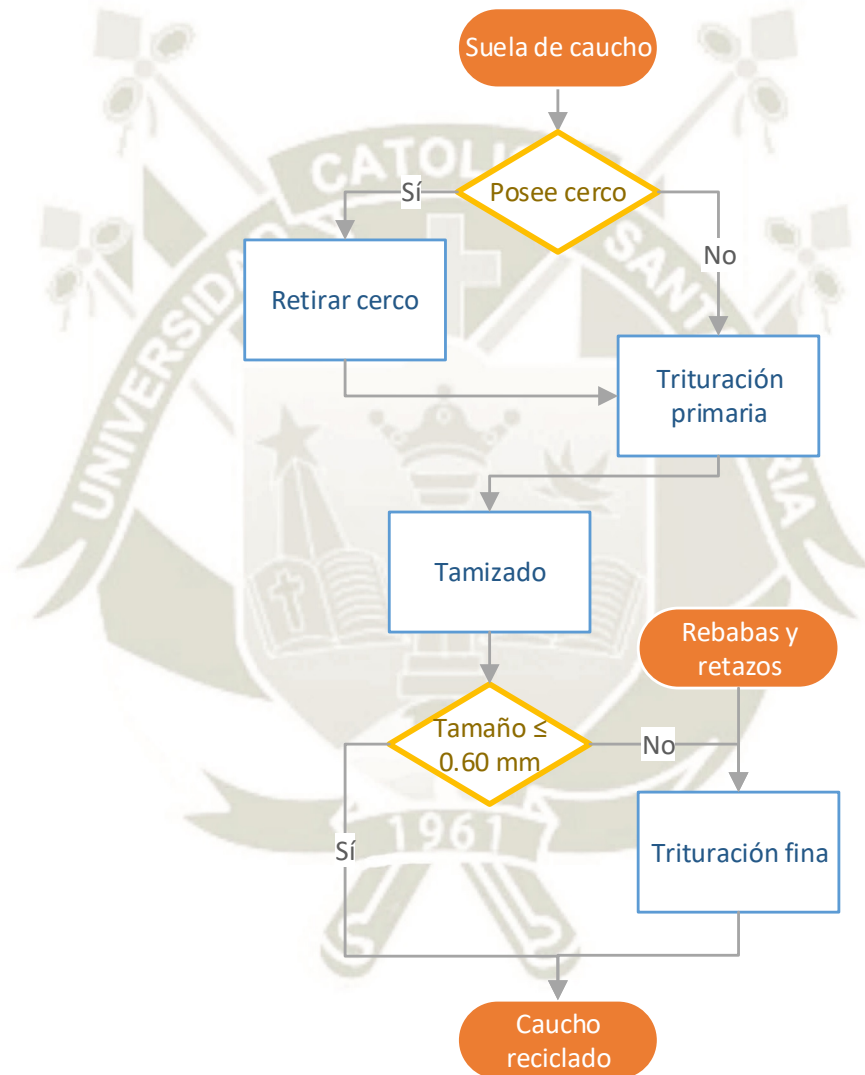
4.3.3 Diagrama de flujo

La trituración mecánica es un proceso que incluye distintas etapas de fragmentación y separación de elementos sólidos, es la forma más óptima para el reciclaje de suelas de caucho que se identificó en la evaluación realizada, el producto resultante de todo este proceso se utilizará para reingresarlo en la línea de caucho, exactamente en la formulación como reemplazo en cierta proporción del caucho regenerado.

Un proceso está compuesto de secciones, etapas o actividades que están establecidas en un orden lógico de trabajo, cada sección prepara el material que servirá como entrada para la siguiente actividad, de tal manera que las actividades posteriores son dependientes de las anteriores; en el caso del proceso propuesto: este consta de dos entradas de materia, además de cuatro actividades principales, dos puntos de

bifurcación o decisión y de una salida de producto terminado (caucho reciclado), tal como se puede observar en el diagrama N°4.

Diagrama 4: Diagrama de flujo del proceso de reciclado.



Fuente: Elaboración propia

Como se observa el proceso empieza con el ingreso de las suelas de caucho donde se verifica si estas poseen cerco (la mayoría de suelas no lo poseen), de ser así este debe

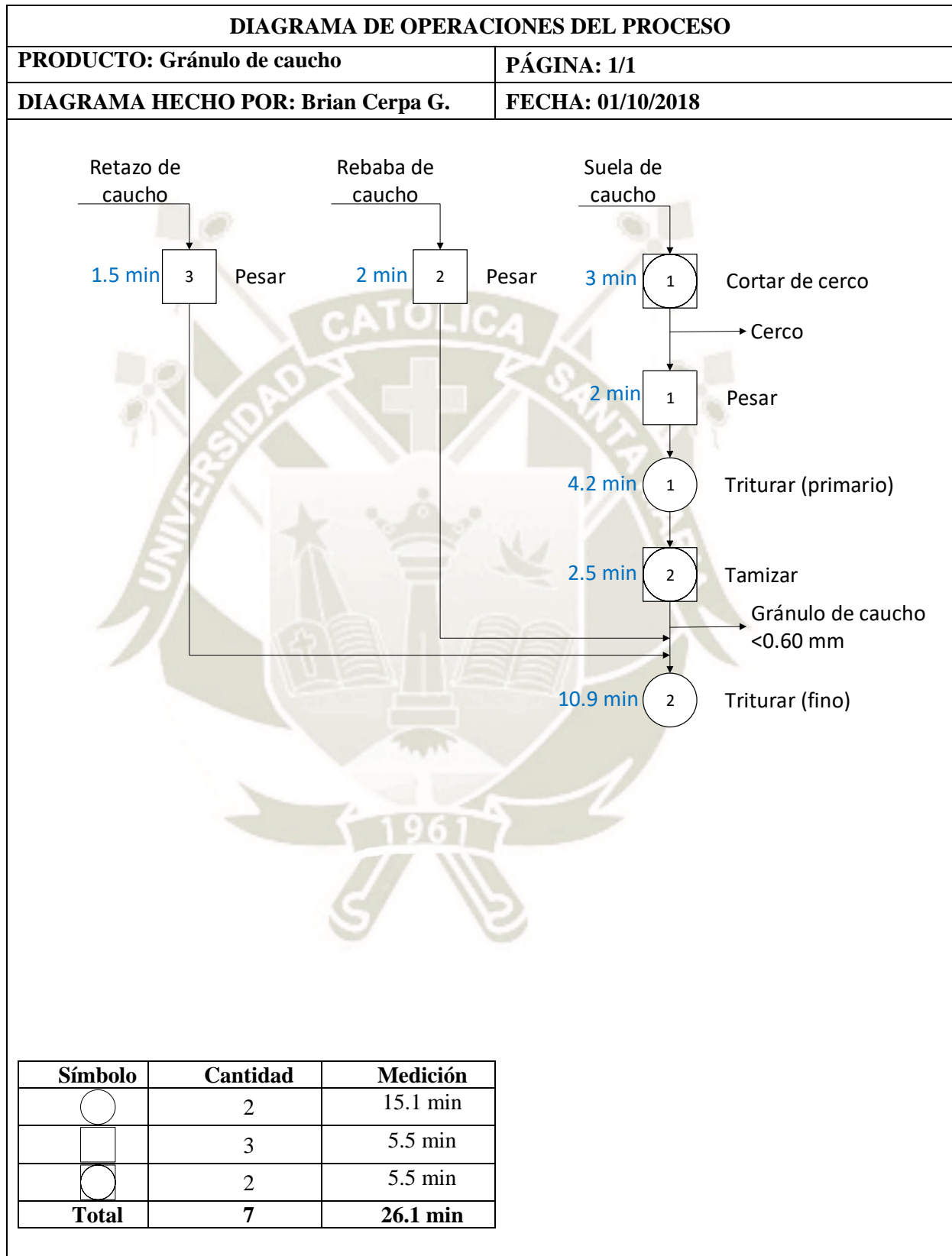
de ser retirado con ayuda de una cuchilla, luego de esto las suelas a las que se les retiró el cerco y las que no lo poseían ingresan a la actividad de trituración primaria donde se tiene como objetivo fragmentar en piezas pequeñas el caucho, en este proceso se obtienen fragmentos con un tamaño mayor de 0.60 mm (entre el rango de 0.61 a 3.5 mm) y en una menor proporción fragmentos que están por debajo de 0.60 mm, es por ello que se recurre a la siguiente actividad que se llama tamizado, la cual consiste en separar los fragmentos que tiene un tamaño menor o igual a 0.60 mm de los que son más grandes; los de menor tamaño son considerados como el producto final; en cambio los fragmentos grandes aún deben de ser procesados en la actividad de trituración fina con el fin de reducir su diámetro hasta un nivel aceptable; en esta actividad también ingresan las rebabas y retazos, en esta última etapa todo el producto obtenido está dentro de la especificación necesaria para el caucho reciclado, siendo la única condición que las entradas tengan un tamaño menor o igual a 3.5 mm de diámetro para facilitar el procesado en esta actividad.

Cabe mencionar que las suelas de caucho son el único residuo que puede seguir un recorrido por todas las actividades del proceso descrito, en cambio las rebabas y retazos ingresan directamente a la actividad de trituración fina debido a que estos residuos no requieren reducir su tamaño en la trituración primaria porque poseen pequeñas dimensiones; en el caso de los gránulos de caucho, estos no requieren ser procesados y pueden ser utilizados directamente en la formulación porque su tamaño o diámetro es menor a 0.60 mm.

4.3.4 Diagrama de operaciones del proceso

4.3.4.1 Suelas con cerco

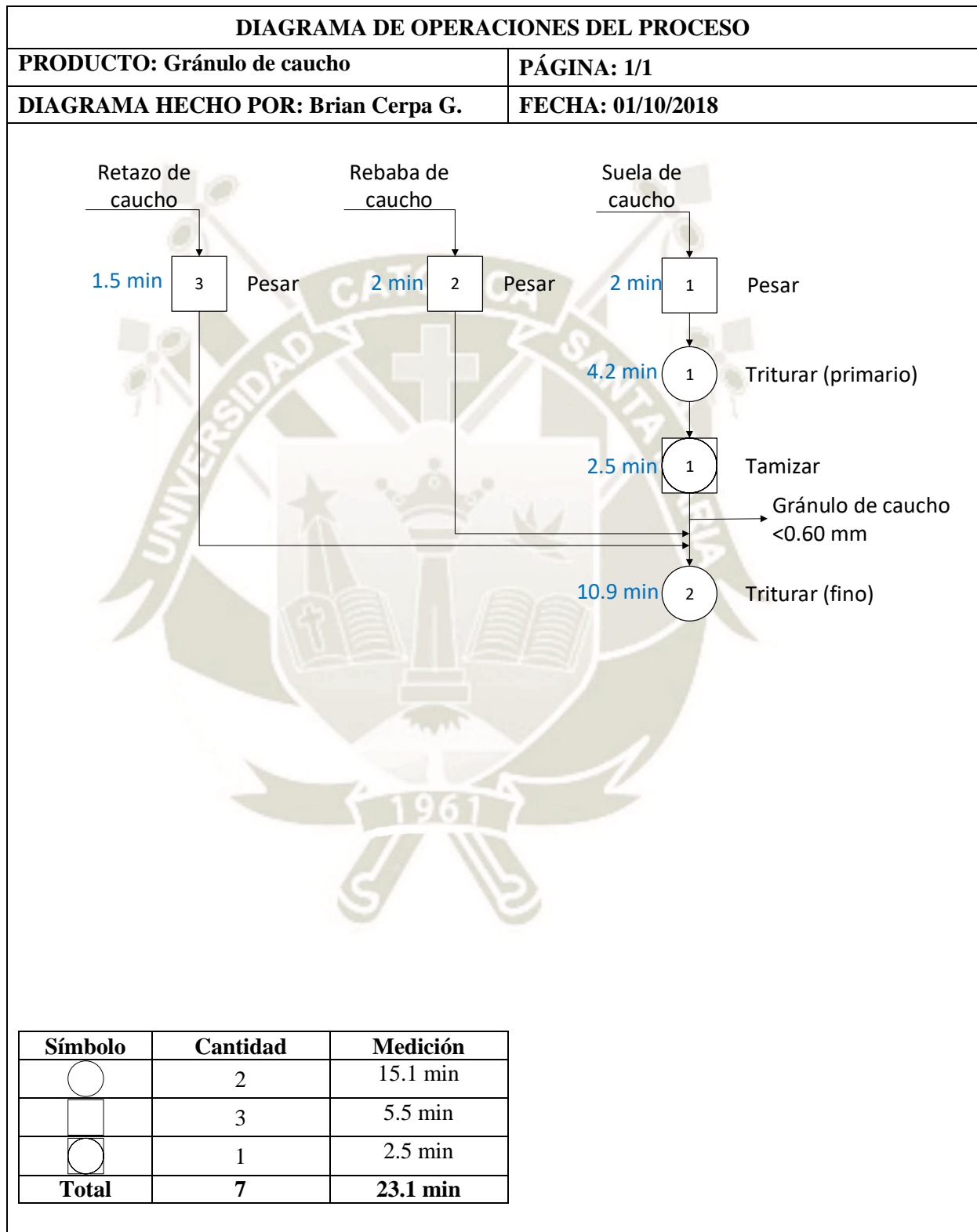
Diagrama 5: Diagrama de operaciones del proceso de reciclado de caucho para suelas con cerco



Fuente: Elaboración propia

4.3.4.2 Suelas sin cerco

Diagrama 6: Diagrama de operaciones del proceso de reciclado de caucho para suelas sin cerco

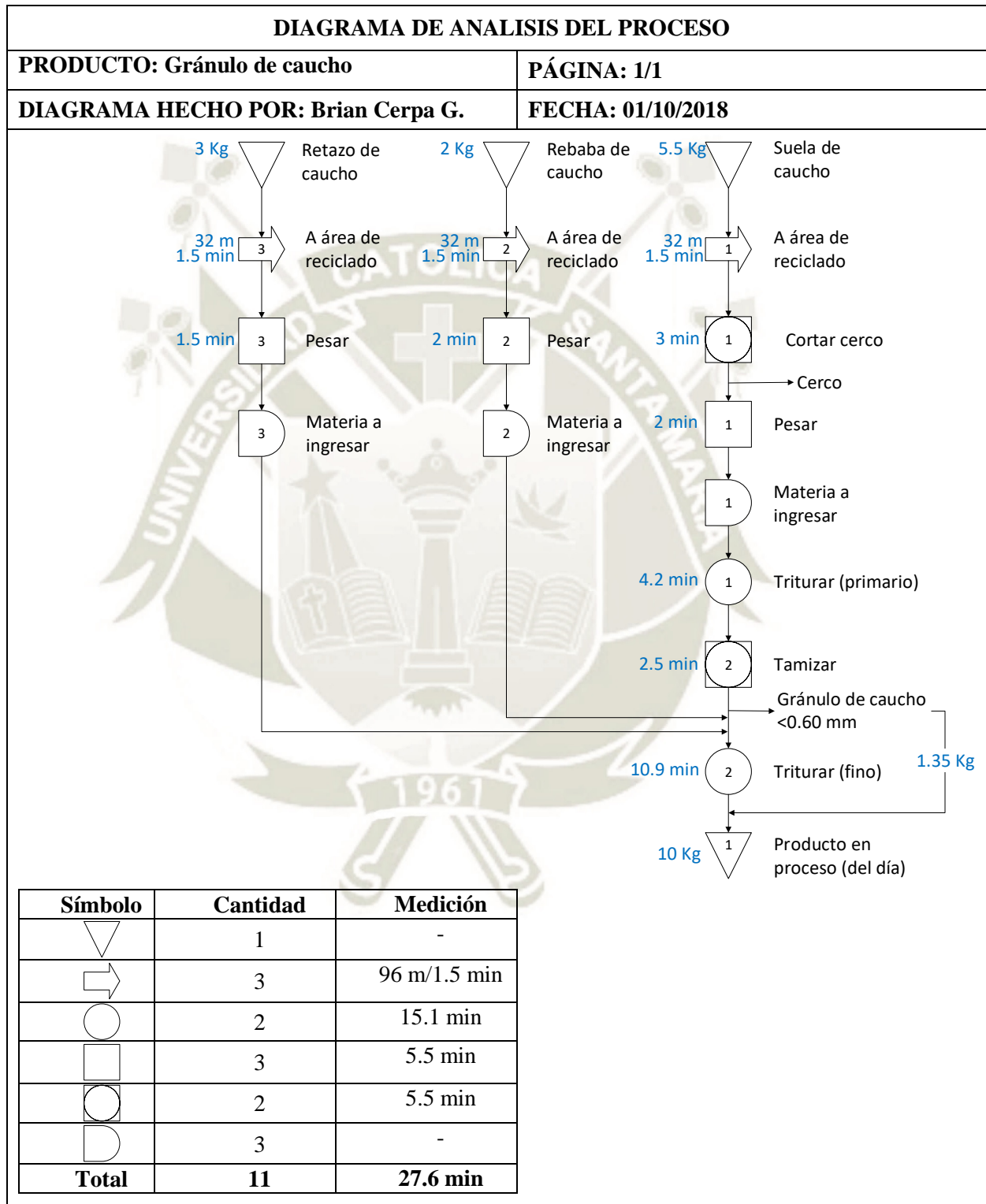


Fuente: Elaboración propia

4.3.5 Diagrama de análisis del proceso

4.3.5.1 Suelas con cerco

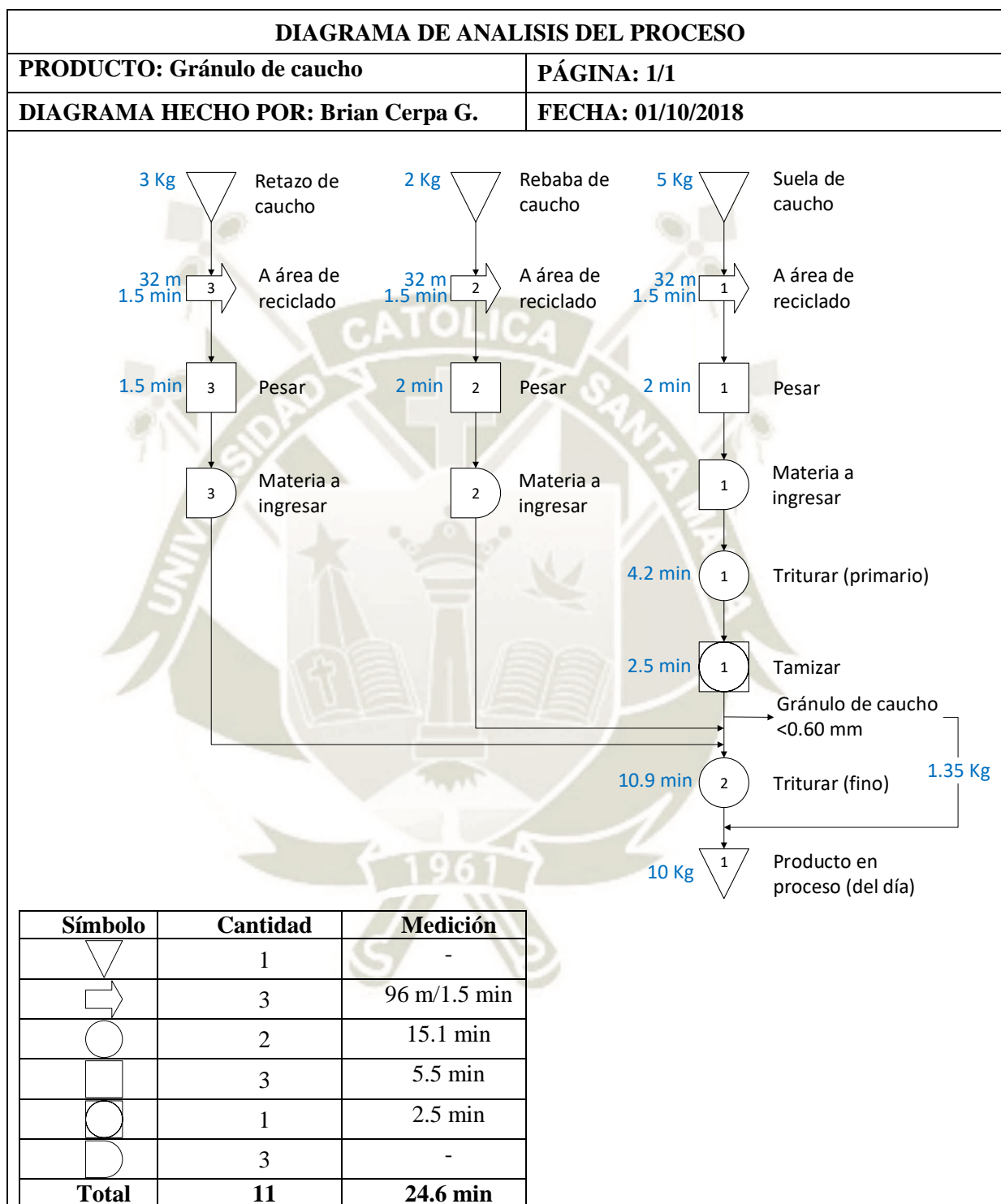
Diagrama 7: Diagrama de análisis del proceso de reciclado de caucho para suelas con cerco



Fuente: Elaboración propia

4.3.5.2 Suelas sin cerco

Diagrama 8: Diagrama de análisis del proceso de reciclado de caucho para suelas sin cerco



Fuente: Elaboración propia

4.3.6 Diagrama hombre máquina

Se realizó con la cantidad de 10 Kg de caucho por ciclo.

Diagrama 9: Diagrama hombre máquina del proceso de reciclado de caucho

DIAGRAMA HOMBRE-MÁQUINA									
Producto	Gránulo de caucho				Fecha	11/10/2018			
Proceso	Reciclado de caucho				N° Página	01/01			
Cantidad por ciclo	10 Kg				N° Diagrama	1			
Recursos	1 Trituradora primaria								
	1 Tamizadora								
	1 Trituradora fina								
	1 Operario								
Resumen									
Recurso	Operario		Trituradora primaria		Tamizadora		Trituradora fina		
Medición	Tiempo	%	Tiempo	%	Tiempo	%	Tiempo	%	
Actividad individual	375	46.3%	135	16.7%	60	7.4%	495	61.1%	
Actividad combinada	285	35.2%	120	14.8%	90	11.1%	165	20.4%	
Espera	150	18.5%	555	68.5%	660	81.5%	150	18.5%	
Ciclo	810		810		810		810		
Utilización	660	81.5%	255	31.5%	150	18.5%	660	81.5%	
Total seg	Total min	Operario	seg	Trit. Primaria	seg	Tamizadora	seg	Trit. Fina	seg
0	0	Cargar 5 Kg de suelas a trituradora primaria	120	Triturado	255			Triturado (2) (continuación)	135
15	0.25								
30	0.5								
45	0.75								
60	1								
75	1.25								
90	1.5	Descargar trituradora fina (2) y colocar gránulo de caucho en recipiente	75						
105	1.75								
120	2								
135	2.25								
150	2.5								
165	2.75								
180	3	Cargar trituradora fina con 3 Kg de rebabas y 2 Kg de retazos	120						
195	3.25								
210	3.5								
225	3.75								
240	4								
255	4.25								
270	4.5	Descargar trituradora primaria y cargar tamiz (5 Kg)	90			Tamizado	150	Triturado (1)	375
285	4.75								
300	5								
315	5.25								
330	5.5								
345	5.75								
360	6	Descargar de tamizadora los gránulos mayores a 0.60 mm	60						
375	6.25								
390	6.5								
405	6.75								
420	7								
435	7.25								
450	7.5	Descargar trituradora fina (1) y poner gránulo de caucho en recipiente	90						
465	7.75								
480	8								
495	8.25								
510	8.5								
525	8.75								
540	9	Cargar trituradora fina con gránulos mayores 0.60 mm	45						
555	9.25								
570	9.5								
585	9.75								
600	10								
615	10.25								
630	10.5	Descargar tamizadora y colocar gránulo en recipiente	60					Triturado (2) (continúa arriba)	150
645	10.75								
660	11								
675	11.25								
690	11.5								
705	11.75								
720	12								
735	12.25								
750	12.5								
765	12.75								
780	13								
795	13.25								
810	13.5								

Fuente: Elaboración propia

4.4 CAPACIDAD DEL PROCESO DE RECICLADO

Para determinar si la capacidad del proceso es la adecuada, primero se identificó las cantidades de gránulos de caucho necesarios para ser utilizados en la formulación, para ello se evaluaron distintas formulaciones.

La capacidad máxima instalada en el proceso de reciclaje es de 44.44 Kg/Hr o 355.56 Kg. en una jornada de 8 horas. Este valor se calculó a partir del diagrama hombre-máquina realizado.

4.4.1 Determinación de composición de las formulaciones

Según lo recomendado en formulaciones para vulcanizar se puede utilizar hasta máximo 50% de gránulos de caucho respecto al total de caucho presente para mantener la calidad del caucho vulcanizado. Para este estudio se realizó y puso a prueba tres formulaciones, en las cuales se reemplaza en cierto porcentaje al caucho regenerado.

Adicionalmente se estableció una formulación base (formulación 0) para determinar desde que porcentaje de utilización de reciclado permite que los residuos generados diariamente sean menores a los requeridos para el proceso, de esta manera asegurar que se consuma más de lo que se genera (esto se evidencia en la tabla N°17) para esta formulación no se realizó las pruebas de calidad.

En la tabla N°9 se muestra la composición actual para la formulación de un rollo de caucho negro, teniendo en cuenta que el peso total por carga o rollo es de 25 Kg.

Tabla 9: Composición de formulación actual de caucho negro.

Materia prima	Carga (Kg.)	Porcentaje
Caucho sintético	5.000	20.0%
Caucho natural	4.000	16.0%
Caucho regenerado	6.000	24.0%
Antioxidantes	0.225	0.9%
Plastificantes	1.060	4.2%
Acelerantes y agentes vulcanizantes	0.460	1.8%
Iniciadores de vulcanización	0.485	1.9%
Agente homogeneizante	7.770	31.1%
TOTAL	25.000	100.0%

Fuente: Elaboración propia

Se observa que la cantidad total de caucho utilizado es de 15 Kg. (entre el sintético, natural y regenerado), el caucho reciclado o gránulo de caucho reemplazará en parte al caucho regenerado; en la tabla N°10 se muestran las cantidades y porcentajes que se utilizarán para la evaluación de las formulaciones, teniendo en cuenta la cantidad total del caucho.

Tabla 10: Cantidad de caucho reciclado en formulaciones de prueba.

Número de formulación	Caucho total (Kg)	Gránulo de caucho (Kg)	Porcentaje
Formulación 0	15	2	13.3%
Formulación 1	15	2.5	16.7%
Formulación 2	15	3	20.0%
Formulación 3	15	3.5	23.3%

Fuente: Elaboración propia

4.4.1.1 Composición de la formulación 0

En la tabla N°11 se muestra la composición determinada para la formulación 0.

Tabla 11: Composición de formulación 0.

Materia prima	Carga (Kg.)	Porcentaje
Caucho sintético	5.000	20.0%
Caucho natural	4.000	16.0%
Caucho regenerado	4.000	16.0%
Caucho reciclado	2.000	8.0%
Antioxidantes	0.225	0.9%
Plastificantes	1.060	4.2%
Acelerantes y agentes vulcanizantes	0.460	1.8%
Iniciadores de vulcanización	0.485	1.9%
Agente homogeneizante	7.770	31.1%
TOTAL	25.000	100.0%

Fuente: Elaboración propia

4.4.1.2 Composición de la formulación 1

En la tabla N°12 se muestra la composición determinada para la formulación 1.

Tabla 12: Composición de formulación 1.

Materia prima	Carga (Kg.)	Porcentaje
Caucho sintético	5.000	20.0%
Caucho natural	4.000	16.0%
Caucho regenerado	3.500	14.0%
Caucho reciclado	2.500	10.0%
Antioxidantes	0.225	0.9%
Plastificantes	1.060	4.2%
Acelerantes y agentes vulcanizantes	0.460	1.8%
Iniciadores de vulcanización	0.485	1.9%
Agente homogeneizante	7.770	31.1%
TOTAL	25.000	100.0%

Fuente: Elaboración propia

4.4.1.3 Composición de la formulación 2

En la tabla N°13 se muestra la composición determinada para la formulación 2.

Tabla 13: Composición de formulación 2.

Materia prima	Carga (Kg.)	Porcentaje
Caucho sintético	5.000	20.0%
Caucho natural	4.000	16.0%
Caucho regenerado	3.000	12.0%
Caucho reciclado	3.000	12.0%
Antioxidantes	0.225	0.9%
Plastificantes	1.060	4.2%
Acelerantes y agentes vulcanizantes	0.460	1.8%
Iniciadores de vulcanización	0.485	1.9%
Agente homogeneizante	7.770	31.1%
TOTAL	25.000	100.0%

Fuente: Elaboración propia

4.4.1.4 Composición de la formulación 3

En la tabla N°14 se muestra la composición determinada para la formulación 3.

Tabla 14: Composición de formulación 3.

Materia prima	Carga (Kg.)	Porcentaje
Caucho sintético	5.000	20.0%
Caucho natural	4.000	16.0%
Caucho regenerado	2.500	10.0%
Caucho reciclado	3.500	14.0%
Antioxidantes	0.225	0.9%
Plastificantes	1.060	4.2%
Acelerantes y agentes vulcanizantes	0.460	1.8%
Iniciadores de vulcanización	0.485	1.9%
Agente homogeneizante	7.770	31.1%
TOTAL	25.000	100.0%

Fuente: Elaboración propia

4.4.2 Determinación de la necesidad máxima de residuos de caucho para el proceso

De lo anterior, en la tabla N°15 se calcula el máximo que se puede necesitar dependiendo del día con mayor producción en el año. El mes que representa la mayor producción es el de “Febrero” donde se requiere producir 23 rollos de caucho al día, en base a esto se calcula la necesidad máxima. Los datos de la producción anual de rollos de caucho negro se encuentran en el anexo 2 (tabla N°61).

Tabla 15: Caucho máximo requerido diariamente.

Número de formulación	Peso de gránulo (Kg)	Producción máxima diaria (Kg)
Formulación 0	2	46
Formulación 1	2.5	57.5
Formulación 2	3	69
Formulación 3	3.5	80.5

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que la producción necesaria para la formulación 3 (esta requiere mayor cantidad de caucho) no excede a la capacidad máxima que podría realizar el proceso de reciclado de caucho propuesto.

4.4.3 Determinación del tiempo máximo de procesamiento

Teniendo en cuenta la necesidad máxima diaria de caucho para reciclar, calculado en la tabla N°15; de igual manera se determinó el tiempo diario que se utilizaría en la producción de caucho reciclado evaluando las tres posibles formulaciones, los resultados se expresan en la tabla N°16.

Tabla 16: Tiempo máximo calculado de procesamiento requerido diariamente.

Número de formulación	Producción máxima diaria	Tiempo requerido diario (min)
Formulación 0	46	62.1
Formulación 1	57.5	77.6
Formulación 2	69	93.2
Formulación 3	80.5	108.7

Fuente: Elaboración propia

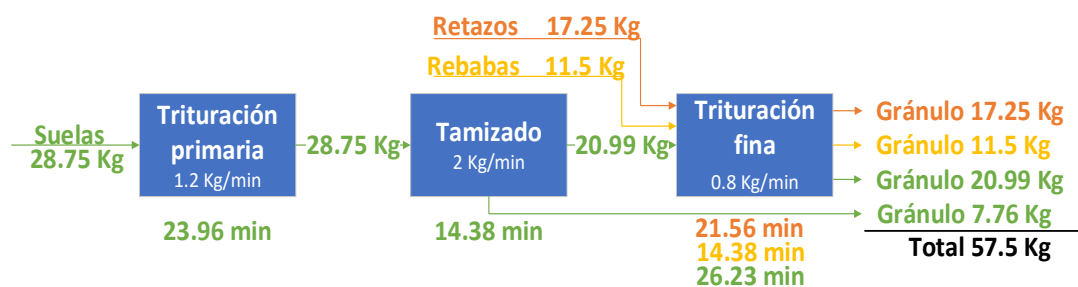
De igual manera que el punto anterior, se evidencia que el proceso tiene la capacidad suficiente para cubrir con la necesidad de gránulo de caucho o caucho reciclado.

4.4.4 Balance de materia del proceso

Se realizó teniendo en cuenta el día de mayor producción de rollos de caucho; por ende, cuando se requiere de mayor caucho reciclado.

4.4.4.1 Formulación 1

El balance de materia para la formulación 1 se muestra en la figura N°31.



Fuente: Elaboración propia

4.4.4.1 Formulación 2

El balance de materia para la formulación 2 se muestra en la figura N°32.

Figura 32: Balance de materia de la formulación 2.



Fuente: Elaboración propia

4.4.4.1 Formulación 3

El balance de materia para la formulación 3 se muestra en la figura N°33.

Figura 33: Balance de materia de la formulación 3.



Fuente: Elaboración propia

4.5 PROYECCIÓN DE LOS DE RESIDUOS DE CAUCHO

4.5.1 Formulación 0

Mediante el análisis mostrado en la tabla N°17, se puede evidenciar que en la proyección de la formulación la cantidad de residuos de caucho aumenta, lo cual va en contra de los objetivos, debido a que se desea disminuir la magnitud de dicha cantidad. Para realizar la proyección se hizo uso de los datos de producción mensual del anexo 1 (tabla N°60), anexo 2 (tabla N°61) y de la tabla N°6.

Tabla 17: Proyección de residuos de la formulación 0.

Año	2019														2020
Mes	PO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	
Producción mensual (rollos)	336	352	460	396	462	506	420	330	330	315	330	330	336	352	
Producción mensual (Kg) (25 Kg/rollo)	8400	8800	11500	9900	11550	12650	10500	8250	8250	7875	8250	8250	8400	8800	
Requerimiento de caucho reciclado (8%)		704.00	920.00	792.00	924.00	1012.00	840.00	660.00	660.00	630.00	660.00	660.00	672.00	704.00	
Gránulos del periodo anterior (0.27%)		22.40	23.47	30.67	26.40	30.80	33.73	28.00	22.00	22.00	21.00	22.00	22.00	22.40	
Requerimiento neto de caucho reciclado		681.60	896.53	761.33	897.60	981.20	806.27	632.00	638.00	608.00	639.00	638.00	650.00	681.60	
Requerimiento de suelas (0.5)		340.80	448.27	380.67	448.80	490.60	403.13	316.00	319.00	304.00	319.50	319.00	325.00	340.80	
Requerimiento de rebabas (0.2)		136.32	179.31	152.27	179.52	196.24	161.25	126.40	127.60	121.60	127.80	127.60	130.00	136.32	
Requerimiento de retazos (0.3)		204.48	268.96	228.40	269.28	294.36	241.88	189.60	191.40	182.40	191.70	191.40	195.00	204.48	
Nuevos residuos generados Suelas (3.41%)		300.37	392.53	337.92	394.24	431.79	358.40	281.60	281.60	268.80	281.60	281.60	286.72	300.37	
Nuevos residuos generados Rebabas (2%)		176.00	230.00	198.00	231.00	253.00	210.00	165.00	165.00	157.50	165.00	165.00	168.00	176.00	
Nuevos residuos generados Retazos (2.83%)		248.75	325.07	279.84	326.48	357.57	296.80	233.20	233.20	222.60	233.20	233.20	237.44	248.75	
Residuo actual Suelas	3700	3659.57	3603.84	3561.09	3506.53	3447.72	3402.99	3368.59	3331.19	3295.99	3258.09	3220.69	3182.41	3141.98	
Residuo actual Rebabas	1600	1639.68	1690.37	1736.11	1787.59	1844.35	1893.09	1931.69	1969.09	2004.99	2042.19	2079.59	2117.59	2157.27	
Residuo actual Retazos	2200	2244.27	2300.37	2351.81	2409.01	2472.23	2527.15	2570.75	2612.55	2652.75	2694.25	2736.05	2778.49	2822.75	
Total de residuo actual	7500	7543.52	7594.59	7649.01	7703.13	7764.29	7823.23	7871.03	7912.83	7953.73	7994.53	8036.33	8078.49	8122.01	

Fuente: Elaboración propia

La relación entre el caucho que se obtiene en el periodo y el que se usa es de 1.0618, lo cual quiere decir que el total de residuos de caucho aumenta en cada periodo.

4.5.2 Formulación 1

Por otra parte, en esta formulación se puede observar que el residuo total de caucho va disminuyendo conforme el paso de los periodos; en 52 meses (4 años y 4 meses) se consumirá todo lo almacenado, por lo cual para mantener constante el uso del caucho reciclado en el mes 53 se usará en la formulación el caucho obtenido en el mismo periodo; es decir que la formulación variará según la relación entre el caucho que se obtiene y el que se usa, que en el caso es de 0.8495, por ende la formulación en la cual se usa 2.5 kg de caucho reciclado para un rollo de 25 Kg pasará a ser de 2.12 Kg variando la formulación en 380 gr, siendo una variación pequeña que no afectara en gran medida a las características del caucho vulcanizado. La proyección se muestra en la tabla N°18. Para realizar la proyección se hizo uso de los datos de producción mensual del anexo 1 (tabla N°60), anexo 2 (tabla N°61) y de la tabla N°6.

Tabla 18: Proyección de residuos de la formulación 1.

Año		2019	2020	2021	2022	2023			
Mes	PO	-	-	-	-	ENE	FEB	MAR	ABR
Producción (rollos)	336	4567	4567	4567	4567	352	460	396	462
Producción mensual (Kg) (25 Kg/rollo)	8400	114175	114175	114175	114175	8800	11500	9900	11550
Requerimiento de caucho reciclado (10%)		11417.5	11417.5	11417.5	11417.5	880.0	1150.0	990.0	1155.0
Gránulos del periodo anterior (0.27%)		304.5	304.5	304.5	304.5	22.4	23.5	30.7	26.4
Requerimiento neto de caucho reciclado		11113.0	11113.0	11113.0	11113.0	857.6	1126.5	959.3	1128.6
Requerimiento de suelas (0.5)		5556.5	5556.5	4278.5	3897.2	300.4	392.5	337.9	394.2
Requerimiento de rebabas (0.2)		2222.6	2222.6	2850.7	3030.7	234.0	308.3	261.0	391.1
Requerimiento de retazos (0.3)		3333.9	3333.9	3983.9	4185.2	323.2	425.7	360.4	343.3
Nuevos residuos generados Suelas (3.41%)		3897.2	3897.2	3897.2	3897.2	300.4	392.5	337.9	394.2
Nuevos residuos generados Rebabas (2%)		2283.5	2283.5	2283.5	2283.5	176.0	230.0	198.0	231.0
Nuevos residuos generados Retazos (2.83%)		3227.3	3227.3	3227.3	3227.3	248.7	325.1	279.8	326.5
Residuo actual Suelas (Kg)	3700	2040.7	381.3	0	0	0	0	0	0
Residuo actual Rebabas (Kg)	1600	1660.9	1721.8	1154.6	407.5	349.4	271.1	208.1	48.1
Residuo actual Retazos (Kg)	2200	2093.4	1986.9	1230.3	272.5	198.0	97.4	16.8	0
Total de residuo actual (Kg)	7500	5795.0	4090.0	2385.0	679.9	547.5	368.5	225.0	48.1

Fuente: Elaboración propia

4.5.3 Formulación 2

De igual manera que la formulación anterior, en la formulación 2 se disminuye el total del caucho almacenado con el avance de los periodos, pero en esta se logra en menos tiempo (23 meses) y con una relación entre el caucho que se obtiene en el periodo y el que se usa de 0.7079, lo cual ya es una variación considerable en la formulación: de 3 Kg pasará a usarse 2.12 Kg para un rollo de 15 Kg (diferencia de 880 gr). La proyección se muestra en la tabla N°19. Para realizar la proyección se hizo uso de los datos de producción mensual del anexo 1 (tabla N°60), anexo 2 (tabla N°61) y de la tabla N°6.

Tabla 19: Proyección de residuos de la formulación 2.

Año		2019	2020									
Mes	PO	-	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT
Producción mensual (rollos)	336	4567	352	460	396	462	506	420	330	330	315	330
Producción mensual (Kg) (25 Kg/rollo)	8400	114175	8800	11500	9900	11550	12650	10500	8250	8250	7875	8250
Requerimiento de caucho reciclado (12%)		13701	1056	1380	1188	1386	1518	1260	990	990	945	990
Gránulos del periodo anterior (0.27%)		304.5	22.4	23.5	30.7	26.4	30.8	33.7	28.0	22.0	22.0	21.0
Requerimiento neto de caucho reciclado		13396.5	1033.6	1356.5	1157.3	1359.6	1487.2	1226.3	962.0	968.0	923.0	969.0
Requerimiento de suelas (0.5)		6698.3	516.8	678.3	578.7	550.2	431.8	358.4	281.6	281.6	268.8	281.6
Requerimiento de rebabas (0.2)		2679.3	206.7	271.3	231.5	356.1	464.4	381.9	299.4	302.0	287.8	302.5
Requerimiento de retazos (0.3)		4019.0	310.1	407.0	347.2	453.2	591.0	486.0	381.0	384.4	366.4	384.9
Nuevos residuos generados Suelas (3.41%)		3897.2	300.4	392.5	337.9	394.2	431.8	358.4	281.6	281.6	268.8	281.6
Nuevos residuos generados Rebabas (2%)		2283.5	176.0	230.0	198.0	231.0	253.0	210.0	165.0	165.0	157.5	165.0
Nuevos residuos generados Retazos (2.83%)		3227.3	248.7	325.1	279.8	326.5	357.6	296.8	233.2	233.2	222.6	233.2
Residuo actual Suelas (Kg)	3700	898.9	682.5	396.7	156.0	0	0	0	0	0	0	0
Residuo actual Rebabas (Kg)	1600	1204.2	1173.5	1132.2	1098.7	973.6	762.2	590.3	456.0	318.9	188.6	51.1
Residuo actual Retazos (Kg)	2200	1408.4	1347.1	1265.2	1197.8	1071.0	837.6	648.4	500.6	349.4	205.6	53.9
Total de residuo actual (Kg)	7500	3511.5	3203.0	2794.1	2452.5	2044.6	1599.8	1238.7	956.5	668.3	394.2	105.0

Fuente: Elaboración propia

4.5.4 Formulación 3

En la última formulación proyectada se consume el total de residuos en 14 meses, con una relación entre el caucho que se obtiene en el periodo y el que se usa de 0.6068; por lo cual el uso de caucho de reciclado en la formulación variará de 3.5 Kg a 2.12 Kg (diferencia de 1.38 Kg) llegando a afectar las características del caucho vulcanizado. Para realizar la proyección se hizo uso de los datos de producción mensual del anexo 1 (tabla N°60), anexo 2 (tabla N°61) y de la tabla N°6.

Tabla 20: Proyección de residuos de la formulación 3.

Año Mes	2019												2020		
	PO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
Producción mensual (rollos)	336	352	460	396	462	506	420	330	330	315	330	330	336	352	460
Producción mensual (Kg) (25 Kg/rollo)	8400	8800	11500	9900	11550	12650	10500	8250	8250	7875	8250	8250	8400	8800	11500
Requerimiento de caucho reciclado (14%)		1232.00	1610.00	1386.00	1617.00	1771.00	1470.00	1155.00	1155.00	1102.50	1155.00	1155.00	1176.00	1232.00	1610.00
Gránulos del periodo anterior (0.27%)		22.40	23.47	30.67	26.40	30.80	33.73	28.00	22.00	22.00	21.00	22.00	22.00	22.40	23.47
Requerimiento neto de caucho reciclado		1209.60	1586.53	1355.33	1590.60	1740.20	1436.27	1127.00	1133.00	1080.50	1134.00	1133.00	1154.00	1209.60	1586.53
Requerimiento de suelas (0.5)		604.80	793.27	677.67	795.30	870.10	718.13	563.50	566.50	540.25	567.00	566.50	334.16	300.37	392.53
Requerimiento de rebabas (0.2)		241.92	317.31	271.07	318.12	348.04	287.25	225.40	226.60	216.10	226.60	226.60	368.93	409.15	537.30
Requerimiento de retazos (0.3)		362.88	475.96	406.60	477.18	522.06	430.88	338.10	339.90	324.15	340.20	339.90	450.91	500.07	656.70
Nuevos residuos generados Suelas (3.41%)		300.37	392.53	337.92	394.24	431.79	358.40	281.60	281.60	268.80	281.60	281.60	286.72	300.37	392.53
Nuevos residuos generados Rebabas (2%)		176.00	230.00	198.00	231.00	253.00	210.00	165.00	165.00	157.50	165.00	165.00	168.00	176.00	230.00
Nuevos residuos generados Retazos (2.83%)		248.75	325.07	279.84	326.48	357.57	296.80	233.20	233.20	222.60	233.20	233.20	237.44	248.75	325.07
Residuo actual Suelas (Kg)	3700	3395.57	2994.84	2655.09	2254.03	1815.72	1455.99	1174.09	889.19	617.74	332.34	47.44	0	0	0
Residuo actual Rebabas (Kg)	1600	1534.08	1446.77	1373.71	1286.59	1191.55	1114.29	1053.89	992.29	933.69	871.89	810.29	609.36	376.21	68.91
Residuo actual Retazos (Kg)	2200	2085.87	1934.97	1808.21	1657.51	1493.03	1358.95	1254.05	1147.35	1045.80	938.80	832.10	618.62	367.29	35.66
Total de residuo actual (Kg)	7500	7015.52	6376.59	5837.01	5198.13	4500.29	3929.23	3482.03	3028.83	2597.23	2143.03	1689.83	1227.99	743.51	104.57

Fuente: Elaboración propia

De lo expuesto se puede mencionar que la formulación 0 aumenta la cantidad proyectada del caucho almacenado; las formulaciones 1, 2 y 3 disminuyen esta cantidad y al acabarse se tendrá que adaptar la formulación para usar el caucho obtenido en el periodo, siendo la formulación 1 la que representa la menor variación. En la tabla N°21 se resume la relación entre lo generado y requerido además de los meses necesarios para consumir todo el residuo de caucho almacenado.

Tabla 21: Resumen de proyección de caucho.

Formulación	0	1	2	3
Relación de generado y requerimiento	1.0618	0.8495	0.7079	0.6068
Periodo de consumo de residuo almacenado (meses)	-	52	23	14

Fuente: Elaboración propia

4.6 DISTRIBUCIÓN DE PLANTA

Para determinar la ubicación y distribución del lugar donde realizar el proceso de reciclado de caucho negro, primero se calculó el área requerida para una correcta

operación; luego se evaluó si el lugar propuesto tiene el espacio necesario y si se encuentra en una ubicación óptima, y por último se realizó la distribución dentro del área.

La distribución actual de la empresa de suelas está en el plano N°1

4.6.1 Cálculo de áreas (método Guerchet)

Para determinar el área total que se requiere, se registró las medidas de siete elementos: cuatro son equipos eléctricos, dos son áreas donde se colocan las materias y por último una mesa donde se realiza el corte de cerco si se requiere y se almacena herramientas.

En el área de materia a ingresar se ubican 4 cestas de plástico con una capacidad de 15 Kg cada una, en las cuales se transporta y contiene los 4 tipos de residuos de caucho; en el área de producto terminado se coloca un cilindro con una capacidad de 90 Kg, donde se ponen los gránulos de caucho obtenidos; para poder ser utilizados en la formulación de caucho negro.

El desarrollo del cálculo de áreas se da en la tabla N°22, a su vez, en la tabla N°23 se muestran los cálculos realizados para obtener el coeficiente de superficie evolutiva (k).

Tabla 22: Cálculo de áreas.

Elemento	n	N	Largo	Ancho	Ss	Sg	k	Se	St
Trituradora primaria	1	1	1.12	1.45	1.62	1.62	0.80	2.59	5.84
Tamizadora	1	1	2.00	1.00	2.00	2.00	0.80	3.19	7.19
Trituradora fina	1	1	1.30	1.60	2.08	2.08	0.80	3.31	7.47
Balanza digital	1	1	0.42	0.72	0.30	0.30	0.80	0.48	1.09
Mesa	1	1	0.60	0.60	0.36	0.36	0.80	0.57	1.29
Área de materia a ingresar	0	1	0.80	0.65	0.52	0.00	0.80	0.41	0.93
Área de producto terminado	0	1	0.60	0.60	0.36	0.00	0.80	0.29	0.65
Superficie Total en m2									24.45

Fuente: Elaboración propia

Donde:

- n Número de lados que van a ser utilizados
- N Número de elementos móviles o estáticos de un tipo
- Ss Superficie estática
- Sg Superficie Gravitacional
- k Coeficiente de Superficie Evolutiva

Se Superficie evolutiva

St Superficie Total

Tabla 23: Cálculo del coeficiente de superficie evolutiva.

Elementos estáticos		Elementos móviles	
Elemento	h2	Elemento	h1
Trituradora primaria	1.79	Operarios	1.65
Tamizadora	1.20		
Trituradora fina	1.32		
Balanza digital	0.83		
Mesa	0.70		
Materia a ingresar	0.87		
Producto terminado	0.54		
Promedio	1.04	Promedio	1.65
k	0.80		

Fuente: Elaboración propia

Donde:

h1 Altura promedio ponderada de los elementos móviles

h2 Altura promedio ponderada de los elementos estáticos

4.6.2 Ubicación del proceso de reciclado en el layout actual de planta

Para determinar si la ubicación propuesta es óptima se evaluó de manera cualitativa, teniendo en cuenta todas las áreas relacionadas con el proceso de reciclado. La superficie necesaria es de 24.45 m² y el área disponible es de 31.82 m².

4.6.2.1 Determinación del grado de proximidad

En la tabla N°24 se muestra el grado de proximidad y el valor que representa.

Tabla 24: Grado de proximidad.

Valor	Proximidad
A	Absolutamente necesario
E	Especialmente importante
I	Importante
O	Normal u ordinaria
U	Sin importancia
X	No recomendable

Fuente: Elaboración propia

4.6.2.2 Determinación de razones de proximidad

En la tabla N°25 se exponen las razones de proximidad y el código al que están relacionado.

Tabla 25: Razones de proximidad.

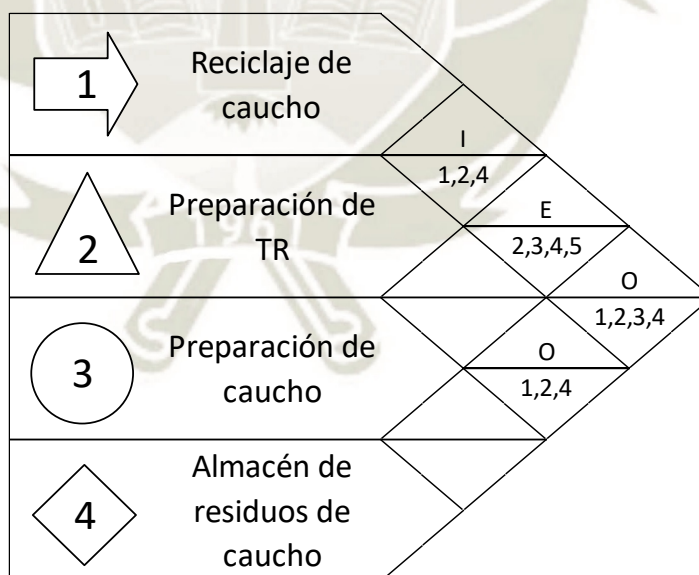
Código	Motivo
1	Uso de mismo personal
2	Accesibilidad
3	Continuidad del proceso
4	Distancia recorrida
5	Recorrido de producto

Fuente: Elaboración propia

4.6.2.3 Tabla relacional de actividades

En la tabla N°26 se muestra el desarrollo de la tabla relacional de actividades para el área de reciclaje de caucho.

Tabla 26: Relación de actividades.



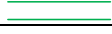

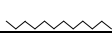


Fuente: Elaboración propia

4.6.2.4 Diagrama relacional de actividades

En la tabla N°27 se proporciona el código de líneas que se utilizó para realizar el diagrama relacional de actividades.

Tabla 27: Código de líneas de diagrama relacional de actividades.

Código	Proximidad	Línea	Tipo de línea
A	Absolutamente necesario		4 rectas - rojo
E	Especialmente importante		3 rectas - amarillo
I	Importante		2 rectas - verde
O	Normal u ordinaria		1 recta - azul
U	Sin importancia	-	-
X	No recomendable		1 zigzag - plomo

Fuente: Elaboración propia

El diagrama relacional de actividades se encuentra en el plano N°2.

4.6.3 Distribución en el área del proceso de reciclado

4.6.3.1 Determinación del grado de proximidad

En la tabla N°28 se muestra el grado de proximidad y el valor que representa.

Tabla 28: Grado de proximidad.

Valor	Proximidad
A	Absolutamente necesario
E	Especialmente importante
I	Importante
O	Normal u ordinaria
U	Sin importancia
X	No recomendable

Fuente: Elaboración propia

4.6.3.2 Determinación de razones de proximidad

En la tabla N°29 se exponen las razones de proximidad y el código al que está relacionado.

Tabla 29: Razones de proximidad.

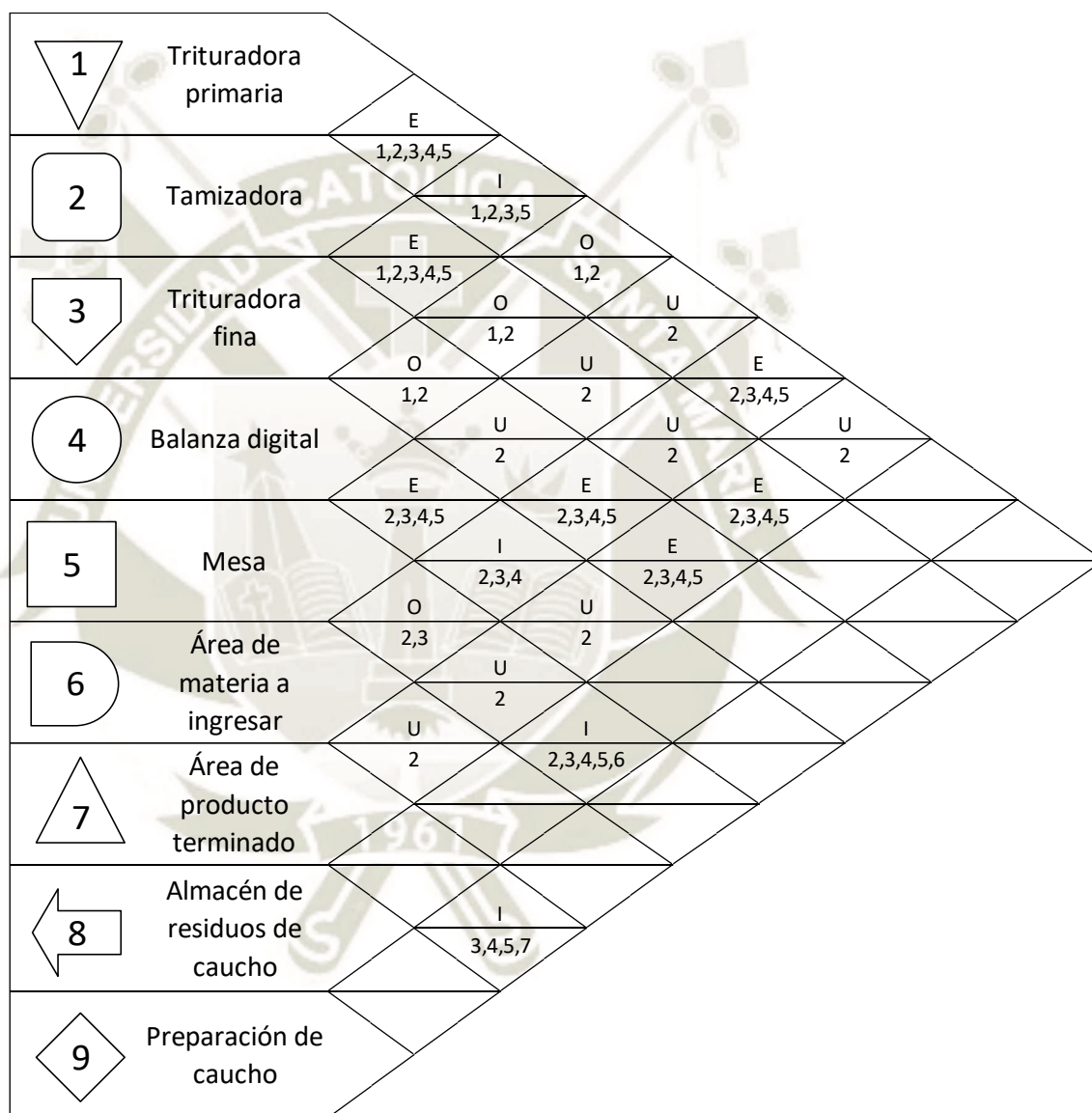
Código	Motivo
1	Equipo eléctrico
2	Uso de mismo personal
3	Accesibilidad
4	Fases continuas
5	Distancia recorrida
6	Cercanía al ingreso
7	Cercanía a la salida

Fuente: Elaboración propia

4.6.3.3 Tabla relacional del proceso de reciclado

En la tabla N°30 se muestra el desarrollo de la tabla relacional de actividades para el proceso de reciclaje de caucho negro.

Tabla 30: Relación de actividades.








Fuente: Elaboración propia

Los elementos número 8 y 9 no se encuentran dentro del área, pero tienen relación con el proceso porque son actividades precedentes y consecuentes respectivamente.

4.6.3.4 Diagrama relacional de actividades

En la tabla N°31 se proporciona el código de líneas que se utilizó para realizar el diagrama relacional de actividades.

Tabla 31: Código de líneas de diagrama relacional de actividades.

Código	Proximidad	Línea	Tipo de línea
A	Absolutamente necesario		4 rectas - rojo
E	Especialmente importante		3 rectas - amarillo
I	Importante		2 rectas - verde
O	Normal u ordinaria		1 recta - azul
U	Sin importancia	-	-
X	No recomendable		1 zigzag - plomo




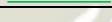

Fuente: Elaboración propia

El diagrama se encuentra en el plano N°3

4.6.3.5 Diagrama relacional de espacios

En la tabla N°32 se proporciona el código de líneas que se utilizó para realizar el diagrama relacional de espacios.

Tabla 32: Código de líneas de diagrama relacional de espacios.

Código	Proximidad	Línea	Tipo de línea
A	Absolutamente necesario		4 rectas - rojo
E	Especialmente importante		3 rectas - amarillo
I	Importante		2 rectas - verde
O	Normal u ordinaria		1 recta - azul
U	Sin importancia	-	-
X	No recomendable		1 zigzag - plomo

Fuente: Elaboración propia

El diagrama se encuentra en el plano N°4

4.6.3.4 Distribución en el área del proceso de reciclado

La distribución se encuentra en el plano N°5

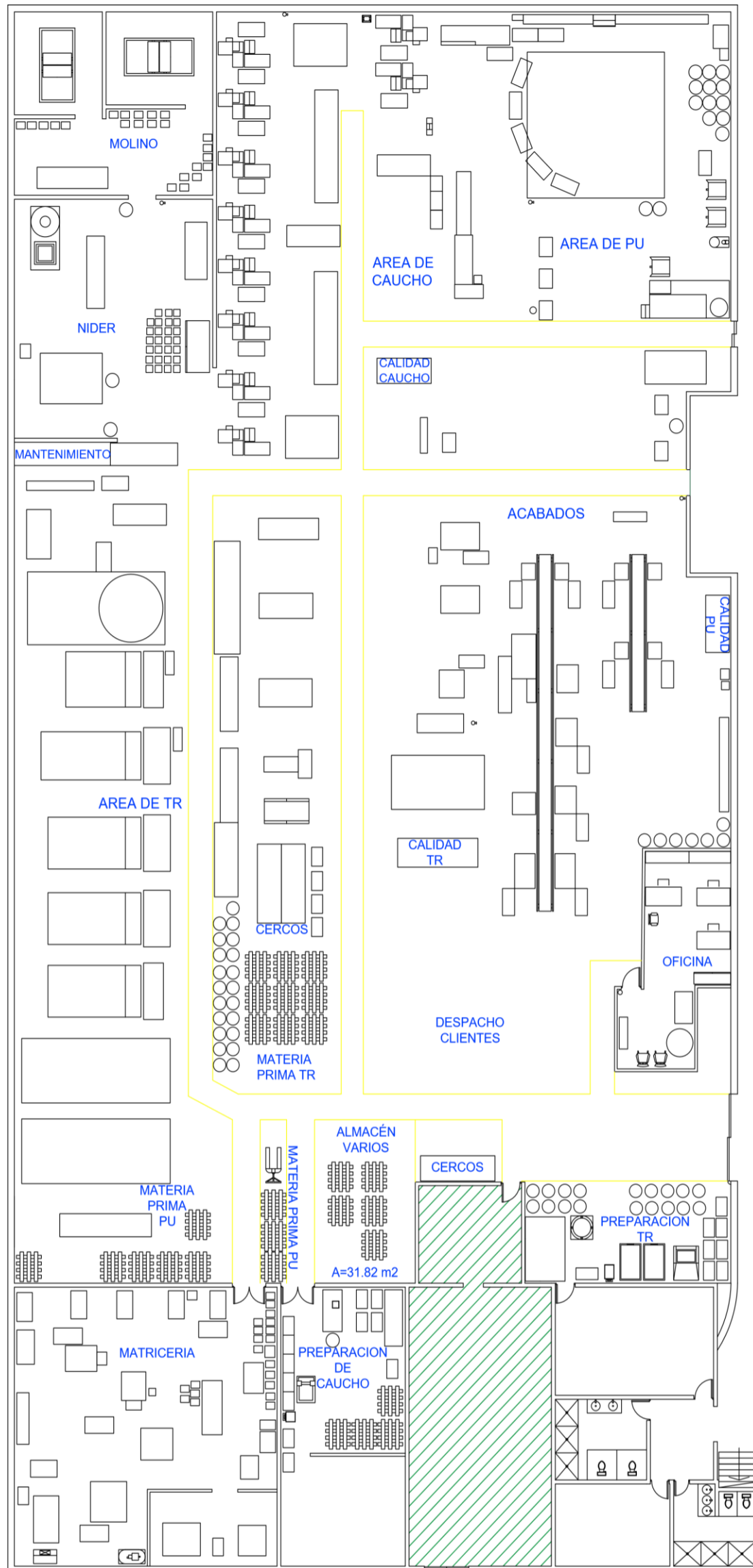
4.6.4 Diagrama de recorrido en el área de proceso de reciclado

4.6.4.1 Suelas con cerco

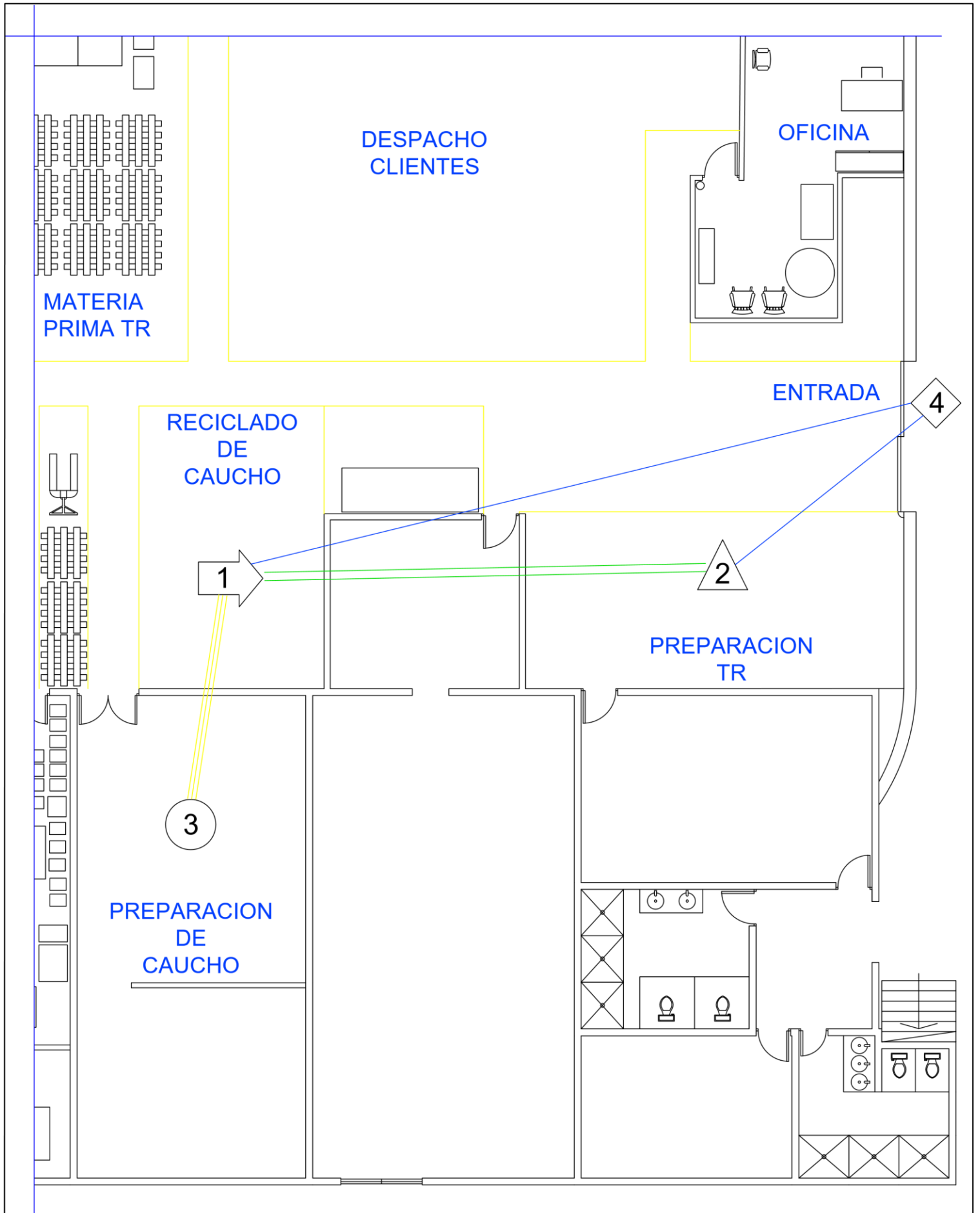
El diagrama de recorrido de las suelas con cerco se encuentra en el plano N°6

4.6.4.2 Suelos sin cerco

El diagrama de recorrido de las suelas sin cerco Se encuentra en el plano N°7



	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	EMPRESA DE SUELAS
DIBUJADO	20/10/18	BRIAN CERPA		
REVISADO				
ESCALA	DISTRIBUCIÓN DE PLANTA ACTUAL			PLANO NÚMERO 1
1:200				SUSTITUYE A
				SUSTITUIDO POR



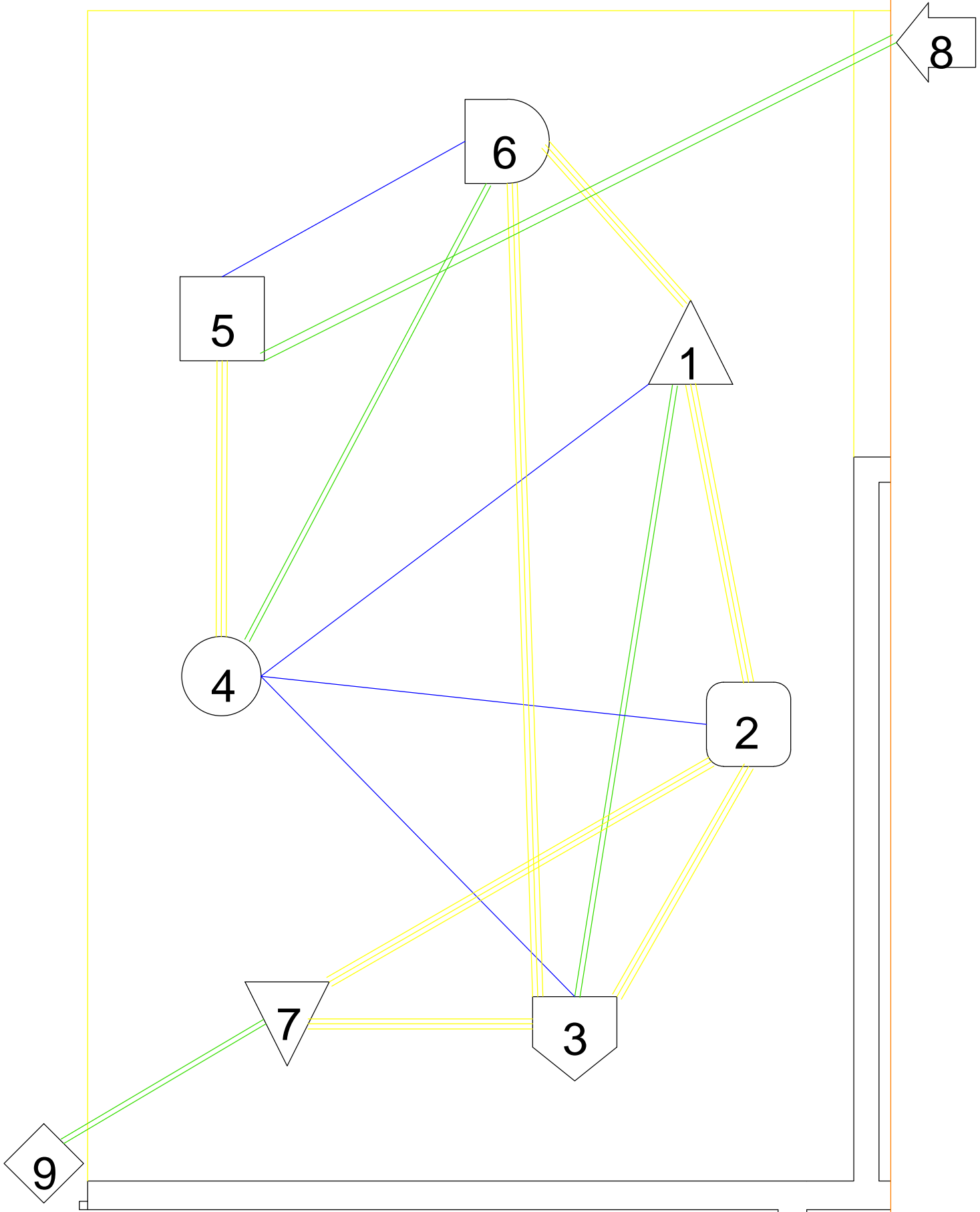
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS
DIBUJADO	28/10/18	BRIAN CERPA	
REVISADO			

EMPRESA DE SUELAS

ESCALA
1:120

DIAGRAMA RELACIONAL DE ACTIVIDADES

PLANO NÚMERO 2
SUSTITUYE A
SUSTITUIDO POR



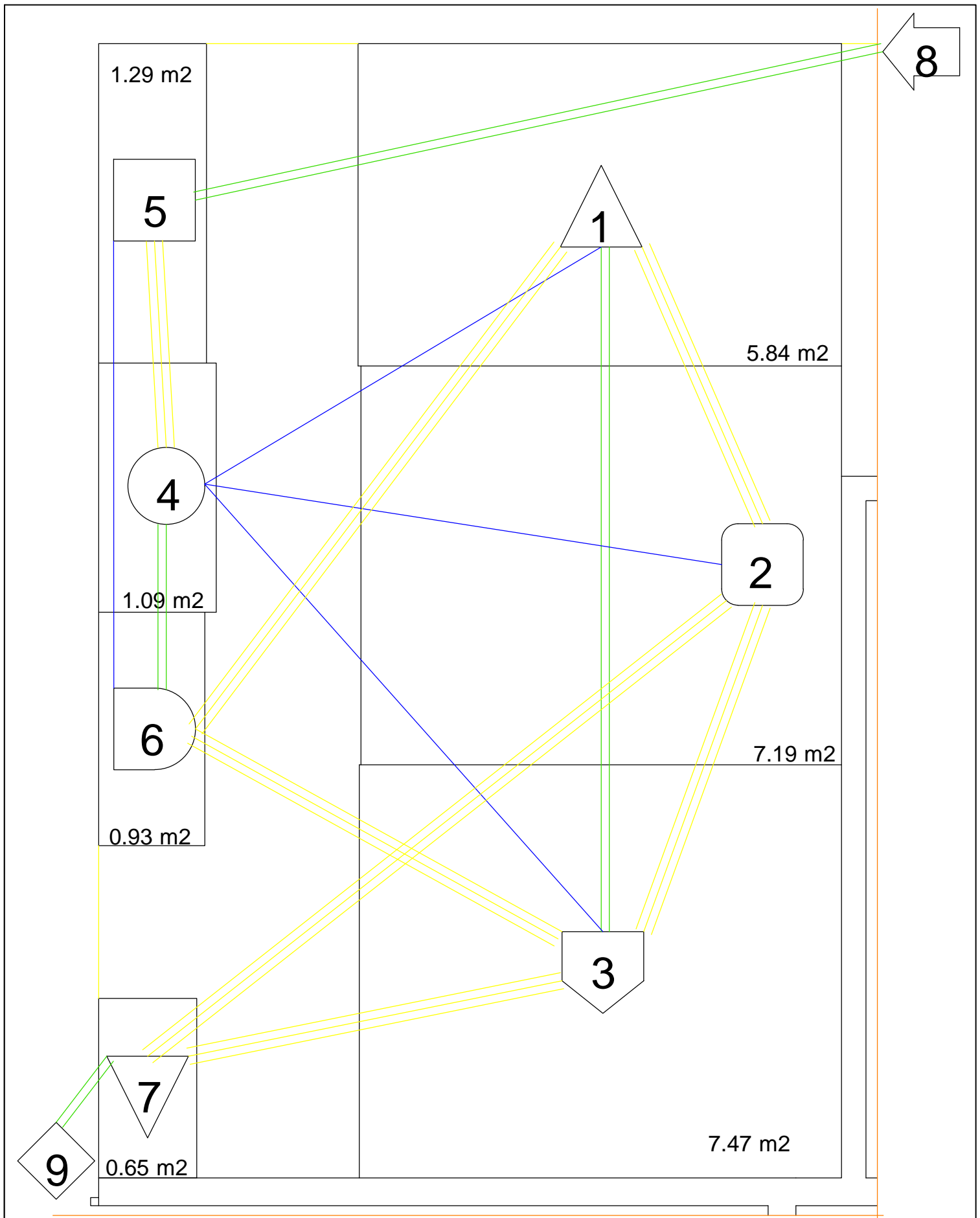
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS
DIBUJADO	28/10/18	BRIAN CERPA	
REVISADO			

EMPRESA DE SUELAS

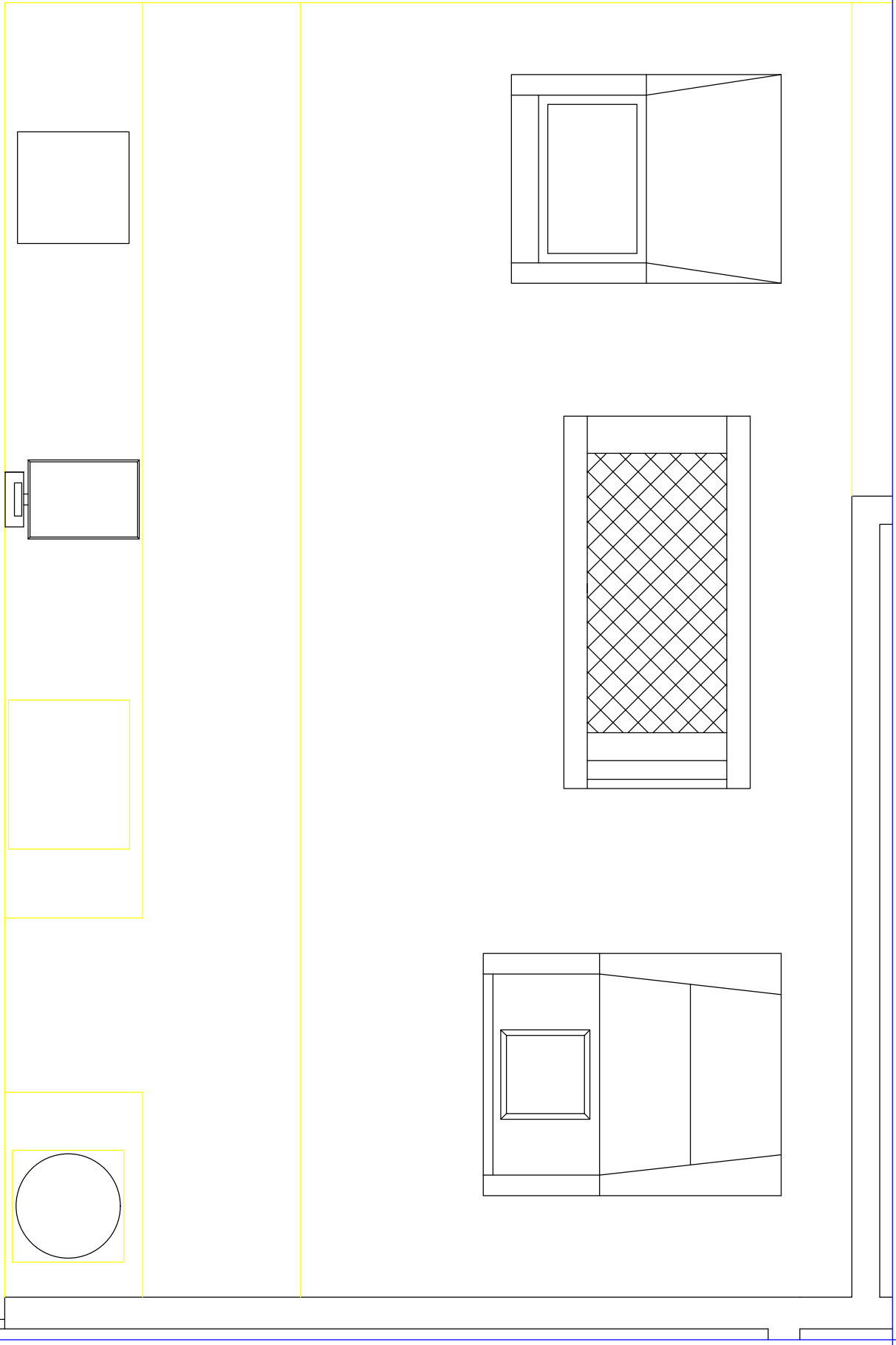
ESCALA
1:30

110
**DIAGRAMA RELACIONAL DE
ACTIVIDADES - RECICLADO**

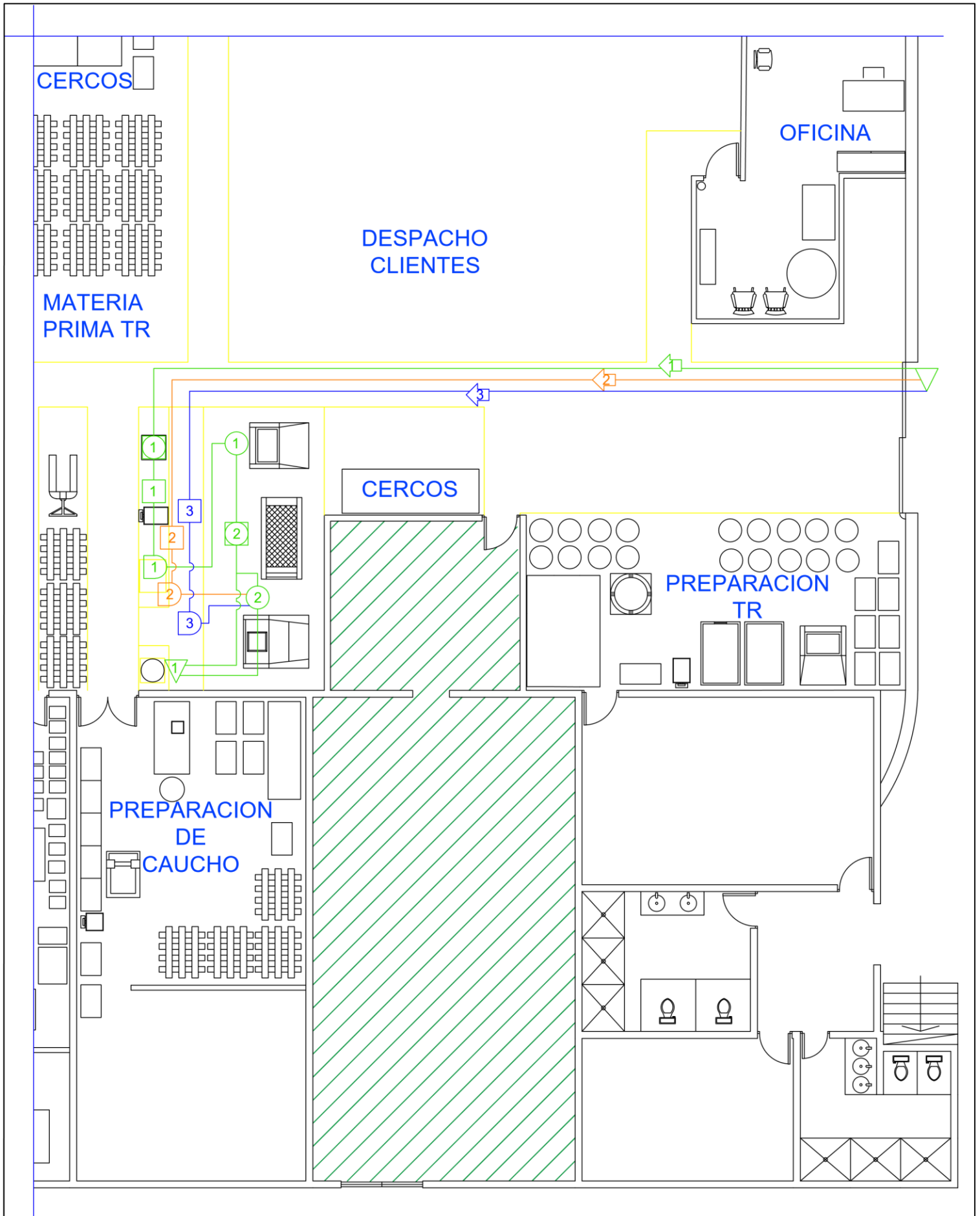
PLANO NÚMERO 3
SUSTITUYE A
SUSTITUIDO POR



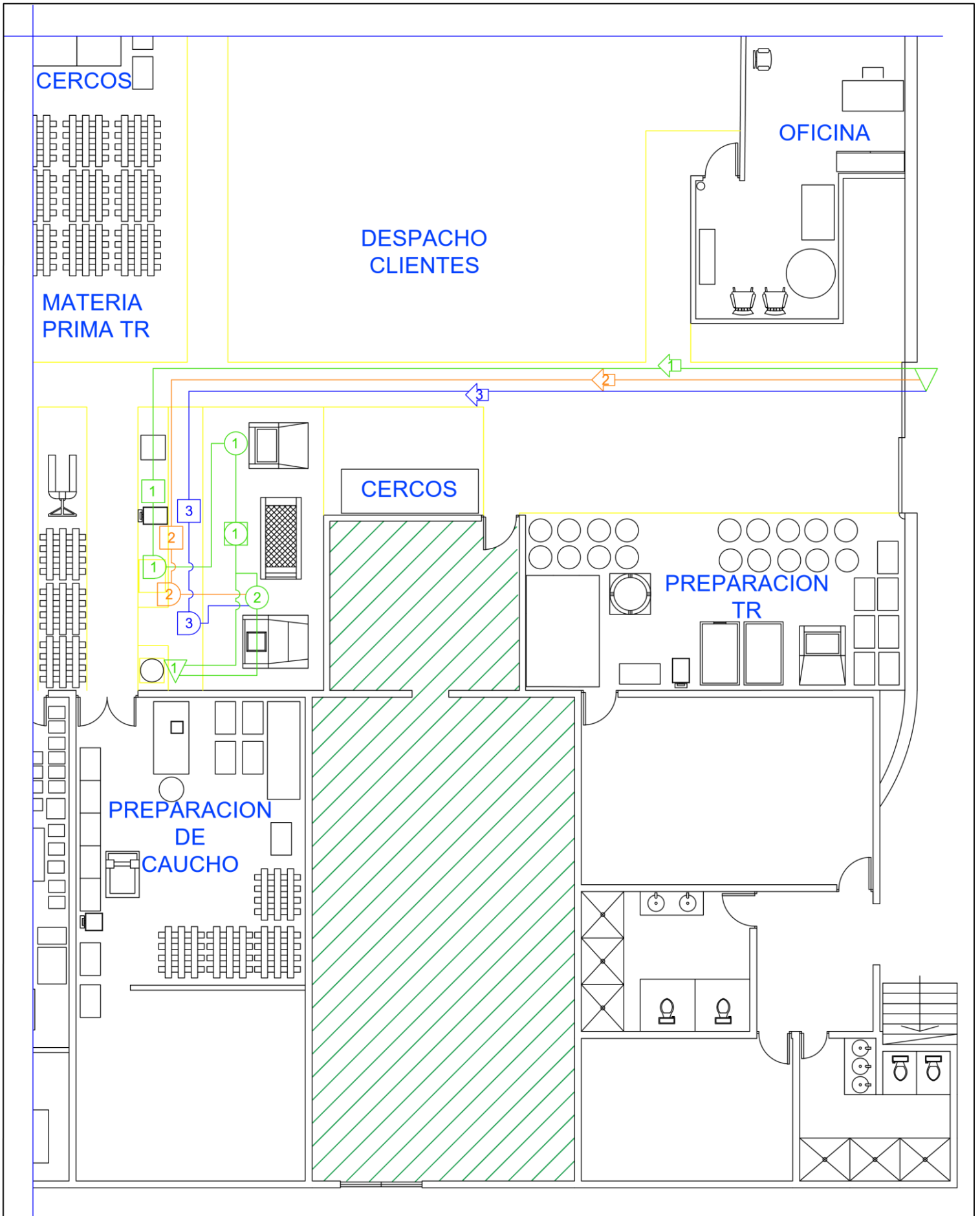
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	EMPRESA DE SUELAS
DIBUJADO	28/10/18	BRIAN CERPA		
REVISADO				
ESCALA	111 DIAGRAMA RELACIONAL DE ESPACIOS - RECICLADO			PLANO NÚMERO 4
1:30				SUSTITUYE A
				SUSTITUIDO POR



	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	EMPRESA DE SUELAS
DIBUJADO	28/10/18	BRIAN CERPA		
REVISADO				
ESCALA	DISTRIBUCIÓN DE PLANTA ¹¹² PROCESO DE RECICLADO			PLANO NÚMERO 5
1:30				SUSTITUYE A
				SUSTITUIDO POR



	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	EMPRESA DE SUELAS
DIBUJADO	28/10/18	BRIAN CERPA		
REVISADO				
ESCALA	113 DIAGRAMA DE RECORRIDO CON CERCO			PLANO NÚMERO 6
1:120				SUSTITUYE A
				SUSTITUIDO POR



	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	EMPRESA DE SUELAS
DIBUJADO	28/10/18	BRIAN CERPA		
REVISADO				
ESCALA	DIAGRAMA DE RECORRIDO 114 SIN CERCO			PLANO NÚMERO 7
1:120				SUSTITUYE A
		SUSTITUIDO POR		

CAPÍTULO V

5. PRUEBAS DE CALIDAD

5.1 APLICACIÓN DE PRUEBAS DE CALIDAD

5.1.1 Grado de dureza (NTP 300.022-2013)

Esta prueba se realizó según lo especificado en la norma técnica peruana NTP 300.022-2013; la cual es una norma recomendable mas no obligatoria.

5.1.1.1 Objetivo de aplicación

Esta prueba se realiza para poder conocer y comparar las características que tienen las tres formulaciones respecto a la resistencia que presenta la superficie de una probeta de caucho vulcanizado a la penetración intencionada de la aguja de un durómetro al aplicarle una fuerza definida y constante.

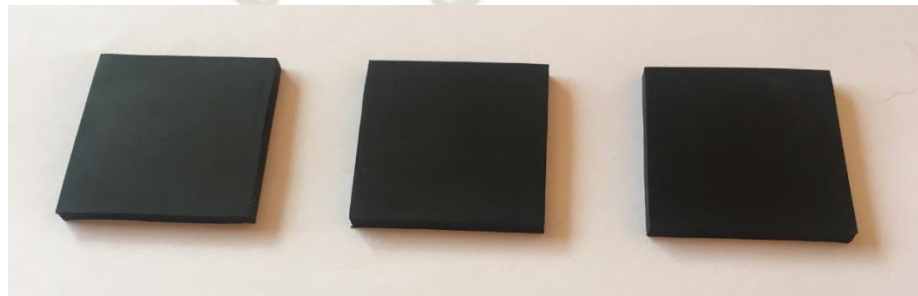
5.1.1.2 Principio de la prueba

Consiste en cuantificar la magnitud de penetración de la aguja del durómetro en una probeta y expresar el resultado obtenido como el grado de dureza que posee la muestra.

5.1.1.3 Muestra

Las probetas utilizadas en esta prueba se vulcanizaron manteniendo sus superficies lisas y planas, respecto a sus dimensiones el espesor fue de 10 mm y sus lados medían 45 mm. Estas se muestran mediante la figura N°34.

Figura 34: Probetas para la prueba de grado de dureza.



Fuente: Elaboración propia

5.1.1.4 Procedimiento de la prueba

El procedimiento se siguió conforme lo especificado en la norma técnica peruana NTP 300.022:

Las probetas se colocaron sobre una superficie plana, horizontal y dura; luego se ubicó el durómetro encima de cada probeta con dirección perpendicular; se procedió a aplicar presión de manera rápida evitando golpear el durómetro y logrando hacer contacto entre la base de presión y la superficie de la probeta sin deformarla; finalmente de manera inmediata se tomó la lectura del valor presente en la escala manteniendo la presión.

Se tomaron 3 lecturas por cada probeta (formulación), las perforaciones se realizaron más de 12 mm alejado del borde de la probeta y separados por lo menos 6 mm entre sí. Para calcular el resultado se promedió los valores obtenidos.

La prueba se realizó a temperatura ambiente

5.1.2 Resistencia a la abrasión (NTP-ISO 20871-2006)

Esta prueba se realizó según lo especificado en la norma técnica peruana NTP-ISO 20871-2006; la cual es una norma recomendable mas no obligatoria.

5.1.2.1 Objetivo de aplicación:

Esta prueba se realiza para poder conocer y comparar las características que tienen las tres formulaciones respecto a la resistencia que presenta la superficie de una probeta de caucho vulcanizado al aplicar una acción mecánica desgastante de forma constante y controlada.

5.1.2.2 Principio del ensayo:

Consiste en colocar una probeta de caucho vulcanizado sobre una tela abrasiva rotativa de granulometría definida, por un tiempo y distancia recorrida controlada; con el fin de provocar desgaste y cuantificar la pérdida relativa de masa y de volumen de la muestra.

5.1.2.4 Muestra:

Las probetas utilizadas en esta prueba se vulcanizaron manteniendo sus superficies lisas y planas, estas eran de forma cilíndrica con un radio de 8 mm y un espesor de 10 mm. Se utilizan 3 probetas por cada formulación. Estas se muestran en la figura N°35.

Figura 35: Probetas para la prueba de resistencia a la abrasión.



Fuente: Elaboración propia

5.1.2.5 Procedimiento de ensayo:

El procedimiento se siguió conforme lo especificado en la norma técnica peruana NTP-ISO 20871:

Primero se obtiene la masa de la probeta aproximándolo al miligramo más cercano; luego se la coloca en el portaprobetas dejando sobresalir 2 mm, se coloca el brazo en el punto de partida y se aplica la presión de 10 N en la probeta contra el cilindro, se inicia la prueba y se espera a que finalice automáticamente, finalmente se registra la el nuevo peso para realizar el cálculo de la pérdida relativa de masa y de volumen.

Esta prueba se realiza a temperatura ambiente, se toma como mínimo 3 lecturas por cada formulación de caucho propuesta. El resultado final se obtiene al promediar los valores obtenidos.

5.2 RESULTADO DE PRUEBAS DE CALIDAD

5.2.1 Grado de dureza

- Formulación 1:

Este cálculo se puede apreciar en el anexo 3 (tabla N°62) cuyo resumen se da en la tabla N°33.

Tabla 33: Resultado de prueba de dureza de formulación 1.

Muestra	Formulación 1
Descripción de la muestra	La probeta utilizada es de caucho negro vulcanizado, de superficie lisa y plana, de forma cuadrada con 45 mm de lado y con espesor de 10 mm
Lecturas	Se realizaron 3 lecturas en la muestra.
Tipo de durómetro	Shore A.
Temperatura de ensayo	23 grados Celsius
Grado de dureza promedio	67° Shore A

Fuente: Elaboración propia

- Formulación 2:

Este cálculo se puede apreciar en el anexo 3 (tabla N°63) cuyo resumen se da en la tabla N°34.

Tabla 34: Resultado de prueba de dureza de formulación 2.

Muestra	Formulación 2
Descripción de la muestra	La probeta utilizada es de caucho negro vulcanizado, de superficie lisa y plana, de forma cuadrada con 45 mm de lado y con espesor de 10 mm
Lecturas	Se realizaron 3 lecturas en la muestra.
Tipo de durómetro	Shore A.
Temperatura de ensayo	23 grados Celsius
Grado de dureza promedio	70° Shore A

Fuente: Elaboración propia

- Formulación 3:

Este cálculo se puede apreciar en el anexo 3 (tabla N°64) cuyo resumen se da en la tabla N°35.

Tabla 35: Resultado de prueba de dureza de formulación 3.

Muestra	Formulación 3
Descripción de la muestra	La probeta utilizada es de caucho negro vulcanizado, de superficie lisa y plana, de forma cuadrada con 45 mm de lado y con espesor de 10 mm
Lecturas	Se realizaron 3 lecturas en la muestra.
Tipo de durómetro	Shore A.
Temperatura de ensayo	23 grados Celsius
Grado de dureza promedio	72° Shore A

Fuente: Elaboración propia

5.2.2 Resistencia a la abrasión

- Formulación 1:

Este cálculo se puede apreciar en el anexo 4 (tabla N°65) cuyo resumen se da en la tabla N°36.

Tabla 36: Resultado de prueba de abrasión de formulación 1.

Muestra	Formulación 1
Resultado	Pérdida relativa de masa: 94.667 mg Pérdida relativa de volumen: 94.856 mm ³
Descripción de la muestra	Se utilizaron 3 probetas de caucho negro vulcanizado, de superficie lisa y plana, de forma cilíndrica de diámetro de 16 mm de lado y con espesor de 10 mm
Referencia	NTP-ISO 20871
Desviación del procedimiento	No se presentó ninguna desviación durante el ensayo
Densidad	0.998 mg/mm ³

Fuente: Elaboración propia

- Formulación 2:

Este cálculo se puede apreciar en el anexo 4 (tabla N°66) cuyo resumen se da en la tabla N°37.

Tabla 37: Resultado de prueba de abrasión de formulación 2.

Muestra	Formulación 2
Resultado	Pérdida relativa de masa: 96.667 mg Pérdida relativa de volumen: 96.958 mm ³
Descripción de la muestra	Se utilizaron 3 probetas de caucho negro vulcanizado, de superficie lisa y plana, de forma cilíndrica de diámetro de 16 mm de lado y con espesor de 10 mm
Referencia	NTP-ISO 20871
Desviación del procedimiento	No se presentó ninguna desviación durante el ensayo
Densidad	0.997 mg/mm ³

Fuente: Elaboración propia

- Formulación 3:

Este cálculo se puede apreciar en el anexo 4 (tabla N°67) cuyo resumen se da en la tabla N°38.

Tabla 38: Resultado de prueba de abrasión de formulación 3.

Muestra	Formulación 3
Resultado	Pérdida relativa de masa: 100.333 mg Pérdida relativa de volumen: 100.838 mm ³
Descripción de la muestra	Se utilizaron 3 probetas de caucho negro vulcanizado, de superficie lisa y plana, de forma cilíndrica de diámetro de 16 mm de lado y con espesor de 10 mm
Referencia	NTP-ISO 20871
Desviación del procedimiento	No se presentó ninguna desviación durante el ensayo
Densidad	0.995 mg/mm ³

Fuente: Elaboración propia

5.2.3 Elección de formulación óptima

Teniendo en cuenta las características de la formulación actual de las suelas de caucho negro, de los límites permisibles y de los resultados obtenidos en las pruebas de calidad de los anexos 3 y 4; se realizó un cuadro comparativo en la tabla N°39.

Tabla 39: Comparación de resultados de pruebas de calidad.

Prueba de calidad	Dureza Shore A	Resistencia abrasión
Límite permisible	Entre 55 y 80	Menor a 120 mm ³
Formulación actual	63	92
Formulación 1	67	94.86
Formulación 2	70	96.96
Formulación 3	72	100.84

Fuente: Elaboración propia

Como resultado de las pruebas realizadas se concluyó que la dureza de las probetas aumenta al incrementar el porcentaje de caucho reciclado usado en la formulación; por otra parte, la resistencia a la abrasión y la cantidad de caucho reciclado son inversos; es decir la resistencia disminuye conforme se aumenta la cantidad de caucho reciclado.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos se decide que la formulación más óptima a seleccionar debe cumplir:

- En el caso del grado de dureza (Shore A), debe ubicarse en un valor intermedio dentro del intervalo de 55 y 80, esto debido a que se puede tener un mayor margen de desviación o de tolerancia (un proceso centrado y capaz); por ejemplo, de tenerse un valor de 67.5 este puede tener una tolerancia máxima de ± 12.5 sin sobrepasar los límites permisibles.
- En cuanto a la resistencia a la abrasión, como se tiene un límite superior la opción adecuada a tomar es seleccionar el valor más alejado a este.

De todo lo mencionado se decide que la formulación más óptima para el proceso es la número 1, porque es la que mejor cumple con los requisitos propuestos.

CAPÍTULO VI

6. EVALUACIÓN ECONÓMICA

6.1 ESTRUCTURA DE LA INVERSIÓN

6.1.1 Inversión

En la tabla N°40 se muestra el total de inversión a realizar para poder implementar el proceso de reciclado de caucho.

Tabla 40: Inversión requerida para implementación del proceso de reciclado.

Descripción	Costo	Cantidad	Total
Maquinaria y equipos			
Molino primario	S/9,100	1	S/9,100
Tamizadora	S/2,500	1	S/2,500
Molino fino	S/9,900	1	S/9,900
Balanza digital de plataforma	S/275	1	S/275
Mesa de corte	S/300	1	S/300
Otras inversiones			
Instalación de maquinaria	S/3,350	1	S/3,350
Cestas de plástico de 15 Kg.	S/31	4	S/124
Inversión Total			S/25,549

Fuente: Elaboración propia

6.1.2 Inversión financiada por leasing

Un porcentaje de la inversión son financiados con recursos propios y el otro por un contrato de leasing, siendo este el de mayor porcentaje. En la tabla N°41 se detalla los equipos que son financiados por leasing.

Tabla 41: Inversión financiada por leasing.

Descripción	Costo	Cantidad	Total
Maquinaria y equipos			
Molino primario	S/9,100	1	S/9,100
Tamizadora	S/2,500	1	S/2,500
Molino fino	S/9,900	1	S/9,900
Balanza digital de plataforma	S/275	1	S/275
Mesa de corte	S/300	1	S/300
Total De Inversión Financiada Por Leasing			S/22,075

Fuente: Elaboración propia

6.1.3 Financiamiento por leasing

El leasing es un contrato de alquiler o arrendamiento de un bien por un periodo de tiempo determinado, con opción a compra. La entidad financiera adquiere los bienes y los alquila al cliente. Se optó por este método de financiamiento debido a que:

- La duración del contrato de leasing es como mínimo dos años para los bienes inmuebles; pasado este tiempo se puede realizar nuevas inversiones sin temor a no contar con capital, además se puede apresurar el pago de cuotas.
- Se aplica el término de depreciación acelerada, el cual tiene duración semejante al periodo del contrato, y aunque el bien haya sido adquirido por la entidad financiera la depreciación puede utilizarse como escudo fiscal.
- Los bienes se pueden financiar al 100%, evitando buscar otros métodos de financiamiento complementarios, como acciones, bonos, entre otros.
- En el contrato de leasing no se exige una cantidad de dinero inmediato, de esta manera se puede maximizar el uso de efectivo. Además, el contrato mantiene una cláusula de tasas de interés fija, protegiendo contra la inflación y aumentos en el costo del dinero.

El contrato de leasing se realizará con el banco BBVA Continental, esto conlleva a:

- El contrato se realizará por el periodo de 2 años, dividido en 24 meses, el interés se establece según la TEA (tasa efectiva anual) para contratos de leasing (tabla N°42); para este caso es de 30% (debido a que el monto es menor a S/. 50,000 en moneda nacional)

Tabla 42: Tasas de interés compensatorio.

TASAS	Porcentaje MN	Porcentaje ME	Observación y Vigencia
Interés Compensatorio - Fija	<p>Montos menores a: S/50,000: 30%</p> <p>Entre: S/50,000 y S/100,000: 26% S/100,000 y S/200,000: 23% S/200,000 y S/300,000: 20% S/300,000 y S/500,000: 17%</p> <p>Montos mayores a: S/500,000: 15%</p>	<p>Montos menores a: US\$25,000: 30%</p> <p>Entre: US\$25,000 y US\$75,000: 26% US\$75,000 y US\$125,000: 23% US\$125,000 y US\$175,000: 20% US\$175,000 y US\$250,000: 17%</p> <p>Montos mayores a: US\$250,000: 15%</p>	Vigente desde 01/01/2013

Fuente: BBVA Continental

- El interés de la deuda se calcula excluyendo al IGV del monto financiado, el IGV se aplica como componente de las cuotas en proporciones iguales en cada periodo.

- En el último periodo del contrato se da la opción de compra, el cual debe pagarse en dicho periodo; el monto de la opción de compra es equivalente a 1% del dinero financiado (sin incluir IGV).
- Se tiene un interés moratorio (15%) en caso de incumplir con el pago de alguna cuota.

Para poder determinar el pago correspondiente al contrato de leasing de la tabla N°43, se realizó el cálculo de parámetros en la tabla N°44. Se hizo uso de la información contenida en la tabla N°40, N°41 y el punto 6.1.3.

Tabla 43: Cuotas del contrato de leasing.

Periodo	Mensualidad	Interés	Amortización	Deuda	Cap. Amort.
1	S/980.01	S/400.12	S/579.89	S/17,521.61	S/579.89
2	S/980.01	S/387.31	S/592.71	S/16,928.90	S/1,172.60
3	S/980.01	S/374.20	S/605.81	S/16,323.09	S/1,778.41
4	S/980.01	S/360.81	S/619.20	S/15,703.89	S/2,397.61
5	S/980.01	S/347.13	S/632.89	S/15,071.01	S/3,030.49
6	S/980.01	S/333.14	S/646.88	S/14,424.13	S/3,677.37
7	S/980.01	S/318.84	S/661.18	S/13,762.95	S/4,338.55
8	S/980.01	S/304.22	S/675.79	S/13,087.16	S/5,014.34
9	S/980.01	S/289.28	S/690.73	S/12,396.43	S/5,705.07
10	S/980.01	S/274.02	S/706.00	S/11,690.44	S/6,411.06
11	S/980.01	S/258.41	S/721.60	S/10,968.84	S/7,132.66
12	S/980.01	S/242.46	S/737.55	S/10,231.28	S/7,870.22
13	S/980.01	S/226.16	S/753.86	S/9,477.43	S/8,624.07
14	S/980.01	S/209.49	S/770.52	S/8,706.91	S/9,394.59
15	S/980.01	S/192.46	S/787.55	S/7,919.35	S/10,182.15
16	S/980.01	S/175.05	S/804.96	S/7,114.39	S/10,987.11
17	S/980.01	S/157.26	S/822.75	S/6,291.64	S/11,809.86
18	S/980.01	S/139.07	S/840.94	S/5,450.70	S/12,650.80
19	S/980.01	S/120.48	S/859.53	S/4,591.17	S/13,510.33
20	S/980.01	S/101.49	S/878.53	S/3,712.65	S/14,388.85
21	S/980.01	S/82.07	S/897.95	S/2,814.70	S/15,286.80
22	S/980.01	S/62.22	S/917.80	S/1,896.90	S/16,204.60
23	S/980.01	S/41.93	S/938.08	S/958.82	S/17,142.68
24	S/980.01	S/21.19	S/958.82	S/0.00	S/18,101.50
Opción compra	S/220.75		S/220.75		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44: Parámetros del contrato de leasing.

Ítem	Valor
Inversión (con IGV)	S/22,075.00
Inversión (sin IGV)	S/18,101.50
TEA	30%
Periodo (mes)	24
Opción de compra	S/220.75
Factor interés	2.2104%
Pago	S/980.01

Fuente: Elaboración propia

6.2 PLAN DE USO DE RECURSOS

6.2.1 Materia prima

En la tabla N°45 se detalla la cantidad de residuos de caucho que se requerirán para el funcionamiento del proceso de reciclado dentro del periodo de evaluación de la viabilidad económica. Para lo cual se utilizó los datos de la tabla N°18.

Tabla 45: Uso de residuos de caucho negro.

Año	2019											
Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Materia Prima												
Producción mensual (rollos)	352	460	396	462	506	420	330	330	315	330	330	336
Producción mensual (Kg) (25 Kg/rollo)	8800	11500	9900	11550	12650	10500	8250	8250	7875	8250	8250	8400
Residuo de caucho procesado en molino primario (Kg)	428.80	563.27	479.67	564.30	617.10	508.13	398.50	401.50	382.75	402.00	401.50	409.00
Residuo de caucho procesado en tamizadora (Kg)	428.80	563.27	479.67	564.30	617.10	508.13	398.50	401.50	382.75	402.00	401.50	409.00
Residuo de caucho procesado en molino fino (Kg)	741.82	974.45	829.82	976.24	1067.58	879.07	689.41	694.60	662.16	695.46	694.60	707.57
Residuo de caucho total procesado (Kg)	857.60	1126.53	959.33	1128.60	1234.20	1016.27	797.00	803.00	765.50	804.00	803.00	818.00

Año	2020											
Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Materia Prima												
Producción mensual (rollos)	352	460	396	462	506	420	330	330	315	330	330	336
Producción mensual (Kg) (25 Kg/rollo)	8800	11500	9900	11550	12650	10500	8250	8250	7875	8250	8250	8400
Residuo de caucho procesado en molino primario (Kg)	428.80	563.27	479.67	564.30	617.10	508.13	398.50	401.50	382.75	402.00	401.50	409.00
Residuo de caucho procesado en tamizadora (Kg)	428.80	563.27	479.67	564.30	617.10	508.13	398.50	401.50	382.75	402.00	401.50	409.00
Residuo de caucho procesado en molino fino (Kg)	741.82	974.45	829.82	976.24	1067.58	879.07	689.41	694.60	662.16	695.46	694.60	707.57
Residuo de caucho total procesado (Kg)	857.60	1126.53	959.33	1128.60	1234.20	1016.27	797.00	803.00	765.50	804.00	803.00	818.00

Fuente: Elaboración propia

6.2.2 Mano de obra

En la tabla N°47 se muestra las horas de mano de obra que se requerirá dentro del periodo de evaluación, y el costo total que representa. Para lo cual se realizó el cálculo de costo de 1 hora-hombre en la tabla N°46, además se hizo uso los tiempos

especificados en el Diagrama de Análisis del Proceso propuesto y diagrama hombre-máquina.

Tabla 46: Costo unitario de mano de obra.

Operario	Sueldo mes	Jornada diaria (hr)	Días laborables al mes	Sueldo/hr
Operario 1	S/930.00	8	25	S/4.65

Fuente: Elaboración propia

Tabla 47: Costo de mano de obra.

Año	2019											
Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Mano de obra												
Tiempo de preparación (0.1167 hr/10 Kg)	10.01	13.15	11.20	13.17	14.40	11.86	9.30	9.37	8.93	9.38	9.37	9.55
Requerimiento horas-hombre (44.44 Kg/Hr) (81.5%)	15.73	20.66	17.59	20.70	22.63	18.64	14.62	14.73	14.04	14.74	14.73	15.00
Requerimiento total de horas-hombre (Hr)	25.74	33.81	28.79	33.87	37.04	30.50	23.92	24.10	22.97	24.13	24.10	24.55
Costo de horas-hombre (S/.)	S/119.67	S/157.20	S/133.87	S/157.49	S/172.22	S/141.81	S/111.22	S/112.05	S/106.82	S/112.19	S/112.05	S/114.15

Año	2020											
Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Mano de obra												
Tiempo de preparación (0.1167 hr/10 Kg)	10.01	13.15	11.20	13.17	14.40	11.86	9.30	9.37	8.93	9.38	9.37	9.55
Requerimiento horas-hombre (44.44 Kg/Hr) (81.5%)	15.73	20.66	17.59	20.70	22.63	18.64	14.62	14.73	14.04	14.74	14.73	15.00
Requerimiento total de horas-hombre (Hr)	25.74	33.81	28.79	33.87	37.04	30.50	23.92	24.10	22.97	24.13	24.10	24.55
Costo de horas-hombre (S/.)	S/119.67	S/157.20	S/133.87	S/157.49	S/172.22	S/141.81	S/111.22	S/112.05	S/106.82	S/112.19	S/112.05	S/114.15

Fuente: Elaboración propia

6.2.3 Consumo de energía eléctrica

En la tabla N°50 se detalla el consumo de energía eléctrica que deriva del proceso de reciclado dentro del periodo de evaluación económica. Para lo cual en la tabla N°48 se muestra la tarifa de kW-h de la empresa y en la tabla N°49 el consumo en kW-h de los equipos eléctricos.

Tabla 48: Tarifa por KW-h.

Horario	Hora punta	Hora normal
Costo de KW-h (S/. /KW-h)	S/. 0.2227	S/. 0.1780

Fuente: Adaptado de recibo por servicio eléctrico de la empresa

La “hora punta” está comprendido entre las 6 de la tarde y las 11 de la noche. Se llama así porque durante este período es cuando se consume más energía por parte de la población y algunos consumos industriales.

En el cálculo se utilizó la tarifa normal, debido a que el proceso de reciclado se realizará dentro de ese horario.

Tabla 49: Consumo eléctrico de equipos (KWh).

Equipo	Consumo		Potencia	
Molino primario	14.914	KWh	20	HP
Tamizadora	2.984	KWh	4	HP
Molino fino	22.371	KWh	30	HP

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50: Costo de consumo de energía eléctrica.

Año	2019											
Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Energía eléctrica												
Caucho procesado en molienda primaria (Kg)	428.80	563.27	479.67	564.30	617.10	508.13	398.50	401.50	382.75	402.00	401.50	409.00
Requerimiento tiempo molienda primaria (72 Kg/Hr)	5.96	7.82	6.66	7.84	8.57	7.06	5.53	5.58	5.32	5.58	5.58	5.68
Consumo eléctrico en molienda primaria (KWh)	88.82	116.67	99.36	116.89	127.83	105.25	82.54	83.17	79.28	83.27	83.17	84.72
Costo de consumo eléctrico en molienda primaria (S./.)	S/15.81	S/20.77	S/17.69	S/20.81	S/22.75	S/18.74	S/14.69	S/14.80	S/14.11	S/14.82	S/14.80	S/15.08
Caucho procesado en tamizado (Kg)	428.80	563.27	479.67	564.30	617.10	508.13	398.50	401.50	382.75	402.00	401.50	409.00
Requerimiento de tiempo en tamizado (120 Kg/Hr) (H)	3.57	4.69	4.00	4.70	5.14	4.23	3.32	3.35	3.19	3.35	3.35	3.41
Consumo eléctrico en tamizado (KWh)	10.66	14.01	11.93	14.03	15.35	12.64	9.91	9.98	9.52	10.00	9.98	10.17
Costo de consumo eléctrico en tamizado (S./.)	S/1.90	S/2.49	S/2.12	S/2.50	S/2.73	S/2.25	S/1.76	S/1.78	S/1.69	S/1.78	S/1.78	S/1.81
Caucho procesado en molienda fina (Kg)	741.82	974.45	829.82	976.24	1067.58	879.07	689.41	694.60	662.16	695.46	694.60	707.57
Requerimiento tiempo molienda fina (48 Kg/Hr) (Hr)	15.45	20.30	17.29	20.34	22.24	18.31	14.36	14.47	13.79	14.49	14.47	14.74
Consumo eléctrico en molienda fina (KWh)	345.74	454.16	386.75	454.99	497.56	409.70	321.31	323.72	308.61	324.13	323.72	329.77
Costo de consumo eléctrico en molienda fina (S./.)	S/61.54	S/80.84	S/68.84	S/80.99	S/88.57	S/72.93	S/57.19	S/57.62	S/54.93	S/57.69	S/57.62	S/58.70
Total de costo de consumo eléctrico (S./.)	S/79.25	S/104.10	S/88.65	S/104.29	S/114.05	S/93.91	S/73.65	S/74.20	S/70.74	S/74.30	S/74.20	S/75.59

Año	2020											
Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Energía eléctrica												
Caucho procesado en molienda primaria (Kg)	428.80	563.27	479.67	564.30	617.10	508.13	398.50	401.50	382.75	402.00	401.50	409.00
Requerimiento tiempo molienda primaria (72 Kg/Hr)	5.96	7.82	6.66	7.84	8.57	7.06	5.53	5.58	5.32	5.58	5.58	5.68
Consumo eléctrico en molienda primaria (KWh)	88.82	116.67	99.36	116.89	127.83	105.25	82.54	83.17	79.28	83.27	83.17	84.72
Costo de consumo eléctrico en molienda primaria (S./.)	S/15.81	S/20.77	S/17.69	S/20.81	S/22.75	S/18.74	S/14.69	S/14.80	S/14.11	S/14.82	S/14.80	S/15.08
Caucho procesado en tamizado (Kg)	428.80	563.27	479.67	564.30	617.10	508.13	398.50	401.50	382.75	402.00	401.50	409.00
Requerimiento de tiempo en tamizado (120 Kg/Hr) (H)	3.57	4.69	4.00	4.70	5.14	4.23	3.32	3.35	3.19	3.35	3.35	3.41
Consumo eléctrico en tamizado (KWh)	10.66	14.01	11.93	14.03	15.35	12.64	9.91	9.98	9.52	10.00	9.98	10.17
Costo de consumo eléctrico en tamizado (S./.)	S/1.90	S/2.49	S/2.12	S/2.50	S/2.73	S/2.25	S/1.76	S/1.78	S/1.69	S/1.78	S/1.78	S/1.81
Caucho procesado en molienda fina (Kg)	741.82	974.45	829.82	976.24	1067.58	879.07	689.41	694.60	662.16	695.46	694.60	707.57
Requerimiento tiempo molienda fina (48 Kg/Hr) (Hr)	15.45	20.30	17.29	20.34	22.24	18.31	14.36	14.47	13.79	14.49	14.47	14.74
Consumo eléctrico en molienda fina (KWh)	345.74	454.16	386.75	454.99	497.56	409.70	321.31	323.72	308.61	324.13	323.72	329.77
Costo de consumo eléctrico en molienda fina (S./.)	S/61.54	S/80.84	S/68.84	S/80.99	S/88.57	S/72.93	S/57.19	S/57.62	S/54.93	S/57.69	S/57.62	S/58.70
Total de costo de consumo eléctrico (S./.)	S/79.25	S/104.10	S/88.65	S/104.29	S/114.05	S/93.91	S/73.65	S/74.20	S/70.74	S/74.30	S/74.20	S/75.59

Fuente: Elaboración propia

6.3 FLUJO DE EFECTIVO

6.3.1 Ahorro con nueva formulación

En la tabla N°51 se muestra el costo de un Kg. de caucho regenerado, el cual será reemplazado en 2.5 Kg por gránulo de caucho para formulaciones de 25 Kg.

Tabla 51: Costo de caucho regenerado.

Ítem	Costo (\$/Kg)
Caucho regenerado	\$0.90

Fuente: Elaboración propia

Debido a que el costo del caucho regenerado es cotizado en dólares y este tiende a variar de manera constante respecto al tipo de cambio, se realizó dos proyecciones.

Según el Resumen Informativo Semanal N°43 realizado por el BCRP, publicado el 8 de noviembre de 2018, indica que el tipo de cambio para el año 2019 estará entre los valores de S/. 3.30 y S/. 3.35. Se muestra en la tabla N°52.

Tabla 52: Proyección de tipo de cambio.

Proyección	Tipo de cambio
Número 1	S/3.30
Número 2	S/3.35

Fuente: Adaptado de Resumen Informativo Semanal N°43 (BCRP)

En la tabla N°53 y N°54 se muestra el ahorro al reemplazar en la formulación el caucho regenerado con gránulos de caucho, teniendo en cuenta las dos proyecciones de la tabla N°52.

Tabla 53: Ahorro al reemplazo del caucho regenerado por gránulos de caucho (proyección 1).

Año	2019											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Costo de mano de obra	S/119.67	S/157.20	S/133.87	S/157.49	S/172.22	S/141.81	S/111.22	S/112.05	S/106.82	S/112.19	S/112.05	S/114.15
Costo de consumo eléctrico	S/79.25	S/104.10	S/88.65	S/104.29	S/114.05	S/93.91	S/73.65	S/74.20	S/70.74	S/74.30	S/74.20	S/75.59
Costo total	S/198.92	S/261.30	S/222.52	S/261.78	S/286.27	S/235.72	S/184.87	S/186.26	S/177.56	S/186.49	S/186.26	S/189.74
Costo unitario (S/. /Kg)	S/0.23	S/0.23	S/0.23	S/0.23	S/0.23	S/0.23	S/0.23	S/0.23	S/0.23	S/0.23	S/0.23	S/0.23
Comparación de costo de formulación												
Diferencia de uso de caucho regenerado (Kg)	857.60	1126.53	959.33	1128.60	1234.20	1016.27	797.00	803.00	765.50	804.00	803.00	818.00
Costo de diferencia de caucho regenerado (S/.)	S/2,547.07	S/3,345.80	S/2,849.22	S/3,351.94	S/3,665.57	S/3,018.31	S/2,367.09	S/2,384.91	S/2,273.54	S/2,387.88	S/2,384.91	S/2,429.46
Ahorro (S/.)	S/2,348.15	S/3,084.50	S/2,626.70	S/3,090.16	S/3,379.30	S/2,782.59	S/2,182.22	S/2,198.65	S/2,095.98	S/2,201.39	S/2,198.65	S/2,239.72
Año	2020											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Costo de mano de obra	S/119.67	S/157.20	S/133.87	S/157.49	S/172.22	S/141.81	S/111.22	S/112.05	S/106.82	S/112.19	S/112.05	S/114.15
Costo de consumo eléctrico	S/79.25	S/104.10	S/88.65	S/104.29	S/114.05	S/93.91	S/73.65	S/74.20	S/70.74	S/74.30	S/74.20	S/75.59
Costo total	S/198.92	S/261.30	S/222.52	S/261.78	S/286.27	S/235.72	S/184.87	S/186.26	S/177.56	S/186.49	S/186.26	S/189.74
Costo unitario (S/. /Kg)	S/0.23	S/0.23	S/0.23	S/0.23	S/0.23	S/0.23	S/0.23	S/0.23	S/0.23	S/0.23	S/0.23	S/0.23
Comparación de costo de formulación												
Diferencia de uso de caucho regenerado (Kg)	857.60	1126.53	959.33	1128.60	1234.20	1016.27	797.00	803.00	765.50	804.00	803.00	818.00
Costo de diferencia de caucho regenerado (S/.)	S/2,547.07	S/3,345.80	S/2,849.22	S/3,351.94	S/3,665.57	S/3,018.31	S/2,367.09	S/2,384.91	S/2,273.54	S/2,387.88	S/2,384.91	S/2,429.46
Ahorro (S/.)	S/2,348.15	S/3,084.50	S/2,626.70	S/3,090.16	S/3,379.30	S/2,782.59	S/2,182.22	S/2,198.65	S/2,095.98	S/2,201.39	S/2,198.65	S/2,239.72

Fuente: Elaboración propia

Tabla 54: Ahorro al reemplazo del caucho regenerado por gránulos de caucho (proyección 2).

Año	2019											
Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Costo de mano de obra	S/119.67	S/157.20	S/133.87	S/157.49	S/172.22	S/141.81	S/111.22	S/112.05	S/106.82	S/112.19	S/112.05	S/114.15
Costo de consumo eléctrico	S/62.63	S/82.27	S/70.06	S/82.43	S/90.14	S/74.22	S/58.21	S/58.65	S/55.91	S/58.72	S/58.65	S/59.74
Costo total	S/182.31	S/239.47	S/203.93	S/239.91	S/262.36	S/216.03	S/169.42	S/170.70	S/162.73	S/170.91	S/170.70	S/173.89
Costo unitario (S./Kg)	S/0.27	S/0.27	S/0.27	S/0.27	S/0.27	S/0.27	S/0.27	S/0.27	S/0.27	S/0.27	S/0.27	S/0.27
Comparación de costo de formulación												
Diferencia de uso de caucho regenerado (Kg)	857.60	1126.53	959.33	1128.60	1234.20	1016.27	797.00	803.00	765.50	804.00	803.00	818.00
Costo de diferencia de caucho regenerado (S./.)	S/2,585.66	S/3,396.50	S/2,892.39	S/3,402.73	S/3,721.11	S/3,064.04	S/2,402.96	S/2,421.05	S/2,307.98	S/2,424.06	S/2,421.05	S/2,466.27
Ahorro (S./.)	S/2,386.74	S/3,135.20	S/2,669.87	S/3,140.95	S/3,434.84	S/2,828.32	S/2,218.09	S/2,234.79	S/2,130.42	S/2,237.57	S/2,234.79	S/2,276.53

Año	2020											
Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Costo de mano de obra	S/119.67	S/157.20	S/133.87	S/157.49	S/172.22	S/141.81	S/111.22	S/112.05	S/106.82	S/112.19	S/112.05	S/114.15
Costo de consumo eléctrico	S/62.63	S/82.27	S/70.06	S/82.43	S/90.14	S/74.22	S/58.21	S/58.65	S/55.91	S/58.72	S/58.65	S/59.74
Costo total	S/182.31	S/239.47	S/203.93	S/239.91	S/262.36	S/216.03	S/169.42	S/170.70	S/162.73	S/170.91	S/170.70	S/173.89
Costo unitario (S./Kg)	S/0.27	S/0.27	S/0.27	S/0.27	S/0.27	S/0.27	S/0.27	S/0.27	S/0.27	S/0.27	S/0.27	S/0.27
Comparación de costo de formulación												
Diferencia de uso de caucho regenerado (Kg)	857.60	1126.53	959.33	1128.60	1234.20	1016.27	797.00	803.00	765.50	804.00	803.00	818.00
Costo de diferencia de caucho regenerado (S./.)	S/2,585.66	S/3,396.50	S/2,892.39	S/3,402.73	S/3,721.11	S/3,064.04	S/2,402.96	S/2,421.05	S/2,307.98	S/2,424.06	S/2,421.05	S/2,466.27
Ahorro (S./.)	S/2,386.74	S/3,135.20	S/2,669.87	S/3,140.95	S/3,434.84	S/2,828.32	S/2,218.09	S/2,234.79	S/2,130.42	S/2,237.57	S/2,234.79	S/2,276.53

Fuente: Elaboración propia

6.3.2 Depreciación

Debido al financiamiento por leasing se puede acceder a la depreciación acelerada que según el Decreto Legislativo N°299 en su artículo 18 (modificado por el artículo 6 de la Ley N°27394 y el Decreto Legislativo N°915) "...se podrá aplicar como tasa de depreciación máxima anual aquella que se determine de manera lineal en función a la cantidad de años que comprende el contrato, siempre que éste reúna las siguientes características: 1. Su objeto exclusivo debe consistir en la cesión en uso de bienes muebles o inmuebles, que cumplan con el requisito de ser considerados costo o gasto para efectos de la Ley del Impuesto a la Renta. 2. El arrendatario debe utilizar los bienes arrendados exclusivamente en el desarrollo de su actividad empresarial. 3. Su duración mínima ha de ser de dos (2) o de cinco (5) años, según tengan por objeto bienes muebles o inmuebles, respectivamente. Este plazo podrá ser variado por decreto supremo. 4. La opción de compra sólo podrá ser ejercitada al término del contrato."

La depreciación acelerada se aplica a los 24 meses del contrato de leasing y se detalla en la tabla N°55.

Tabla 55: Depreciación acelerada de bienes financiados por leasing.

Maquinaria y equipos	Valor residual	Meses	Depreciación
Molino primario	S/910	24	S/341.25
Tamizadora	S/250	24	S/93.75
Molino fino	S/990	24	S/371.25
Balanza digital	S/0	24	S/11.46
Mesa de corte	S/0	24	S/12.50
TOTAL			S/830.21

Fuente: Elaboración propia

6.3.3 Flujo de efectivo

La evaluación de la viabilidad económica se realiza para un periodo de 24 meses (2 años) y se detalla en la tabla N°56 y N°57, para lo cual se hizo uso de los resultados obtenidos en el desarrollo del capítulo VI.

Tabla 56: Flujo de efectivo (proyección 1).

PO	2019											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Ahorro	S/2,348.2	S/3,084.5	S/2,626.7	S/3,090.2	S/3,379.3	S/2,782.6	S/2,182.2	S/2,198.7	S/2,096.0	S/2,201.4	S/2,198.7	S/2,239.7
Inversión total	S/25,549.0											
Inversión para leasing	S/22,075.0											
Pago leasing	S/579.9	S/592.7	S/605.8	S/619.2	S/632.9	S/646.9	S/661.2	S/675.8	S/690.7	S/706.0	S/721.6	S/737.6
Mantenimiento						S/580.0						S/1,920.0
Depreciación	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2
Interés	S/400.1	S/387.3	S/374.2	S/360.8	S/347.1	S/333.1	S/318.8	S/304.2	S/289.3	S/274.0	S/258.4	S/242.5
Antes de impuesto	S/537.9	S/1,274.3	S/816.5	S/1,279.9	S/1,569.1	S/392.4	S/372.0	S/388.4	S/285.8	S/391.2	S/388.4	-S/1,490.5
Impuesto a la renta (30%)	S/161.4	S/382.3	S/244.9	S/384.0	S/470.7	S/117.7	S/111.6	S/116.5	S/85.7	S/117.4	S/116.5	S/0.0
Neto	S/376.6	S/892.0	S/571.5	S/896.0	S/1,098.4	S/274.7	S/260.4	S/271.9	S/200.0	S/273.8	S/271.9	-S/1,490.5
Depreciación	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2
Flujo	-S/3,474.0	S/1,206.8	S/1,722.2	S/1,401.7	S/1,726.2	S/1,928.6	S/1,104.9	S/1,090.6	S/1,102.1	S/1,030.2	S/1,104.0	S/1,102.1
Flujo acumulado	-S/2,267.2	-S/545.0	S/856.7	S/2,582.9	S/4,511.4	S/5,616.3	S/6,706.9	S/7,809.0	S/8,839.3	S/9,943.3	S/11,045.4	S/10,385.1
Total de costos	S/1,141.4	S/1,362.3	S/1,225.0	S/1,364.0	S/1,450.7	S/1,677.7	S/1,091.6	S/1,096.5	S/1,065.7	S/1,097.4	S/1,096.5	S/2,900.0

PO	2020											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Ahorro	S/2,348.2	S/3,084.5	S/2,626.7	S/3,090.2	S/3,379.3	S/2,782.6	S/2,182.2	S/2,198.7	S/2,096.0	S/2,201.4	S/2,198.7	S/2,239.7
Inversión total												
Inversión para leasing												
Pago leasing	S/753.9	S/770.5	S/787.6	S/805.0	S/822.8	S/840.9	S/859.5	S/878.5	S/897.9	S/917.8	S/938.1	S/958.8
Mantenimiento						S/1,090.0						S/3,370.0
Depreciación	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2
Interés	S/226.2	S/209.5	S/192.5	S/175.1	S/157.3	S/139.1	S/120.5	S/101.5	S/82.1	S/62.2	S/41.9	S/21.2
Antes de impuesto	S/537.9	S/1,274.3	S/816.5	S/1,279.9	S/1,569.1	-S/117.6	S/372.0	S/388.4	S/285.8	S/391.2	S/388.4	-S/2,940.5
Impuesto a la renta (30%)	S/161.4	S/382.3	S/244.9	S/384.0	S/470.7	S/0.0	S/111.6	S/116.5	S/85.7	S/117.4	S/116.5	S/0.0
Neto	S/376.6	S/892.0	S/571.5	S/896.0	S/1,098.4	-S/117.6	S/260.4	S/271.9	S/200.0	S/273.8	S/271.9	-S/2,940.5
Depreciación	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2
Flujo	S/1,206.8	S/1,722.2	S/1,401.7	S/1,726.2	S/1,928.6	S/712.6	S/1,090.6	S/1,102.1	S/1,030.2	S/1,104.0	S/1,102.1	-S/2,110.3
Flujo acumulado	S/11,591.9	S/13,314.1	S/14,715.8	S/16,442.0	S/18,370.5	S/19,083.1	S/20,173.7	S/21,275.8	S/22,306.1	S/23,410.1	S/24,512.2	S/22,401.9
Total de costos	S/1,141.4	S/1,362.3	S/1,225.0	S/1,364.0	S/1,450.7	S/2,070.0	S/1,091.6	S/1,096.5	S/1,065.7	S/1,097.4	S/1,096.5	S/4,350.0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 57: Flujo de efectivo (proyección 2).

	PO	2019											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Ahorro		S/2,386.7	S/3,135.2	S/2,669.9	S/3,140.9	S/3,434.8	S/2,828.3	S/2,218.1	S/2,234.8	S/2,130.4	S/2,237.6	S/2,234.8	S/2,276.5
Inversión total	S/25,549.0												
Inversión para leasing	S/22,075.0												
Pago leasing		S/579.9	S/592.7	S/605.8	S/619.2	S/632.9	S/646.9	S/661.2	S/675.8	S/690.7	S/706.0	S/721.6	S/737.6
Mantenimiento							S/580.0						S/1,920.0
Depreciación		S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2
Interés		S/400.1	S/387.3	S/374.2	S/360.8	S/347.1	S/333.1	S/318.8	S/304.2	S/289.3	S/274.0	S/258.4	S/242.5
Antes de impuesto		S/576.5	S/1,325.0	S/859.6	S/1,330.7	S/1,624.6	S/438.1	S/407.9	S/424.6	S/320.2	S/427.3	S/424.6	-S/1,453.7
Impuesto a la renta (30%)		S/173.0	S/397.5	S/257.9	S/399.2	S/487.4	S/131.4	S/122.4	S/127.4	S/96.1	S/128.2	S/127.4	S/0.0
Neto		S/403.6	S/927.5	S/601.8	S/931.5	S/1,137.2	S/306.7	S/285.5	S/297.2	S/224.1	S/299.1	S/297.2	-S/1,453.7
Depreciación		S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2
Flujo	-S/3,474.0	S/1,233.8	S/1,757.7	S/1,432.0	S/1,761.7	S/1,967.4	S/1,136.9	S/1,115.7	S/1,127.4	S/1,054.3	S/1,129.4	S/1,127.4	-S/623.5
Flujo acumulado		-S/2,240.2	-S/482.5	S/949.4	S/2,711.1	S/4,678.6	S/5,815.5	S/6,931.2	S/8,058.6	S/9,112.9	S/10,242.3	S/11,369.7	S/10,746.2
Total de costos		S/1,153.0	S/1,377.5	S/1,237.9	S/1,379.2	S/1,467.4	S/1,691.4	S/1,102.4	S/1,107.4	S/1,076.1	S/1,108.2	S/1,107.4	S/2,900.0

	PO	2020											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Ahorro		S/2,386.7	S/3,135.2	S/2,669.9	S/3,140.9	S/3,434.8	S/2,828.3	S/2,218.1	S/2,234.8	S/2,130.4	S/2,237.6	S/2,234.8	S/2,276.5
Inversión total													
Inversión para leasing													
Pago leasing		S/753.9	S/770.5	S/787.6	S/805.0	S/822.8	S/840.9	S/859.5	S/878.5	S/897.9	S/917.8	S/938.1	S/958.8
Mantenimiento							S/1,090.0						S/3,370.0
Depreciación		S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2
Interés		S/226.2	S/209.5	S/192.5	S/175.1	S/157.3	S/139.1	S/120.5	S/101.5	S/82.1	S/62.2	S/41.9	S/21.2
Antes de impuesto		S/576.5	S/1,325.0	S/859.6	S/1,330.7	S/1,624.6	-S/71.9	S/407.9	S/424.6	S/320.2	S/427.3	S/424.6	-S/2,903.7
Impuesto a la renta (30%)		S/173.0	S/397.5	S/257.9	S/399.2	S/487.4	S/0.0	S/122.4	S/127.4	S/96.1	S/128.2	S/127.4	S/0.0
Neto		S/403.6	S/927.5	S/601.8	S/931.5	S/1,137.2	-S/71.9	S/285.5	S/297.2	S/224.1	S/299.1	S/297.2	-S/2,903.7
Depreciación		S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2	S/830.2
Flujo		S/1,233.8	S/1,757.7	S/1,432.0	S/1,761.7	S/1,967.4	S/758.3	S/1,115.7	S/1,127.4	S/1,054.3	S/1,129.4	S/1,127.4	-S/2,073.5
Flujo acumulado		S/11,980.0	S/13,737.7	S/15,169.6	S/16,931.4	S/18,898.8	S/19,657.1	S/20,772.8	S/21,900.2	S/22,954.6	S/24,083.9	S/25,211.3	S/23,137.9
Total de costos		S/1,153.0	S/1,377.5	S/1,237.9	S/1,379.2	S/1,467.4	S/2,070.0	S/1,102.4	S/1,107.4	S/1,076.1	S/1,108.2	S/1,107.4	S/4,350.0

Fuente: Elaboración propia

6.3.4 Indicadores financieros

Los indicadores se encuentran en la tabla N°58, se utilizó los resultados de las tablas N°56 y N°57; además de un costo de capital o tasa de descuento del 12%.

Tabla 58: Indicadores financieros.

Indicador	Proyección 1	Proyección 2
VAN	S/6,447.95	S/6,688.41
TIR	41%	42%
B/C	S/1.46	S/1.47
PRI (mes)	2.39	2.34
PRI (día)	71.66	70.11

Fuente: Elaboración propia

- En las dos proyecciones el valor actual neto (VAN) es mayor a cero, por lo cual se interpreta que se cumple con la tasa de descuento y además se obtiene un beneficio adicional, el VAN aumenta cuando el tipo de cambio incrementa.
- La tasa interna de retorno (TIR) es un indicador que determina la rentabilidad, en la proyección 1 la inversión es rentable si se espera un beneficio menor a 41% y en la proyección 2 a 42%. Es una inversión atractiva ya que tiene una duración de 2 años y TIR de 41% o 42%.
- El índice de beneficio costo (B/C) es de 1.46 y 1.47 lo que significa que por cada sol (S/.) invertido se obtiene un beneficio de S/.1.46 y S/.1.47 en la proyección 1 y proyección 2 respectivamente.
- El periodo de recuperación de la inversión (PRI) es utilizada para medir el tiempo en que se recupera la inversión a valor presente, en la proyección 1 y 2 es de 71 y 70 días respectivamente, el periodo es muy corto debido a que la mayor parte de la inversión es financiada por contrato de leasing y permite dividir la inversión a pagos mensuales que son menores al beneficio obtenido.

CONCLUSIONES

Primera: Los resultados obtenidos del proceso de reciclado para mejorar el aprovechamiento de los residuos de caucho negro contribuyen a disminuir el almacenamiento, además no afectan la calidad de las suelas por lo que se demuestra con la dureza de 67° Shore A y la resistencia a la abrasión de 94.856 mm³, a la vez que representa un ahorro respecto al uso de materia prima y su viabilidad económica se ve reflejada en los indicadores del VAN con un valor de S/6,447.95 y S/6,688.41, TIR entre 41% y 42%, índice de B/C es de S/.1.46 y S/.1.47, y PRI es de 71.66 y 70.11 días.

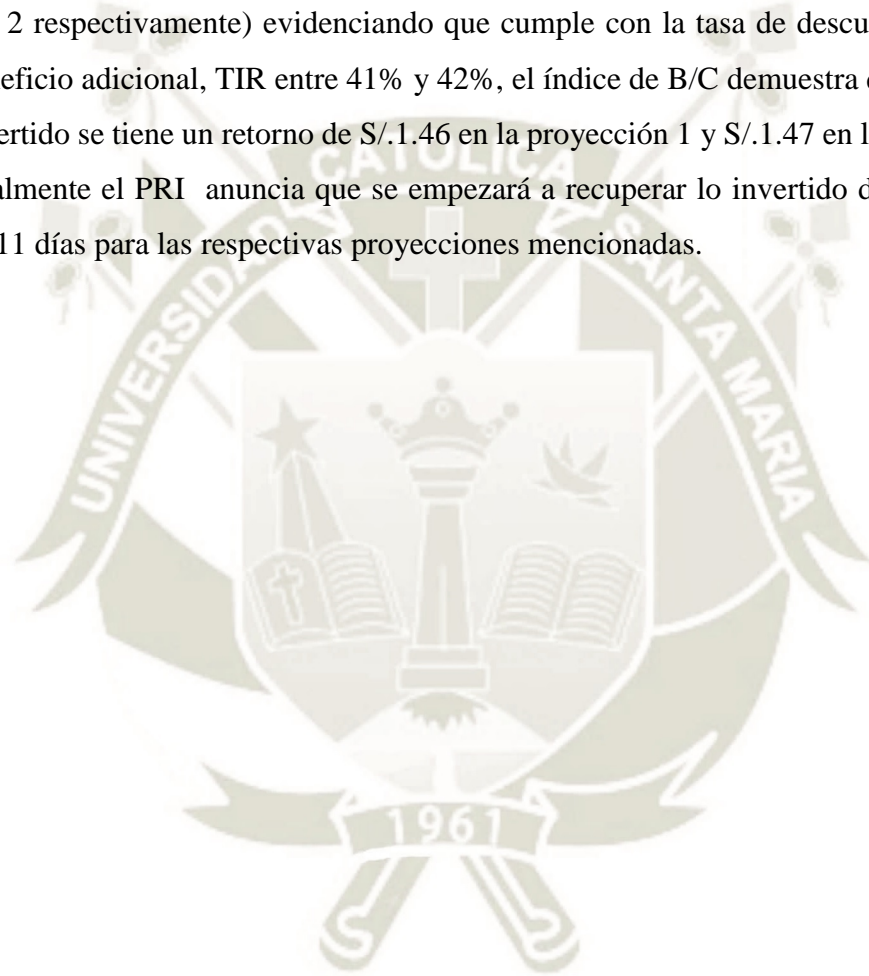
Segunda: El proceso más óptimo para la implementación de reciclado de suelas de caucho negro es el de trituración mecánica, que consiste en disminuir el tamaño de los residuos de caucho hasta 0.6mm o menos, y luego ser reintroducido a la línea de producción. Las actividades a realizar empiezan con la trituración primaria, que disminuye el tamaño de las suelas a valores igual o menores a 3.5mm y; continuando con el tamizado que separa los gránulos mayores a 0.60 mm de los más grandes, los gránulos de mayor tamaño son procesados en la trituradora fina junto con las rebabas y retazos para disminuir su tamaño a 0.60 mm o menos. Adicionalmente se propuso designar pulidoras donde se procesen solo suelas de caucho negro para almacenar en sus bolsas del sistema de aspiración los gránulos de caucho resultantes de esa actividad.

Tercera: La propuesta permite disminuir el almacenamiento actual y aprovechar el residuo generado diariamente en su totalidad; se optó por una formulación en la que se reemplaza 2.5 Kg de caucho regenerado por gránulo de caucho (reciclado obtenido), de esta manera se agotará el almacenamiento actual y proyectado en 52 meses y permitiendo continuar con el proceso de reciclado utilizando el caucho que se generará a diario.

Cuarta: El porcentaje de reemplazo de caucho regenerado por gránulo de caucho en la formulación de un rollo de caucho negro de 25 Kg es de 10%, es decir se reemplaza 2.5 Kg, esta variación en la formulación no afecta de manera negativa las propiedades y por ende la calidad final de las suelas de caucho negro.

Quinta: La reintroducción de los residuos de caucho previamente procesados representa ahorro del caucho regenerado en la formulación y de igual manera ahorro económico de S/.2.738 por cada kilogramo reemplazado.

Sexta: La propuesta del proceso de reciclado de caucho es viable económicamente para su implementación, realizándose una evaluación por un período de 2 años y teniendo como indicadores: VAN con valor mayor a 0 (S/6,447.95 y S/6,688.41 para la proyección 1 y 2 respectivamente) evidenciando que cumple con la tasa de descuento y genera un beneficio adicional, TIR entre 41% y 42%, el índice de B/C demuestra que por cada S/.1 invertido se tiene un retorno de S/.1.46 en la proyección 1 y S/.1.47 en la proyección 2, y finalmente el PRI anuncia que se empezará a recuperar lo invertido dentro de 71.66 y 70.11 días para las respectivas proyecciones mencionadas.



RECOMENDACIONES

Primera: Esta propuesta se aplicó únicamente para suelas de caucho de color negro, pero también puede realizarse para suelas de caucho de colores distintos; recomendándose seguir una de dos opciones: primero, reutilizar el gránulo de caucho solo para las suelas del mismo color del reciclado; o segundo, realizar una mezcla de varios colores del reciclado teniendo en cuenta que debe de existir un color que predomine respecto a los demás.

Segunda: Los resultados de las pruebas de dureza Shore A y de resistencia a la abrasión realizadas pueden variar dependiendo de la formulación de los componentes y del proceso de vulcanización utilizado para las suelas de caucho negro.

Tercera: Se puede optar por disminuir la capacidad de procesamiento de la trituradora primaria, ya que dentro del ciclo del proceso esta tiene poca utilización, pero esta disminución afectaría directamente en el aumento del tiempo de espera de la trituradora fina.

Cuarta: De requerir gránulo de caucho (reciclado) adicional para la formulación, en un caso de emergencia se puede optar por adquirir caucho reciclado de NFU (neumáticos fuera de uso), aunque el uso de este puede afectar la calidad del producto ya que posee propiedades distintas al reciclado propio, otra alternativa y la más recomendada es utilizar el caucho regenerado de la formulación ya que no variará en grandes proporciones las propiedades y calidad final.

BIBLIOGRAFÍA

- Abad, L., Relleve, L., Aranjilla, C., Aliganga, A., San Diego, C., Dela Rosa, A. (2002). *Natural antioxidants for radiation vulcanization of natural rubber latex. Polymer Degradation and Stability* (pp. 275-279).
- Abellán, H. (1976). *Agentes de espumación para materiales termoplásticos*. Revista Plásticos Modernos, No. 238.
- Al-Malaika, S. (1991). *Mechanisms of antioxidant action and stabilization technology - the Aston experience*. *Polymer Degradation and Stability* (pp. 1-36).
- Banco Central de Reserva del Perú (2018). *Resumen Informativo Semanal N°43*. Noviembre 8, 2018
- Castro, G. (2008). *Materiales y compuestos para la industria del neumático*. Departamento de ingeniería mecánica F.I.U.B.A.
- COECA: *Cauchos sintéticos de uso general*. (2018). [On-line]. Disponible en: <https://www.coeca.com/materiales/cauchos-sinteticos-uso-general>
- COECA: *Cauchos sintéticos especiales*. (2018). [On-line]. Disponible en: <https://www.coeca.com/materiales/cauchos-sinteticos-especiales>
- Falcó Rojas, A. (2009). *Herramientas de calidad*.
- Franklin Fincowsky, E. (1998). *Organización de Empresas: Análisis, diseño y estructura*. Universidad Nacional Autónoma de México. Editorial McGraw-Hill Interamericana Editores.
- Gallo Corredor, A y Sarria Villa, R. (2013). *Obtención de Colofonia y Trementina a Partir de Resina de Pino de la Especie patula y Posterior Evaluación de los Parámetros de Calidad* (pp. 88-91). Revista Journal de Ciencia e Ingeniería, Vol.5, No.1.
- González Álvar, M. (2015). *Aplicación del caucho reciclado como solución constructiva ecológica*. ETS de Ingeniería de Edificación Universitat Politècnica de Valencia
- GRABCAD (Rivas M): *Molino laminador de rodillos*. (2018). [On-line]. Disponible en: <https://grabcad.com/library/molino-laminador-de-rodillos>
- Hernández, G. (2013). *Plan tecnológico del proceso de reciclado de llantas*.

Honda, Yoko. (2003). *Manual de Administración de la Calidad Total y Círculos de Control de Calidad*.

IndustriALL Global Union. (2013). *Conferencia Mundial del Caucho de IndustriALL Global Union*. Abril 23 y 24, 2013. Budapest, Hungría.

Instituto de Estudios Económicos y Sociales. (2017). *Reporte sectorial de calzado N°01. Perú*.

Jaguar Equipamentos: *Triturador 2 ejes*. (2018). [On-line]. Disponible en: <http://www.jaguarequipamentos.com/es/triturador-2-ejes/>

Kogut, S. (1945). *Caucho sintético*. Revista de la Unión Industrial Argentina, octubre de 1945.

Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo (Ley N° 29783). (2011). Diario Oficial El Peruano. Agosto 20, 2011.

Luna Morocho, P. (2013). *Estudio de la aplicación de compuestos obtenidos con residuos de caucho reciclado provenientes de Continental Tire Andina como materiales estructurales*. Universidad Politécnica Salesiana.

González, A. (2015). *Aplicación del caucho reciclado como solución constructiva ecológica*. Universitat Politècnica de València.

Norma Técnica Peruana CALZADO. Métodos de ensayo para suelas. Resistencia a abrasión. (NTP-ISO 20871). (2006). Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI. Edición 1. Noviembre 15, 2006.

Norma Técnica Peruana CAUCHO VULCANIZADO. Determinación del grado de dureza. (NTP 300.022). (2013). Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias – INDECOPI. Edición 1. Junio 26, 2013.

OIT y Echt, A. (2001). *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. Volumen III, parte XII, Capítulo 80.

OSINERGMIN: *Osinergmin - consultas electricidad - facturación*. (2018). [On-line]. Disponible en: <http://www.osinergmin.gob.pe/electricidad/facturacion/que-es-hora-punta>

Quarleri, N. (1955). *El problema del caucho*. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Económicas. Buenos Aires.

Rojo Osorio, J. (2002). *Evaluación técnica económica sobre reutilización de los desperdicios de caucho regenerado en la producción de suelas de calzado*. Trabajo de grado.

Seymour, R. y Charles, E. (1995). *Introducción a la química de los polímeros*. Editorial reverté. Barcelona.

STRUKTOL. (2014). *Manual del caucho*. Revisión número 4.

Tamices.cl representantes: *Tamices industriales. Tamiz y mallas metálicas*. (2018). [Online]. Disponible en: <http://www.tamices.cl>

Tomás Balsas, M. (2014). *Estudio y comparación de cauchos reciclados y artificiales*. Universidad politécnica de Cartagena.

Urrego Yepes, W. (2014). *Efecto del sistema de vulcanización en la cinética de reacción y en las propiedades físico-químicas de un caucho natural colombiano*.

Vidal de Cárcer, M. (1953). *Tratado moderno de las industrias del caucho*. Edición 1. Editor José Montesó. Barcelona- Buenos Aires.

ANEXOS

ANEXO 1: Determinación de porcentaje de residuos de caucho negro

Se recogió datos durante 27 días productivos del mes de julio y agosto, en los cuales se elaboraron 15 rollos de caucho negro, cada uno con un peso de 25 Kg; produciendo un peso total de 375 Kg al día, y teniendo un porcentaje ponderado de residuos del 8.51%. El peso del gránulo de caucho no se calculó directamente, ya que en las pulidoras donde se realiza la actividad se trabajan con distintos tipos de suelas, se calculó un aproximado a partir del peso total retirado de las bolsas de la aspiradora de las pulidoras y la cantidad de suelas que fueron pulidas durante el periodo que no se había retirado la bolsa, se obtuvo el valor de 1 Kg. Cabe mencionar que se propone designar pulidoras para procesar suelas de caucho negro, para facilitar su recolección y ser utilizado para el reciclado.

Tabla 59: Datos recolectados y procesados de los residuos de caucho negro.

Número de muestra	Suelas defectuosas (Kg)	Rebabas (Kg)	Retazos (Kg)	Total de residuos (Kg)	% Total de residuos
1	12.7	7.4	10.7	31.8	8.48%
2	12.8	7.1	10.9	31.8	8.48%
3	12.9	7.6	10.7	32.2	8.59%
4	13	7.4	10.4	31.8	8.48%
5	12.5	7.5	10.4	31.4	8.37%
6	12.9	7.4	10.3	31.6	8.43%
7	12.8	7.7	10.6	32.1	8.56%
8	12.7	7.2	10.6	31.5	8.40%
9	13.1	7.6	10.3	32.0	8.53%
10	12.9	7.5	10.5	31.9	8.51%
11	12.7	7.5	10.6	31.8	8.48%
12	12.8	7.3	10.5	31.6	8.43%
13	12.8	7.6	10.3	31.7	8.45%
14	12.9	7.7	10.6	32.2	8.59%
15	12.7	7.9	10.5	32.1	8.56%
16	12.7	7.6	10.9	32.2	8.59%
17	12.8	7.5	10.5	31.8	8.48%
18	12.8	7.6	10.8	32.2	8.59%
19	12.7	7.4	10.9	32.0	8.53%
20	12.9	7.6	10.7	32.2	8.59%
21	12.7	7.4	10.6	31.7	8.45%
22	12.6	7.5	10.9	32.0	8.53%
23	12.8	7.8	10.3	31.9	8.51%
24	13.2	7.6	10.5	32.3	8.61%

25	12.7	7.7	10.8	32.2	8.59%
26	12.9	7.5	10.9	32.3	8.61%
27	13.1	7.3	10.3	31.7	8.45%
Media	12.82	7.51	10.59	31.93	8.51%
Desviación	0.16	0.18	0.21	0.26	0.07%

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°60 se muestra el resumen de los resultados obtenidos al procesar datos de los residuos de caucho negro.

Tabla 60: Porcentaje por tipos de residuo de caucho negro.

Residuo	Peso (Kg)	Porcentaje (%)	Porcentaje del total (%)
Suelas defectuosas	12.8	40.13%	3.41%
Retazos	7.5	23.51%	2.00%
Rebabas	10.6	33.23%	2.83%
Gránulos	1.0	3.13%	0.27%
Total	31.9	100.00%	8.51%

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 2: Producción anual de caucho (Año 2017)

La producción de los 3 últimos años se ha mantenido constante (2015-2017) y durante el transcurso de los meses del presente año (2018) se ha repetido la producción de rollos por día.

Tabla 61: Producción mensual de suelas de caucho negro del año 2015-2017.

Mes	Producción (Rollos/Día)	Total Mes
Enero	16	352
Febrero	23	460
Marzo	18	396
Abril	22	462
Mayo	22	506
Junio	20	420
Julio	15	330
Agosto	15	330
Setiembre	15	315
Octubre	15	330
Noviembre	15	330
Diciembre	16	336
TOTAL	212	4567

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que la producción tiene un comportamiento cíclico, siendo febrero el mes donde se producen mayor cantidad de rollos, este comportamiento se debe a que la demanda aumenta según la época escolar y festividades del día de la madre y del padre, y tiende a mantenerse casi constante el resto del año.

ANEXO 3: Cálculo de resultados de la prueba de grado de dureza (NTP 300.022-2013)

Para el cálculo de los resultados se debe de promediar las lecturas realizadas en una misma probeta; el promedio se redondea a enteros.

En la tabla N°62 se muestran los cálculos realizados:

Tabla 62: Lecturas y resultado de dureza Shore A de la formulación 1.

Probeta	Formulación 1
Numero de lecturas	3
Lectura 1 (° Shore A)	64
Lectura 2 (° Shore A)	68
Lectura 3 (° Shore A)	69
Grado de dureza de muestra (° Shore A)	67

Fuente: Elaboración propia

Tabla 63: Lecturas y resultado de dureza Shore A de la formulación 2.

Probeta	Formulación 2
Numero de lecturas	3
Lectura 1 (° Shore A)	71
Lectura 2 (° Shore A)	68
Lectura 3 (° Shore A)	70
Grado de dureza de muestra (° Shore A)	70

Fuente: Elaboración propia

Tabla 64: Lecturas y resultado de dureza Shore A de la formulación 3.

Probeta	Formulación 3
Numero de lecturas	3
Lectura 1 (° Shore A)	74
Lectura 2 (° Shore A)	72
Lectura 3 (° Shore A)	71
Grado de dureza de muestra (° Shore A)	72

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 4: Cálculo de resultados de la prueba de resistencia a la abrasión (NTP-ISO 20871-2006)

En el desarrollo de esta prueba se toman datos antes y luego de realizado el ensayo, para poder calcular el resultado final mediante la aplicación de los valores en fórmulas establecidas; para cada formulación se realizan las pruebas con 3 probetas distintas. El resultado se expresa como el promedio de las mediciones realizadas en las 3 probetas.

Para el cálculo de los resultados se utilizan las siguientes fórmulas:

$$M = (m \times S_0) / S$$

Donde:

M es la pérdida relativa de masa (mg)

m es la pérdida de masa (mg)

S_0 es el valor del poder abrasivo nominal (siempre 200 mg)

S es el poder abrasivo medio (mg)

$$V = (m \times S_0) / (a \times S)$$

Donde:

V es la pérdida relativa de volumen (mm^3)

m es la pérdida de masa (mg)

S_0 es el valor del poder abrasivo nominal (siempre 200 mg)

S es el poder abrasivo medio (mg)

a es la densidad (mg/mm^3)

En las tablas N°65, N°66 y N°67 se muestran los cálculos realizados:

Tabla 65: Cálculo y resultados de prueba de resistencia a la abrasión de la formulación 1.

Formulación 1	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	
Pérdida de masa	96	94	94	
Poder abrasivo nominal	200	200	200	
Poder abrasivo medio	200	200	200	
Pérdida relativa de masa	96	94	94	
TOTAL DE PERDIDA RELATIVA DE MASA (mg)				94.667
Pérdida de masa	96	94	94	
Poder abrasivo nominal	200	200	200	
Densidad	0.998	0.998	0.998	
Poder abrasivo medio	200	200	200	
Pérdida relativa de volumen	96.192	94.188	94.188	
TOTAL DE PERDIDA RELATIVA DE VOLUMEN (mm3)				94.856

Fuente: Elaboración propia

Tabla 66: Cálculo y resultados de prueba de resistencia a la abrasión de la formulación 2.

Formulación 2	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	
Pérdida de masa	97	98	95	
Poder abrasivo nominal	200	200	200	
Poder abrasivo medio	200	200	200	
Pérdida relativa de masa	97	98	95	
TOTAL DE PERDIDA RELATIVA DE MASA (mg)				96.667
Pérdida de masa	97	98	95	
Poder abrasivo nominal	200	200	200	
Densidad	0.997	0.997	0.997	
Poder abrasivo medio	200	200	200	
Pérdida relativa de volumen	97.292	98.295	95.286	
TOTAL DE PERDIDA RELATIVA DE VOLUMEN (mm3)				96.958

Fuente: Elaboración propia

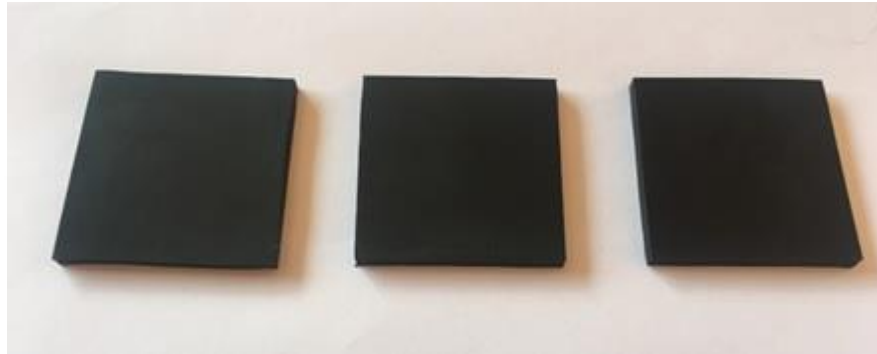
Tabla 67: Cálculo y resultados de prueba de resistencia a la abrasión de la formulación 3.

Formulación 3	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	
Pérdida de masa	99	101	101	
Poder abrasivo nominal	200	200	200	
Poder abrasivo medio	200	200	200	
Pérdida relativa de masa	99	101	101	
TOTAL DE PERDIDA RELATIVA DE MASA (mg)				100.333
Pérdida de masa	99	101	101	
Poder abrasivo nominal	200	200	200	
Densidad	0.995	0.995	0.995	
Poder abrasivo medio	200	200	200	
Pérdida relativa de volumen	99.497	101.508	101.508	
TOTAL DE PERDIDA RELATIVA DE VOLUMEN (mm3)				100.838

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 5: Registro fotográfico de pruebas de grado de dureza shore A (NTP 300.022-2013) y resistencia a la abrasión (NTP-ISO 20871-2006).

Figura 36: Probetas previo a la aplicación de la prueba de dureza shore A



Fuente: Elaboración propia

Figura 37: Durómetro Shore A utilizado en las pruebas realizadas



Fuente: Elaboración propia

Figura 38: Aplicación de la prueba de dureza



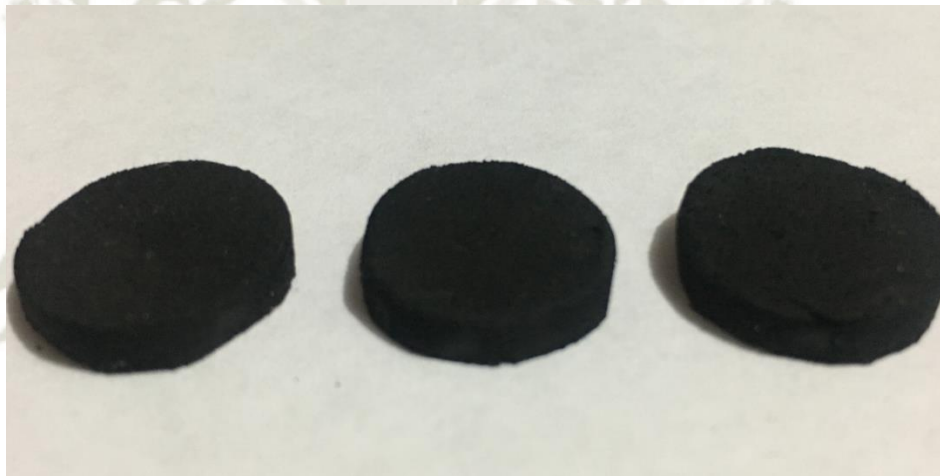
Fuente: Elaboración propia

Figura 39: Probetas previo a la aplicación de la prueba de resistencia a la abrasión



Fuente: Elaboración propia

Figura 40: Probetas luego de aplicar la prueba de resistencia a la abrasión



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 6: Plan de mantenimiento preventivo del molino primario

En el siguiente cuadro se detalla el plan de mantenimiento preventivo; en la columna periodo se muestra cada cuanto tiempo se realiza el mantenimiento descrito, en periodo de inicio se describe desde que periodo se requiere iniciar con el mantenimiento.

En la tabla N°68 se muestra el plan de mantenimiento preventivo para el molino primario y los costos de aplicación.

Tabla 68: Plan de mantenimiento preventivo del molino primario.

EQUIPO	Molino primario		PERIODO	COSTO	PERIODO DE INICIO	
	ITEM	DESCRIPCION				
Sistema eléctrico		Comprobar conexiones	6	meses	S/30.00	6
		Revisar resistencia de aislamientos y puesta a tierra	12	meses	S/30.00	12
Motor eléctrico		Revisión de niveles de temperatura, ruido y vibraciones	6	meses	S/50.00	6
		Comprobar estado de rodamientos	6	meses	S/60.00	12
		Comprobar roses de poleas y/o bandas	6	meses	S/40.00	12
		Comprobar carga en vacío y en trabajo	6	meses	S/70.00	12
		Lubricación de rodamientos y cojinetes	12	meses	S/100.00	12
		Comprobar y equilibrar el rotor	24	meses	S/130.00	24
Molino		Revisión y lubricación de sistema mecánico	6	meses	S/150.00	6
		Revisión de ejes del molino	24	meses	S/600.00	24
Equipo en general		Limpieza general (interior-exterior)	12	meses	S/150.00	12
		Observar si hay presencia de humedad, aceite o grasa	6	meses	S/60.00	6
		Comprobar estado de carcasa, uniones, tornillos, tuercas de sujeción y otras piezas	6	meses	S/30.00	6

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 7: Plan de mantenimiento preventivo del tamiz

En el siguiente cuadro se detalla el plan de mantenimiento preventivo; en la columna periodo se muestra cada cuanto tiempo se realiza el mantenimiento descrito, en periodo de inicio se describe desde que periodo se requiere iniciar con el mantenimiento.

En la tabla N°69 se muestra el plan de mantenimiento preventivo para el tamiz y los costos de aplicación.

Tabla 69: Plan de mantenimiento preventivo del tamiz.

EQUIPO	Tamiz			COSTO	PERIODO DE INICIO
ITEM	DESCRIPCION	PERIODO			
Sistema eléctrico	Comprobar conexiones	12	meses	S/20.00	12
	Revisar resistencia de aislamientos y puesta a tierra	12	meses	S/20.00	12
Motor eléctrico	Revisión de niveles de temperatura, ruido y vibraciones	6	meses	S/50.00	6
	Comprobar estado de rodamientos	6	meses	S/40.00	12
	Comprobar roses de poleas y/o bandas	6	meses	S/30.00	12
	Comprobar carga en vacío y en trabajo	12	meses	S/50.00	12
	Lubricación de rodamientos y cojinetes	12	meses	S/70.00	12
	Comprobar y equilibrar el rotor	24	meses	S/60.00	24
Equipo en general	Revisión de tamiz	24	meses	S/80.00	24
	Limpieza general	6	meses	S/40.00	12
	Comprobar piezas de sujeción	6	meses	S/40.00	6

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 8: Plan de mantenimiento preventivo del molino fino

En el siguiente cuadro se detalla el plan de mantenimiento preventivo; en la columna periodo se muestra cada cuanto tiempo se realiza el mantenimiento descrito, en periodo de inicio se describe desde que periodo se requiere iniciar con el mantenimiento.

En la tabla N°70 se muestra el plan de mantenimiento preventivo para el molino fino y los costos de aplicación.

Tabla 70: Plan de mantenimiento preventivo del molino fino.

EQUIPO	Molino fino	PERIODO		COSTO	PERIODO DE INICIO
	DESCRIPCION				
Sistema eléctrico	Comprobar conexiones	6	meses	S/30.00	6
	Revisar resistencia de aislamientos y puesta a tierra	12	meses	S/30.00	12
Motor eléctrico	Revisión de niveles de temperatura, ruido y vibraciones	6	meses	S/50.00	6
	Comprobar estado de rodamientos	6	meses	S/60.00	12
	Comprobar roses de poleas y/o bandas	12	meses	S/40.00	12
	Comprobar carga en vacío y en trabajo	12	meses	S/70.00	12
	Lubricación de rodamientos y cojinetes	12	meses	S/100.00	12
	Comprobar y equilibrar el rotor	24	meses	S/130.00	24
Molino	Revisión y lubricación de sistema mecánico	6	meses	S/170.00	12
	Revisión de discos del molino	24	meses	S/450.00	24
Equipo en general	Limpieza general (interior-exterior)	12	meses	S/150.00	12
	Observar si hay presencia de humedad, aceite o grasa	6	meses	S/60.00	6
	Comprobar estado de carcasa, uniones, tornillos, tuercas de sujeción y otras piezas	6	meses	S/30.00	6

Fuente: Elaboración propia