UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR

POSGRADOS

MAESTRÍA EN

PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES

RPC-S0-41-No.689-2018

OPCIÓN DE TITULACIÓN:

PROYECTOS DE DESARROLLO

TEMA:

ESTUDIO CORRELACIONAL ENTRE LA COMPOSICIÓN DE BLOQUES DE MAMPOSTERÍA CON AGREGADOS DE CAUCHO RECICLADO Y LA RENTABILIDAD DE SU LÍNEA DE PRODUCCIÓN EN LA FÁBRICA REENCAUCHADORA RENCAVI

AUTOR:

XAVIER LEONARDO GUERRERO VALDEZ

DIRECTOR:

JORGE ISAAC FAJARDO SEMINARIO

CUENCA - ECUADOR

2022

COHORTE 2018 - 2020

Autor:

Xavier Leonardo Guerrero Valdez
Ingeniero en Alimentos
Candidato a Magíster en Producción y Operaciones Industriales por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Cuenca.
xavier171095@hotmail.com / xguerrero@est.ups.edu.ec

Dirigido por:

Jorge Isaac Fajardo Seminario
Ingeniero Mecánico
Magister en Ingeniería
Magister en Control y Automatización Industriales
Doctor en Ingeniería
jfajardo@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS
©2022 Universidad Politécnica Salesiana.
CUENCA – ECUADOR – SUDAMÉRICA
GUERRERO VALDEZ XAVIER LEONARDO
ESTUDIO CORRELACIONAL ENTRE LA COMPOSICIÓN DE BLOQUES DE MAMPOSTERÍA CON AGREGADOS DE CAUCHO RECICLADO Y LA RENTABILIDAD DE SU LÍNEA DE PRODUCCIÓN EN LA FÁBRICA REENCAUCHADORA RENCAVI

RESUMEN

De acuerdo a las disposiciones transitorias establecidas en el Acuerdo Ministerial 098, es responsabilidad de los productores y/o importadores cumplir con la meta mínima del 30% de recuperación del total de neumáticos que hayan sido puestos en el mercado. Se sabe que en la actualidad en el Ecuador existen un gran número de estudios sobre el uso de neumáticos reciclados en bloques de mampostería sin embargo muy pocos de estos estudios han logrado catapultarse como productos en el mercado. En este estudio se desglosó toda la información necesaria tanto en el aspecto de propiedades físicas como análisis financieros de modo que permita al inversionista evaluar la factibilidad de una implementación de una línea de producción en una fábrica reencauchadora de la ciudad de Cuenca. En la primera fase se evaluaron las propiedades físicas de los bloques de hormigón fabricados y se observó que a una mayor cantidad de caucho incorporado en la formulación, la resistencia disminuye; estableciéndose como porcentaje máximo el 10% para cumplir con los requisitos de resistencia de la norma NTE INEN 3066 (2016). La segunda fase consistió en una análisis económico-financiero donde se llegó a la conclusión de que los bloques que tienen cantidades mayores al 5% de caucho no son económicamente rentables por lo que no se recomiendan para su comercialización, esto se debió a que el caucho granulado al ser un producto más caro que el sustituto por el cual se lo reemplazó provocaba una disminución del margen de utilidad de modo que no era factible a largo plazo. Por último el modelo del comportamiento de la rentabilidad con base al TIR y VAN con las variables respuesta procedentes de los experimentos seleccionados, llevó a la conclusión de que no existen efectos significativos entre las variables y las respuestas bajo la restricción de cumplir con la norma NTE INEN 3066 (2016).

Palabras clave: Caucho reciclado, relación agua-cemento, resistencia a la compresión, TIR, VAN, correlación.

ABSTRACT

According to the transitory provisions established in Ministerial Agreement 098, it is the responsibility of producers and / or importers to meet the minimum goal of 30% recovery of the total tires that have been placed on the market. It is known that currently in Ecuador there are a large number of studies on the use of recycled tires in masonry blocks, however very few of these studies have managed to catapult themselves as products in the market. In this study, all the necessary information was broken down both in the aspect of physical properties and financial analysis in order to allow the investor to evaluate the feasibility of an implementation of a production line in a retreading factory in the city of Cuenca. In the first phase, the physical properties of the manufactured concrete blocks were evaluated and it was observed that with a greater amount of rubber incorporated in the formulation, the resistance decreases; establishing a maximum percentage of 10% to comply with the resistance requirements of the NTE INEN 3066 (2016) standard. The second phase consisted of an economic-financial analysis where it was concluded that the blocks that have amounts greater than 5% of rubber are not economically profitable, so they are not recommended for commercialization, this was due to the fact that the rubber Granulated, being a more expensive product than the substitute for which it was replaced, caused a decrease in the profit margin so that it was not feasible in the long term. Finally, the profitability behavior model based on the IRR and NPV with the response variables from the selected experiments, led us to conclude that there are no significant effects between the variables and the responses under the restriction of complying with the standard. NTE INEN 3066 (2016).

Keywords: Recycled rubber, water-cement ratio, compressive strength, IRR, NPV, correlation.

ÍNDICE

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN 12

1.1 Situación problemática 12

1.2 Formulación del problema 13

1.2.1 Problema general 13

1.2.2 Problemas específicos 13

1.3 Justificación teórica 14

1.4 Justificación práctica 15

1.5 Objetivos 16

1.5.1 Objetivo general 16

1.5.2 Objetivos específicos 16

CAPÍTULO 2: HIPÓTESIS 16

CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO 18

3.1 Diseño robusto de parámetros (RPD) 18

3.1.1 Metodología de superficie de respuesta (RSM) 19

3.2 Estudio de diferentes materiales de construcción elaborados con agregados de caucho 20

3.3 Reciclaje de neumáticos 22

3.4 Granulometría de los agregados 22

3.4.1 Módulo de finura del agregado fino 23

3.5 Norma técnica ecuatoriana de bloques de hormigón (NTE INEN 3066 2016-11) 23

3.5.1 Clasificación de acuerdo a su uso 23

3.5.2 Dimensiones 24

3.5.3 Resistencia a la compresión simple 24

3.6 Estudio económico – financiero 24

3.6.1 Costo unitario *24*

3.6.2 Costos de producción *24*

3.6.3 Fijación de precios *25*

3.6.4 Umbral de rentabilidad o punto de equilibrio *25*

3.6.5 Flujo de caja proyectado *27*

3.6.6 Flujo de caja libre *28*

3.7 Distribución de la planta 30

3.7.1 Metodología Systematic Layout Planning (SLP) *30*

3.7.2 Principios de la distribución de planta *31*

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA 32

4.1 Análisis de la metodología de investigación 32

4.1.1 Tipo, diseño y nivel de investigación *32*

4.1.2 Método de investigación *33*

4.1.3 Determinación de la muestra *35*

4.2 Análisis de proceso 35

4.2.1 Detalles experimentales *35*

4.2.2 Determinación de dimensiones y aspectos visuales *42*

4.2.3 Determinación de resistencia a la compresión *45*

4.2.4 Estandarización del agregado de caucho *47*

4.3 Análisis financiero de los experimentos seleccionados 47

4.4 Diseño de flujo 49

4.4.1 Datos de entrada *49*

4.4.2 Análisis de datos recolectados *50*

4.4.3 Layout de distribución de planta *54*

CAPÍTULO 5: RESULTADOS Y DISCUSIÓN 55

5.1 Análisis granulométrico del agregado de caucho 55

5.2 Propiedades visuales de los experimentos secos 61

5.3 Análisis de resistencia a la compresión 63

5.4 Análisis estadístico de los experimentos..... 65

5.4.1 Ajuste del modelo en análisis de superficies de respuesta 70

5.5 Experimentos seleccionados 75

5.6 Estudio económico - financiero 75

5.6.1 Estudio económico – financiero bloque AFB-5 76

5.6.2 Estudio económico – financiero bloque AFM-10 82

5.6.3 Estudio económico – financiero bloque AG1M-5..... 86

5.6.4 Estudio económico – financiero bloque AG1A-10..... 91

5.7 Diseño de flujo de proceso de manufactura 95

5.8 Resumen de resultados vs hipótesis planteadas 97

5.8.1 Resultados de la hipótesis específica 1 (diseño factorial 2^2) 97

5.8.2 Resultados de la hipótesis específica 2 (modelos de las correlaciones) 98

5.8.3 Resultados de la hipótesis específica 3 (análisis de Varianza y Pareto)..... 98

CONCLUSIONES 102

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 104

ANEXOS 107

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 *Operacionalización de las variables.* 17
Tabla 2 *Estudios de diferentes materiales de construcción con agregados de caucho.* 21
Tabla 3 *Bloques de hormigón de acuerdo a su uso.* 23
Tabla 4 *Resistencia neta mínima a la compresión en bloques de hormigón.* 24
Tabla 5 *Tipo, diseño, nivel y enfoque de la investigación.* 33
Tabla 6 *Parámetros de composición y sus niveles.* 36
Tabla 7 *Diseño de experimentos.* 36
Tabla 8 *Nomenclatura del estudio.* 40
Tabla 9 *Composición y proporciones de mezcla.* 41
Tabla 10 *Centros de trabajo asignados a la línea de producción de bloques.* 49
Tabla 11 *Registro de resultados de granulometría del agregado de caucho 1.* 56
Tabla 12 *Registro de resultados de granulometría del agregado de caucho 2.* 57
Tabla 13 *Registro de resultados de granulometría del agregado de caucho 3.* 58
Tabla 14 *Módulos de finura de los agregados de caucho.* 60
Tabla 15 *Observaciones visuales de los experimentos en estado seco.* 62
Tabla 16 *Resultados de resistencia a la compresión en el diseño de experimentos.* 64
Tabla 17 *Análisis de Varianza de Relaciones SN.* 65
Tabla 18 *Análisis de Varianza de Medias.* 66
Tabla 19 *Respuesta para relaciones de señal a ruido.* 67
Tabla 20 *Tabla de respuesta para medias.* 67
Tabla 21 *Prueba de normalidad de la resistencia media a la compresión.* 69
Tabla 22 *Análisis de Varianza (Modelo lineal).* 70
Tabla 23 *Análisis de Varianza de modelo optimizado.* 73
Tabla 24 *Resumen del modelo optimizado.* 73
Tabla 25 *Ecuaciones de regresión en unidades no codificadas.* 74
Tabla 26 *Resistencia media de los experimentos seleccionados.* 75
Tabla 27 *Estudio de costos y punto de equilibrio del bloque AFB-5.* 76
Tabla 28 *Proyección de utilidades o pérdidas mensuales del bloque AFB-5 en función de las unidades vendidas.* 78
Tabla 29 *Flujo de caja, TIR y VAN del proyecto de inversión del bloque AFB-5.* 81

Tabla 30 *Estudio de costos y punto de equilibrio del bloque AFM-10.* 82
Tabla 31 *Proyección de utilidades o pérdidas mensuales del bloque AFM-10 en función de las unidades vendidas.* 83
Tabla 32 *Flujo de caja, TIR y VAN del proyecto de inversión del bloque AFM-10.* 85
Tabla 33 *Estudio de costos y punto de equilibrio del bloque AG1M-5.* 86
Tabla 34 *Proyección de utilidades o pérdidas mensuales del bloque AG1M-5 en función de las unidades vendidas.* 87
Tabla 35 *Flujo de caja, TIR y VAN del proyecto de inversión del bloque AG1M-5.* 90
Tabla 36 *Estudio de costos y punto de equilibrio del bloque AG1A-10.* 91
Tabla 37 *Proyección de utilidades o pérdidas mensuales del bloque AG1A-10 en función de las unidades vendidas.* 92
Tabla 38 *Flujo de caja, TIR y VAN del proyecto de inversión del bloque AG1A-10.* 94
Tabla 39 *Diseño factorial de los experimentos seleccionados.* 97
Tabla 40 *Análisis de Varianza VAN.* 98
Tabla 41 *Análisis de Varianza TIR.* 99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 *Evolución de la PTF del sector de la construcción por región y provincia durante el periodo 2013—2017*..... 15
Figura 2 *Punto de equilibrio fundamental.*..... 26
Figura 3 *Diagrama de la metodología de investigación.*..... 33
Figura 4 *Caucho granulado.*..... 38
Figura 5 *Equipo de cribado utilizado en el agregado de caucho 1.*..... 39
Figura 6 *Equipo de cribado utilizado en el agregado de caucho 2 y 3.*..... 39
Figura 7 *Materias primas usadas en la experimentación.*..... 39
Figura 8 *Maquinaria usada en la elaboración de los bloques.*..... 42
Figura 9 *Moldes de 12 cm de ancho usados en la experimentación.*..... 42
Figura 10 *Vistas y dimensiones en mm de los bloques usados en la experimentación.*..... 43
Figura 11 *Diagrama de flujo del estudio de investigación.*..... 43
Figura 12 *Equipo de ensayos de resistencia a la compresión.*..... 45
Figura 13 *Preparación de las muestras.*..... 45
Figura 14 *Lectura del equipo expresada en kN.*..... 45
Figura 15 *Cribadora mecánica de 0,78 m x 0,8 m.*..... 47
Figura 16 *Malla plástica de 1,6 mm y malla tejida de tela de 0,8 mm.*..... 47
Figura 17 *Agregados de caucho 1 y 2 estandarizados.*..... 47
Figura 18 *Diagrama de flujo del estudio financiero.*..... 48
Figura 19 *Diagrama de recorrido.*..... 50
Figura 20 *Secuencia de operaciones.*..... 51
Figura 21 *Tabla de relación de actividades.*..... 52
Figura 22 *Diagrama relacional de actividades y recorridos.*..... 52
Figura 23 *Diagrama de relación de espacios en m².*..... 53
Figura 24 *Lugar de emplazamiento de la línea de producción.*..... 54
Figura 25 *Curva granulométrica de los agregados de caucho.*..... 60
Figura 26 *Vista lateral y superior de los experimentos con contenido de caucho del 10%.*..... 61
Figura 27 *Paredes de los experimentos con contenido de caucho del 5%.*..... 63
Figura 28 *Efecto del contenido de caucho sobre la resistencia a la compresión.*..... 64

Figura 29 *Diagrama de Pareto de efectos de la resistencia a la compresión.* 65
Figura 30 *Grafica de efectos principales para relaciones señal ruido de la resistencia a la compresión.* 68
Figura 31 *Grafica de efectos principales para medias de la resistencia a la compresión.* 68
Figura 32 *Gráficas de residuos para medias de la resistencia a la compresión.* 70
Figura 33 *Gráfica de contorno del agregado de caucho 1.* 71
Figura 34 *Gráfica de contorno del agregado de caucho 2.* 72
Figura 35 *Gráfica de contorno del agregado de caucho 3.* 72
Figura 36 *Diagrama de Pareto de efectos del modelo optimizado.* 73
Figura 37 *Experimento óptimo del modelo optimizado.* 74
Figura 38 *Punto de equilibrio mensual del bloque AFB-5.* 78
Figura 39 *Punto de equilibrio mensual del bloque AFM-10.* 84
Figura 40 *Punto de equilibrio mensual del bloque AG1M-5.* 88
Figura 41 *Punto de equilibrio mensual del bloque AG1A-10.* 92
Figura 42 *Distribución de planta propuesta.* 95
Figura 43 *Diagrama de Pareto de efectos del VAN.* 100
Figura 44 *Diagrama de Pareto de efectos la TIR.* 100

ESTUDIO CORRELACIONAL ENTRE LA COMPOSICIÓN DE BLOQUES DE MAMPOSTERÍA CON AGREGADOS DE CAUCHO RECICLADO Y LA RENTABILIDAD DE SU LÍNEA DE PRODUCCIÓN EN LA FÁBRICA REENCAUCHADORA RENCAVI

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Situación problemática

"Cada año se generan aproximadamente 800 millones de neumáticos nuevos a nivel mundial y la mayoría de estos terminan en vertederos ya congestionados"(Ling, 2010). Estos productos no biodegradables al descomponerse producen gran cantidad de aceites, agentes vulcanizantes, agentes acelerantes entre otros compuestos órgano-sulfurados que contribuyen a una gran contaminación del suelo, agua y el aire. "Se estima que para el año 2030 el número de neumáticos desechados puede llegar a 1200 millones, lo que sumado a las existencias apiladas representarían casi 5000 millones de neumáticos" (Skariah y otros, 2014).

"De acuerdo a las cifras del Sistema Ecuatoriano de Gestión Integral de Neumáticos Usados (SEGINUS) en el Ecuador anualmente se desechan aproximadamente 2,4 millones de neumáticos" (El Telégrafo, 2018). Conforme a un estudio realizado por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza estos representan junto con la ropa sintética el 30% de la contaminación de los océanos. En cuanto a los datos del Ministerio del Ambiente de Ecuador se han reciclado aproximadamente 1.500.000 neumáticos en dos años (MAE, 2016).De acuerdo a las disposiciones transitorias establecidas en el Acuerdo Ministerial 098, es responsabilidad de los productores y/o importadores cumplir con la meta mínima del 30% de recuperación del total de neumáticos que hayan sido puestos en el mercado (Tapia, 2015). Sin embargo todavía existe un gran porcentaje de neumáticos que no han sido reciclados por lo que es de gran importancia aprovechar estos recursos para generar nuevos subproductos que nos permitan obtener rédito económico y por otra parte mitigar la contaminación ambiental.

La fábrica Rencavi se dedica desde hace 20 años al proceso de reencauche de neumáticos, dentro de este proceso se realiza una inspección para verificar si los neumáticos son o no reutilizables. Mensualmente se acumula un gran porcentaje de neumáticos que no son reutilizables,

por ende la fábrica decidió expandir sus líneas de producción con el objetivo de aprovechar esa materia prima. Actualmente se recicla para la elaboración de subproductos derivados de los neumáticos como es el caso de la fabricación de alfombras y de caucho granulado, además de la extracción de los alambres de acero del neumático, los cuales sirven como materia prima para la elaboración de varillas corrugadas.

No obstante con la elaboración de los productos descritos anteriormente no se logra aprovechar al máximo toda la fibra de caucho procedente de los neumáticos, puesto que solo se usa aproximadamente el 40% de los neumáticos no reutilizables en la fabricación de los subproductos, sin contar que existe otra fuente de ingreso de neumáticos que llegan semanalmente a la fábrica provenientes de particulares o de empresas que ya no tienen lugar para almacenarlos. Con este contexto lo que se busca en el proyecto es la implementación de una línea de producción de bloques de mampostería con agregados de caucho, de modo que se aproveche de forma masiva el producto, se fomente las iniciativas de reciclaje y se analice si la implantación de esta línea puede ser atractiva desde el punto de vista financiero o comercial, pues para esto es necesario determinar la composición ideal del bloque para no sacrificar resistencia y así cumplir con los requisitos que exige la norma NTE INEN 3066.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo se correlaciona la composición de un bloque de mampostería con agregados de caucho reciclado con la rentabilidad de su línea de producción?

1.2.2 Problemas específicos

¿Cuáles son los valores que correlacionan la composición de un bloque de mampostería con agregados de caucho reciclado con la rentabilidad de la línea de producción?

¿Qué técnica estadística permite establecer una correlación entre la composición de un bloque de mampostería con agregados de caucho reciclado con la rentabilidad de la línea de producción?

¿Existen efectos significativos entre la composición de un bloque de mampostería con agregados de caucho reciclado con la rentabilidad de la línea de producción?

1.3 Justificación teórica

En relación a la problemática expuesta, una nueva línea de producción de bloques de mampostería con agregados de caucho reciclado, permitirá usar de forma eficiente los recursos disponibles, además de usarlos de manera responsable con el medio ambiente. Esto a su vez ayudará a la diversificación de productos ambientalmente sustentables, de modo que estos nuevos elementos de construcción cumplan con las normativas técnicas ecuatorianas y sean de uso frecuente en un futuro cercano.

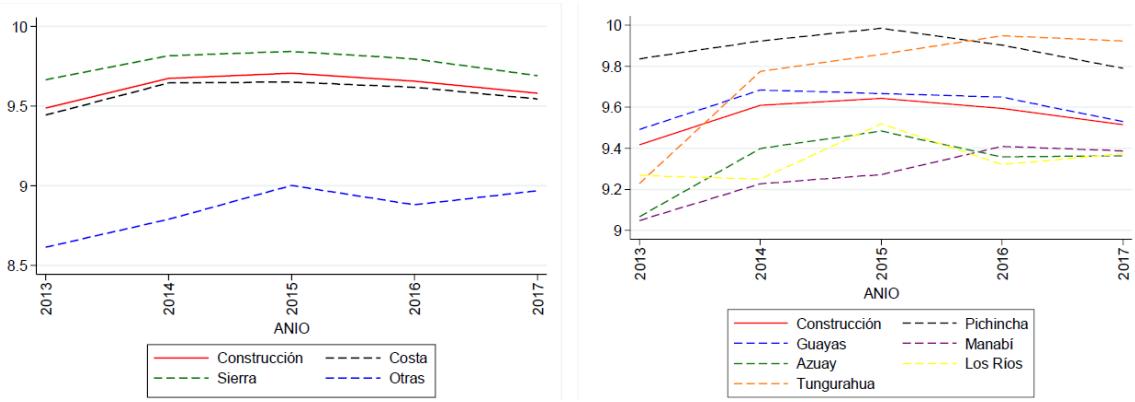
La gestión de desechos de neumáticos en el Ecuador se ha convertido en un grave problema debido a rápidos aumentos en la urbanización y el desarrollo económico. Generalmente estos desechos terminan en rellenos sanitarios, la reutilización, reciclaje y recuperación de estos productos permitirán dar solución a esta clase de problemas con el fin de salvaguardar la salud y prevenir una contaminación ambiental. En el Ecuador, como a nivel mundial existen una gran cantidad de neumáticos fuera de uso en lugares que comprometen seriamente la contaminación, de esta forma se aportará con el planeta de modo que se podrá mitigar de cierta manera la emisión de estas sustancias tóxicas.

En los últimos años el uso del bloque se ha expandido considerablemente y continuará haciéndolo conforme crece la población, la industria de la construcción es una de las que mayores ingresos generan sobre el producto interno bruto del país. De acuerdo a los datos de la Superintendencia de control del poder de mercado el sector de la construcción alcanzó su pico más alto en el 2014 con una producción de $7.062 millones de dólares, sin embargo para el año 2016 se contrajo en un 10,5%, con una producción $6.324 millones de dólares. A pesar de la reducción, esta industria representó el 13,93% del PIB del año 2016. La industria para diciembre del 2016 generó el 7,10% del empleo nacional y el 8,40% del empleo pleno. (SCPM, 2017)

En la figura 1 se muestran las 6 provincias que generaron los mayores niveles de ingresos por ventas en el sector de la construcción durante el período 2013—2017 y el promedio de la productividad total de los factores (PTF) obtenida por cada una anualmente.

Figura 1

Evolución de la PTF del sector de la construcción por región y provincia durante el periodo 2013—2017.



Nota. Fuente: (SCVS, 2018)

Es importante mencionar que la provincia del Azuay se ubicó en el grupo de las provincias más representativas en cuanto a generación de ingresos en el sector de la construcción durante este período. En general la variación promedio de la PTF tuvo un incremento del 0,3% anual durante el periodo 2013—2017.

1.4 Justificación práctica

De acuerdo con los objetivos de estudio, los resultados de la investigación nos permitirán determinar cuál es el mejor modelo que se ajusta a la correlación de la composición del bloque de mampostería con la rentabilidad de su línea de producción, para que a partir de esto se puedan determinar los factores que más influyen sobre las variables respuesta. Además de esto su busca optimizar la respuesta para determinar que valores de resistencia del diseño experimental cumplen con los requisitos de resistencia descritos en la norma NTE INEN 3066. Estos resultados ayudarán a dar a la empresa un panorama claro sobre la factibilidad de la implementación de esta línea de producción de modo que la empresa estandarice los parámetros de formulación del producto para evitar pérdidas de tiempo y de dinero.

Se debe considerar que también puede ayudar a contribuir al desarrollo económico de la fábrica, con el propósito de que diversifique su oferta de productos y servicios siendo otra fuente

de ingresos, de modo que permita a la fábrica responder a las necesidades económicas en ciertas épocas del año. Es importante mencionar que este estudio también contribuirá a darle un uso al granulado de caucho el cual ocupa actualmente un gran espacio de almacenamiento en la fábrica que influye sobre la ineficiencia actual en los procesos de la fábrica los cuales generan actividades que no agregan valor.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Correlacionar la composición de un bloque de mampostería con agregados de caucho reciclado con la rentabilidad de su línea de producción.

1.5.2 Objetivos específicos

Determinar la función que correlaciona la composición de un bloque de mampostería con agregados de caucho reciclado con la rentabilidad de su línea de producción.

Modelar la correlación entre la composición de un bloque de mampostería con agregados de caucho reciclado con la rentabilidad de su línea de producción.

Evaluar si existen efectos significativos entre la composición de un bloque de mampostería con agregados de caucho reciclado con la rentabilidad de su línea de producción.

CAPÍTULO 2: HIPÓTESIS

General

Existe una correlación entre la composición de un bloque de mampostería con agregados de caucho reciclado con la rentabilidad de su línea de producción.

Específicas

Existe una función que correlaciona la composición de un bloque de mampostería con agregados de caucho reciclado con la rentabilidad de su línea de producción.

Es posible modelar la correlación entre la composición de un bloque de mampostería con agregados de caucho reciclado con la rentabilidad de su línea de producción.

Existen efectos significativos entre la composición de un bloque de mampostería con agregados de caucho reciclado con la rentabilidad de su línea de producción.

En la tabla 1 se muestran las variables de cada hipótesis y su tratamiento correspondiente.

Tabla 1

Operacionalización de las variables.

Hipótesis	Variables	Tratamiento	Método de recolección de datos	Unidades	Instrumentos de medición
Existe una función que correlaciona la composición de un bloque de mampostería con agregados de caucho reciclado con la rentabilidad de su línea de producción.	**V.I** Composición del bloque (contenido de caucho, relación A/C y morfología del caucho). **V.D** Resistencia a la compresión	Diseño experimental de Taguchi y superficie de respuesta. Ensayos de resistencia a la compresión. Análisis granulométrico	Fuente primaria: Productores de bloques. Ensayos propios. Fuente secundaria: Literatura Normativa local	Gramos MPa Porcentaje	Balanza Tamiz Máquina de ensayos de compresión Calibrador digital Software estadístico
Es posible modelar la correlación entre la composición de un bloque de mampostería con agregados de caucho reciclado con la rentabilidad de su línea de producción	**V.I** Composición del bloque (contenido de caucho, relación A/C y morfología del caucho). **V.D** Rentabilidad (TIR y VAN)	Estudio económico financiero (TIR y VAN) de los bloques que cumplen con la norma. Diseño factorial para la obtención de las ecuaciones de regresión lineal.	Fuente primaria: Cálculos propios Secundaria: Facturas, Políticas financieras de la empresa. Normativa local Historial de ventas.	Dólares Porcentaje	Hoja de cálculo
Existen efectos significativos entre la composición	**V.I** Composición del bloque (contenido	Análisis de varianza, diagramas de pareto	Fuente primaria: Cálculos propios	Porcentaje	Software estadístico

de un bloque de mampostería con agregados de caucho reciclado con la rentabilidad de su línea de producción	de caucho, relación A/C y morfología del caucho). **V.D** Rentabilidad (TIR y VAN)				

Nota. Fuente: El autor.

CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO

Dentro de lo que es el marco teórico fue necesario indagar en primer plano lo concerniente al diseño robusto de parámetros, ya que a partir de este punto se definieron los rangos de las variables independientes conjuntamente con los estudios de la literatura. Si bien estos aspectos ya sirvieron como punto de partida para el estudio también se consideraron las características de los materiales con los que se va trabajar de modo que se puedan ajustar los requisitos de la normativa técnica local. Por último se incluye una descripción de los parámetros a tener en cuenta en el estudio técnico-financiero, pues este punto es de gran importancia ya que es aquí donde se muestran las políticas contables nacionales y el desglose teórico de cada parámetro para la obtención del VAN y la TIR. Como complemento al final del marco teórico se muestra la metodología bajo la cual se basó la distribución de la planta.

3.1 Diseño robusto de parámetros (RPD)

Es una metodología basada en el mejoramiento de la calidad de productos y procesos. Su objetivo es determinar los niveles de los parámetros del proceso que optimizan una respuesta de calidad particular mientras minimizan su variación. La formalización del RPD comenzó con Taguchi, quien propuso el diseño de experimentos (DOE) para identificar la configuración de los parámetros del proceso que producirían un rendimiento sólido. Taguchi utiliza una matriz ortogonal que genera una estimación insesgada de los efectos de los parámetros en las respuestas, la cual le da su característica básica a los experimentos (Kopac y Krajnik, 2007).

Si bien el ruido se lo tomó como un obstáculo en el DOE, Taguchi examinó los efectos de los factores de ruido en los diseños experimentales, por lo que para determinar la configuración óptima del factor, Taguchi considera tanto la media como la varianza de las características de

interés como una única medida de rendimiento y utiliza la teoría de la señal para derivar una serie de relaciones señal/ruido (SNR) a partir de la función de pérdida de Taguchi. Entre varios tipos de SRN, tres son utilizadas ampliamente por la obtención de una función objetivo: nominal es mejor, más grande es mejor y más pequeño es mejor.

Nominal es mejor:

$$SN_N = 10\log\left(\frac{\bar{y}^2}{s^2}\right) \tag{1}$$

Más grande es mejor:

$$SN_L = -10\log\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} {}^{1}/_{y_i^2}}{n}\right) \tag{2}$$

Más pequeño es mejor:

$$SN_L = -10\log\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} y_i^2}{n}\right) \tag{3}$$

Sin embargo el procedimiento de Taguchi resulta ser algo limitado al resolver los problemas del RPD, ya que los factores controlables y no controlables se colocan en matrices separadas lo que da como resultado ejecuciones más experimentales; sumado a esto el uso de matrices ortogonales no profundiza en las interacciones entre los factores de control y de ruido. Por lo tanto se han propuesto enfoques alternativos más eficientes basados en su filosofía como es el caso del modelo de respuesta dual (DR) basado en la metodología de superficie de respuesta (RSM) (Le y Shin, 2018).

3.1.1 Metodología de superficie de respuesta (RSM)

Esta metodología se centra en la optimización de modelos cuyos parámetros de entrada se basan en experimentos físicos, simulaciones y observaciones experimentales. El modelo de superficie de respuesta cuantifica las relaciones entre los parámetros de entrada (variables independientes) y las superficies de respuesta obtenidas. Las relaciones funcionales entre las respuestas y las variables independientes se pueden explicar utilizando el modelo polinomial de segundo orden que se muestra a continuación.

$$\eta = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i X_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} X_i^2 + \sum_i \sum_j \beta_{ij} X_i X_j + \mathcal{E} \tag{4}$$

Donde η es la respuesta estimada, β_0 es una constante, β_i, β_{ii} y β_{ij} representan los coeficientes de los términos lineales, cuadráticos y de productos cruzados respectivamente. X revela las variables codificadas (Asiltürk y Neşeli, 2012). Cuando la relación funcional exacta es desconocida o es muy complicada, el método de mínimos cuadrados (LSM) convencional es usado comúnmente para estimar las formas funcionales de la respuesta de entrada (coeficientes de regresión). Sin embargo para aplicar el LSM en RSM, se asume que los términos de error son independientes y están distribuidos normalmente con varianza constante y expectativa cero (Le y Shin, 2018).

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \cdots \\ \cdots \\ \beta_n \end{bmatrix} = (X^T X)^{-1} X^T \eta = \left[\frac{1}{k} \sum_{j=1}^{k} \eta_j, \frac{\sum_{j=1}^{k} X_{1j} \eta_j}{\sum_{j=1}^{k} X_{1j}^2}, \cdots, \frac{\sum_{j=1}^{k} X_{nj} \eta_j}{\sum_{j=1}^{k} X_{nj}^2} \right]^T \tag{5}$$

Donde η es el número de la función objetivo y k es el número de factores. Los β términos comprenden el conjunto de parámetros desconocidos que se pueden estimar mediante la recopilación de datos del sistema experimental, ya sea mediante experimentos físicos o numéricos. En base a los datos experimentales evaluados bajo un análisis de regresión se optimizan las respuestas (Asiltürk y Neşeli, 2012).

3.2 Estudio de diferentes materiales de construcción elaborados con agregados de caucho

En la actualidad existen muchos estudios sobre este tema por lo que se han propuesto una gran cantidad de formulaciones en función de la cantidad de materiales, % de dosificación del caucho, tamaño del caucho, tiempo de curado, relación agua/cemento, dimensiones del bloque. A continuación se presenta en la tabla 2 una breve recopilación de los resultados más óptimos de los diferentes materiales de construcción.

Tabla 2

Estudios de diferentes materiales de construcción con agregados de caucho.

MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	DOSOFIC. AL PESO					RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	TAMAÑO DEL CAUCHO	TIEMPO DE CURADO (Días)	AUTOR
	Agua	Cemento	Mat. Grueso	Mat. Fino	Caucho				
Bloque de mampostería	0,70	1,00	7,00	1,90	0,10	21,78 kg/cm²	0,14 cm (D) 1,92 cm (L)	28	Almeida (2011)
Adoquín de hormigón	a/c 0,43	1	3,40	1,80	9,70%	42,50 MPa	1-2 mm 1-5 mm	28	Ling (2011)
Hormigón de cemento	a/c 0,40 - 0,50	1	3,10	1,80	7,50%	37,00 MPa	0,80-2 mm 2-4 mm	28	Skariah y otros (2014)
Adoquín de concreto	a/c 0,39 - 0,45	1	3,40	1,90	9,70%	64,68 MPa	1-3 mm 1-5 mm	28	Ling (2010)
Bloque de mampostería	5,50	11,25	n/a	3,75	1,05	40,01 kg/cm²	4 mm	28	Mejía y Velásquez (2018)

Nota. Fuente: El autor.

3.3 Reciclaje de neumáticos

El reciclado de neumáticos consiste en la separación de sus componentes básicos, de modo que se obtienen partículas de distinto tamaño de caucho vulcanizado, además de acero y fibras textiles para su reutilización en distintas aplicaciones industriales (Hidalgo y otros, 2017).

Las posibilidades de reciclado de los neumáticos fuera de uso han experimentado en los últimos años un importante incremento, si bien al día de hoy el porcentaje de neumáticos reutilizados es bajo, su uso ya se lo ve reflejado en la fabricación de ciertos productos entre los que se encuentran los siguientes:

- Troceados y granulados: Pistas deportivas, revestimientos de pavimentos, aditivos para asfaltos, maquetas, calzado, frenos, alfombras ,aislantes , losetas, fabricación de tejados ,frenos, rellenos en obra civil, bandas de retención ,material deportivo, cubiertas, etc.
- Neumáticos enteros: Arrecifes artificiales, puertos, obras de estabilización y refuerzo de taludes, muros de contención, etc (Munuera, 2008).

Los productos antes mencionados están dentro de lo que se denomina valorización material por el hecho de que se los usa de acuerdo a las propiedades del caucho como lo son: absorción de vibraciones, gran capacidad de drenaje, peso reducido, elevada resistencia, flexibilidad, alto poder calorífico que proporciona el caucho. Sin embargo su eso se expande también hacia la valorización energética, puesto que también se hace uso de los neumáticos para su aprovechamiento del poder calorífico por lo que actualmente también se los usa como combustibles de sustitución en procesos industriales entre los que se encuentran cementeras, unidades de incineración, calderas industriales y centrales térmicas respetando siempre las disposiciones de protección ambiental (Rocío, 2012).

3.4 Granulometría de los agregados

Por análisis granulométrico de un agregado se entiende a todo procedimiento manual o mecánico mediante el cual se separan las partículas intrínsecas del agregado de acuerdo a su tamaño, de tal forma que podamos obtener las cantidades en peso de cada tamaño que aportan al peso inicial. La separación de tamaños se realiza bajo distintos tamices, los cuales indican el tamaño máximo del agregado en cada tamiz. En la práctica los pesos de cada tamaño se expresan como

porcentajes retenidos en cada tamiz con respecto al peso inicial de la muestra, a partir de estos porcentajes podemos calcular el porcentaje pasante del material en cada malla para proceder a trazar la curva granulométrica del agregado. (UCA El Salvador, 2007)

3.4.1 Módulo de finura del agregado fino

El módulo de finura es un valor adimensional que indica que tan fino o grueso es el agregado, por ende entre menor sea el número el agregado será más fino (Hernández, 2018). De acuerdo a la norma NTE INEN 872 (2011), el módulo de finura del agregado fino debe estar en el rango de 2,3 a 3,1. En el caso de que se encuentre fuera de este rango, el material puede ser usado siempre y cuando el proveedor pueda demostrar que el material elaborado con al agregado en consideración, posea propiedades iguales a las del material fabricado con las materias primas habituales.

3.5 Norma técnica ecuatoriana de bloques de hormigón (NTE INEN 3066 2016-11)

3.5.1 Clasificación de acuerdo a su uso

Se considera un bloque hueco de hormigón cuando el área neta de la superficie de carga sea menor al 75 %, mientras que el bloque sólido de hormigón debe ser mayor o igual al 75 %. En la tabla 3 se muestra la clasificación de bloques de hormigón según la normativa local acorde a su uso.

Tabla 3

Bloques de hormigón de acuerdo a su uso.

Clase	Uso
A	Mampostería estructural
B	Mampostería no estructural
C	Alivianamientos en losas

Nota. Fuente: NTE INEN 3066 (2016)

El bloque Clase A se lo considera como parte de un elemento estructural diseñado bajo el criterio de pared portante; sin embargo puede también ser usado en mamposterías no estructurales. El bloque Clase B se usa para separar espacios físicos, por lo que no debe soportar una carga

superior a su peso. Al ser utilizado no debe estar expuesto directamente a la intemperie salvo que se encuentre protegido (NTE INEN 3066, 2016).

3.5.2 Dimensiones

Referirse al apartado 5.1.2 de la norma NTE INEN 3066 (2016).

3.5.3 Resistencia a la compresión simple

Los bloques de hormigón deben cumplir con las resistencias netas mínimas a la compresión simple, especificadas en la tabla 4.

Tabla 4

Resistencia neta mínima a la compresión en bloques de hormigón.

Descripción	Resistencia neta mínima a la compresión simple (MPa)		
	Clase A	Clase B	Clase C
Promedio de 3 bloques	13,8	4,0	1,7
Por bloque	12,4	3,5	1,4

Nota. Fuente: NTE INEN 3066 (2016)

3.6 Estudio económico – financiero

En este apartado figura de manera sistemática y ordenada la información de carácter monetario de los resultados de la investigación y análisis efectuado en el diseño de experimentos, de modo que se pueda evaluar la rentabilidad económica de los bloques seleccionados. Para fundamentar la presente investigación se muestra a continuación una recopilación de referencias, destacando las aportaciones de distintos autores en las disciplinas de contabilidad, finanzas y costos.

3.6.1 Costo unitario

Se obtiene de la división del costo total de producción (suma de costos fijos y variables) para el total de unidades producidas. (Valenzuela, 2014)

3.6.2 Costos de producción

Surgen de la transformación de la materia prima con la intervención de recursos e insumos necesarios para obtener los productos pretendidos (Uribe, 2011).

3.6.2.1 Costos variables.

Su comportamiento es directamente proporcional al volumen de producción. Dentro de este rubro se encuentra todo lo que son costos de materias primas, mano de obra e insumos necesarios para la transformación de productos.

3.6.2.2 Costos fijos.

Su comportamiento es independiente al volumen o nivel de producción y permanecen constantes a corto plazo (Marulanda, 2015). Dentro de este rubro se encuentran lo que son alquileres, amortizaciones, seguros, servicios básicos, supervisión y gastos administrativos, entre otros.

3.6.3 Fijación de precios

Inicialmente el precio del producto o servicio debe cubrir los costos de producción y además generar una utilidad a partir de un margen adicional. Para fijar el precio de venta basado en costos se utiliza la siguiente fórmula:

$$P.V.P = (1 + \text{Margen de ganancia})\ (\text{Costo variable unitario} + \text{Promedio costos fijos}) \qquad (6)$$

Para este cálculo es necesario la evaluación de factores como la precisa medición interna de los costos, la coyuntura del mercado y el tipo de industria (Córdoba y Moreno, 2017).

3.6.3.1 Fijación de precios con base en la competencia

Esta estrategia se la suele utilizar cuando los productos comercializados son idénticos o parecidos a los de otros productores, en caso de que existan diferencias, estas deben ser evaluadas e incluidas dentro del precio ya sea como un incremento o una reducción proporcional en relación al valor de la diferencia presentada entre los productos (Garzón y otros, 2013). De acuerdo a consultas realizadas a productores locales, el precio de los bloques de pómez de 12 cm varía de $ 0,38 a $ 0,47 dependiendo del productor, el lugar, el peso y otro tipo de factores que influyen directamente en los costos de producción. Si bien estos costos pueden servir como referencia al momento de fijar un precio, se deben actualizar con el tiempo, pues existen fluctuaciones de precio a corto y largo plazo influenciados por la oferta y la demanda, que no permiten normalizar el precio de estos materiales de construcción.

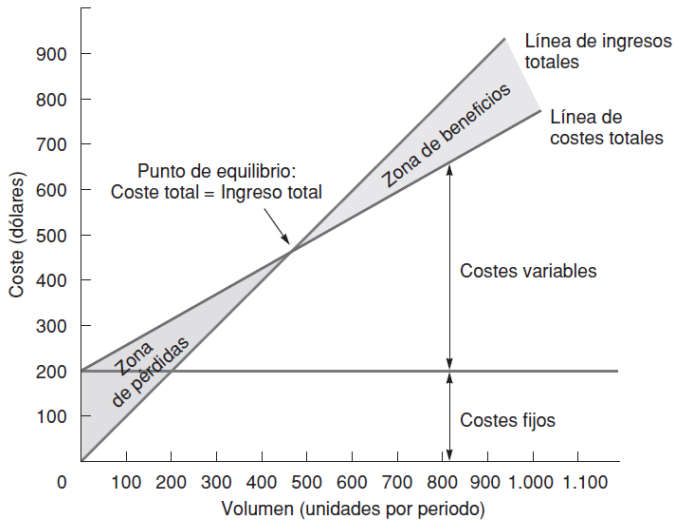
3.6.4 Umbral de rentabilidad o punto de equilibrio

"Es aquella cantidad de producción vendida en donde los ingresos totales son iguales a los costos totales, lo que da como resultado $0 de utilidad" (Horngren y otros, 2012). Por ende para

obtener beneficios, las empresas deben operar por encima de este nivel. Como se muestra en la figura 2, para el cálculo del punto de equilibrio es necesario la estimación de los costos fijos y variables, así como de los ingresos.

Figura 2

Punto de equilibrio fundamental.



Nota: Adaptada de OPERATIONS MANAGEMENT. 8va Edición, Pearson Education, 2007.

En este modelo básico del umbral de rentabilidad parte del supuesto en el que los costos fijos y variables tienden a ser líneas rectas, sin embargo en la vida real no tienen por qué seguir ese comportamiento. Pues esto puede ser influenciado por el cambio de maquinaria, empleo de nuevos operarios o descuentos sobre volumen de ventas.(Heizer y Render, 2007)

3.6.4.1 Enfoque algebraico del punto de equilibrio.

PE_{χ} = punto de equilibrio en unidades F = costes fijos

PE$ = punto de equilibrio en dólares V = costes variables por unidad

P = Precio por unidad

$$PE_{\chi} = \frac{\mathrm{F}}{\mathrm{P} - \mathrm{V}} \tag{7}$$

Al igual que en la ecuación 1, podemos llegar al punto de equilibrio mediante la ecuación 2.

$$PE\$ = \frac{\mathrm{F}}{1 - \mathrm{P/V}} \tag{8}$$

La herramienta del punto de equilibrio a parte de la planificación y el control de las utilidades deseadas ha sido usada como soporte en la toma de decisiones estratégicas, pues estas decisiones implican un riesgo y su evaluación permite tener un panorama más claro al momento de la estimación de la rentabilidad.(Horngren y otros, 2012)

3.6.5 Flujo de caja proyectado

En el caso de los emprendimientos es necesario levantar toda la información posible sobre precios de ventas e insumos, aumentos en niveles de ventas, elasticidad, entre otros. Con esta información se procede a elaborar los estados financieros pro-forma (estado de pérdidas y ganancias, y balance general proyectados). A partir de aquí y teniendo en cuenta las políticas financieras de la empresa se construye el flujo de tesorería, por lo que es necesario hacer una diferenciación entre los diferentes estados y tener claro la utilización de cada uno de ellos (Vélez, 2013).

3.6.5.1 Balance general

Se rige por el principio de partida doble, en donde la situación financiera se expresa en un equilibrio dada por la siguiente ecuación:

$$\text{Activos} - \text{Pasivos} = \text{Patrimonio} \tag{9}$$

La idea es que al igual que los elementos de la ecuación mantienen su equilibrio, los flujos de caja asociados también lo estén.

3.6.5.2 Estado de pérdidas y ganancias

Busca determinar la utilidad de una firma o un proyecto. Este informe registra la asignación de costos teniendo en cuenta que no siempre han ocurrido como desembolsos, un ejemplo es el registro de las depreciaciones. Por otra parte el registro de ventas también se ve involucrado así hayan sido a crédito y no estén pagadas por los clientes, por lo que el estado de pérdidas y ganancias, genera las obligaciones y derechos en los que se ha incurrido durante el período (Vélez, 2013).

3.6.5.3 Flujo de tesorería

Permite evaluar la capacidad que tiene la empresa para generar efectivo o equivalentes al afectivo, así como las necesidades de liquidez. Los flujos de

efectivo se derivan de todos los ingresos y egresos que se espera que ocurran en el momento en que se reciben o se pagan. Tenemos los siguientes ejemplos:

- Cobros provenientes de las ventas de bienes o prestación de servicios.
- Pagos a proveedores por el abasto de bienes y servicios.
- Cobros y pagos derivados de obligaciones de pólizas suscritas.
- Pagos o devoluciones de impuestos sobre las ganancias a menos que estén consideradas dentro de las actividades de inversión o financiación.
- Cobros y pagos procedentes de contratos.

Algunas transacciones como la venta de elementos que pertenecen a la propiedad, planta o equipo pueden dar lugar a una ganancia o pérdida que deberán ser incluidos dentro de la ganancia neta, teniendo en cuenta que los flujos derivados de estas transacciones se deben incluir entre las actividades de inversión. (Vargas, 2008)

3.6.6 Flujo de caja libre

Calcula las inversiones necesarias y los beneficios del proyecto a los largo de su vida proyectada sin considerar cualquier efecto de la financiación incluyendo el ahorro de impuestos derivados por pago de intereses (Salazar y otros, 2012).

3.6.6.1 Préstamos y aportes de los socios

Según Vélez (2013), estos no son beneficios, ni costos generados por la operación de un proyecto por lo que no se deben incluir dentro del flujo de caja libre, es necesario aclarar que se trata de evaluar la flexibilidad del proyecto, por lo que se analizan los recursos sacrificados en la inversión del proyecto, sin importar de donde provengan los fondos para la financiación de esos recursos.

3.6.6.2 Depreciaciones de activos fijos

De acuerdo al artículo 28 de los gastos generales deducibles de la Ley Orgánica de Régimen Tributario Interno, la depreciación debe estar en conformidad a la naturaleza de los bienes, a la duración de su vida útil, a la corrección monetaria, y la técnica contable, así como las que se conceden por obsolescencia y otros casos. (Dirección Nacional Jurídica, 2015)

Para que este gasto sea deducible, no podrá superar los siguientes porcentajes:

(I) Inmuebles (excepto terrenos), naves, aeronaves, barcazas y similares 5% anual.

(II) Instalaciones, maquinarias, equipos y muebles 10% anual.

(III) Vehículos, equipos de transporte y equipo caminero móvil 20% anual.

(IV) Equipos de cómputo y software 33% anual.

Tales porcentajes se aplicarán sobre el avalúo con el que la propiedad conste en los catastros municipales. (Servicio de Rentas Internas, 2015)

3.6.6.3 TIR y VAN

" El valor actual neto (VAN) considera el valor del dinero a través del tiempo y representa la utilidad que obtiene el inversionista después de recuperar la inversión" (Martinez, 2002). Para lo cual se actualizan los flujos netos mediante una tasa de descuento denominada tasa de expectativa o alternativa/oportunidad en donde se refleja la rentabilidad mínima exigida por el proyecto para recuperar la inversión cubrir costos y obtener beneficios. Su cálculo se presenta en la siguiente ecuación:

$$VAN = -I_0 + \frac{\sum_{t=0}^{n} FNE_t}{(1+i)^t} \tag{10}$$

Donde:

I_0 = Inversión inicial

n = número de períodos de vida útil del proyecto

Σ = Sumatoria de t = 0 hasta n periodos

FNE = Flujo Neto de Efectivo del período t

i = Tasa de expectativa o alternativa/oportunidad

La tasa interna de retorno (TIR) indica la sensibilidad del VAN ya que esta muestra la mayor tasa de interés que puede pagar el inversionista sin perder dinero (Martinez, 2002). Al final resulta ser la tasa de descuento que iguala el valor presente de los ingresos con el valor presente de los egresos del proyecto, por lo que esta tasa al reemplazarla en el cálculo del VAN hace que este sea igual a cero. Su cálculo se presenta en la siguiente ecuación:

$$\frac{\sum_{t=0}^{n} FNE_t}{(1+TIR)^t} = VAN = 0 \quad (11)$$

Donde:

n = número de períodos de vida útil del proyecto

Σ = Sumatoria de t = 0 hasta n periodos

FNE = Flujo Neto de Efectivo del período t

VAN = Valor actual neto

Si la TIR es mayor a la tasa de expectativa, el proyecto desde el punto de vista financiero es atractivo, ya que los ingresos superan a los egresos y generan utilidades por encima de la tasa de expectativa. Caso contrario si la TIR es menor a la tasa de expectativa, el proyecto no es rentable desde el punto de vista financiero, dentro de este escenario se nos presenta dos disyuntivas:

- Si el TIR es menor a la expectativa pero mayor a cero significa que los ingresos cubren a los egresos del proyecto pero no generan utilidades adicionales.
- Si el TIR es menor a cero significa que los ingresos no cubren a los egresos por lo tanto el proyecto genera pérdidas.

En el caso de que el TIR sea igual a la tasa de expectativa es indiferente realizar el proyecto o elegir otras alternativas ya que el beneficio es el mismo. (Mete, 2014)

3.7 Distribución de la planta

Implica la ordenación física y racional de los elementos productivos garantizando su flujo óptimo al más bajo costo, de forma que se orienten hacia dos intereses: el interés económico, con el objetivo de aumentar la producción y reducir costos, y por otra parte, el interés social con el objetivo de brindar seguridad y satisfacción del trabajador hacia su trabajo (Aguilar, 2017).

3.7.1 Metodología Systematic Layout Planning (SLP)

La planificación de diseño sistemático (SLP) es un procedimiento usado en el establecimiento del diseño del lugar de trabajo, en donde se dispone una relación lógica entre el lugar de trabajo que presenta alta frecuencia con estaciones cercanas de trabajo, de modo que su aplicación produzca un flujo de material más rápido con menor costo y manipulación. En este

método se indican una serie de procesos y técnicas que permiten identificar, valorar y visualizar todos los elementos involucrados en la implementación. Esta planificación consta de cuatro etapas:

Etapa I: Determinación de la ubicación donde se construirá la instalación.

Etapa II: Diseño general de la instalación.

Etapa III: Determinación del diseño de la distribución de la instalación en detalle.

Etapa IV: Preparación e instalación de los resultados del diseño.

Los datos de entrada requeridos por la planificación de diseño sistemático se dividen en cinco categorías:

- P (Producto): el tipo de producto (bienes / servicio) producido.
- Q (Cantidad): Volumen de cada tipo de bienes / componentes producidos.
- R (Ruta): El orden de operación de cada producto
- S (Servicio): Servicio auxiliares, como vestuarios, estaciones de monitoreo, etc.
- T (Sincronización): En qué momento se produjo el tipo de componente del producto, qué máquina se utiliza para producirlo en ese momento. (Suhardini y otros, 2017)

3.7.2 Principios de la distribución de planta

Según Muther (1981) plantea seis principios que pueden resumir los objetivos de la distribución de planta, de tal manera que sirven de base para establecer la metodología SLP , que permitan abordar el problema de la distribución de planta de forma ordenada y sistemática:

1. Principio de la integración de conjunto

La distribución óptima es la que incorpora a los materiales, operarios, maquinaria, actividades u otro factor, de modo que se integren todas estas partes.

2. Principio de la mínima distancia recorrida

En las mismas condiciones para todos los elementos, la distribución nos permitirá recorrer la distancia más corta.

3. Principio de la circulación o flujo de materiales

En las mismas condiciones para todos los elementos, la distribución nos permitirá ordenar las áreas de trabajo con el objetivo de que cada operación o proceso estén en el mismo orden en que se trabajan los materiales.

4. Principio de espacio cúbico

La economía se optimiza utilizando todo el espacio disponible

5. Principio de la satisfacción y seguridad

En las mismas condiciones para todos los elementos, la distribución será más efectiva de modo que el trabajo será más satisfactorio y seguro para las partes competentes.

6. Principio de flexibilidad

En las mismas condiciones para todos los elementos, la distribución será más efectiva en cuestiones de ajuste o reordenamiento con la menor cantidad de costos o contratiempos. (Muther, 1981)

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA

4.1 Análisis de la metodología de investigación

4.1.1 Tipo, diseño y nivel de investigación

En la correlación de la composición de un bloque de mampostería con agregados de caucho reciclado con la rentabilidad de la línea de producción se utilizó un enfoque de investigación cuantitativo ya que se manejó datos numéricos de pesos de la formulación del producto, porcentajes, costos, etc. El proyecto de tesis fue de tipo aplicada ya que se elaboró el producto para proponerlo en una línea de producción de la fábrica.

El alcance de la investigación fue de carácter descriptivo ya que el propósito es describir los eventos prácticos como la experimentación y teóricos como diseño de mezclas, rentabilidad, materia prima entre otros conceptos. En la segunda etapa tuvo un carácter correlacional de modo que se analizó el efecto de la composición del bloque sobre la rentabilidad del proceso, y finalmente tuvo un carácter explicativo ya que se analizó el efecto de las variables independientes sobre las variables respuesta. El diseño de la investigación fue de carácter experimental ya que se manejaron condiciones iniciales como relación agua/cemento, porcentaje de caucho y morfología del caucho, lo cual permitió evaluar el efecto de los mismos sobre la rentabilidad y la resistencia. Todo lo mencionado anteriormente se encuentra recopilado en la tabla 5 que se muestra a continuación.

Tabla 5

Tipo, diseño, nivel y enfoque de la investigación.

Tipo	Aplicada	Al obtenerse los resultados se podrá recomendar para su uso en la hipotética línea de producción.
Diseño	Experimental	Se manejó variables independientes y dependientes para la experimentación del producto, por lo que los resultados permitieron generar información que se acople a las necesidades de la fábrica.
Nivel	Descriptiva Correlacional Explicativo	Descripción de eventos prácticos y teóricos, interacción entre las variables en el diseño de experimentos y evaluación del efecto de las variables independientes sobre las variables respuesta.
Enfoque	Cuantitativo	Manejo de datos numéricos en las variables dependientes e independientes.

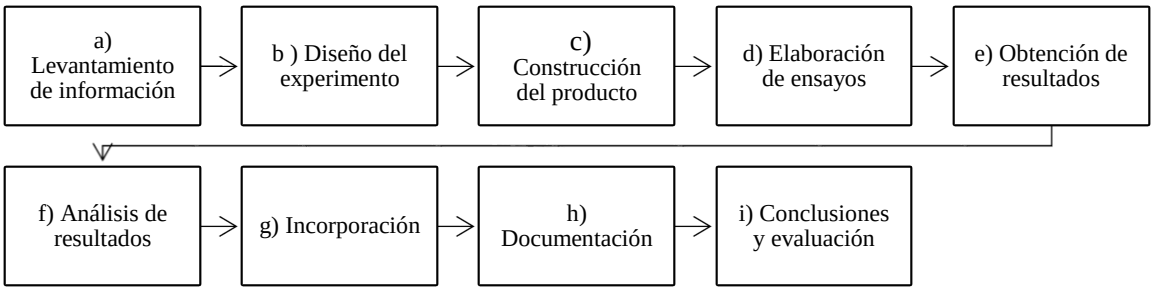
Nota. Fuente: El autor.

4.1.2 Método de investigación

El método de investigación aplicado fue de carácter experimental, pues a partir de las variables independientes se buscó implementar una hipotética línea de producción. Para el estudio se consideraron variables que influyan directamente en la variable rentabilidad tales como relación agua/cemento, porcentaje de caucho y morfología del caucho, de modo que al momento de evaluar la respuesta permita la identificación de las variables más influyentes sobre la rentabilidad y la resistencia, la cuales son las variables respuesta. En la figura 3 se muestra una recopilación de los pasos a seguir en este método de investigación:

Figura 3

Diagrama de la metodología de investigación.



Nota: Fuente: El autor.

Descripción:

a) **Levantamiento de la información**: En esta etapa se determinó los parámetros de las variables dependientes e independientes, además de la valoración de equipos e instalaciones necesarias para la implementación de la línea de producción.

b) **Diseño del experimento:** En esta etapa se definió que diseño experimental se acopla de mejor manera al modelo en base a las características de las variables dependientes e independientes.

c) **Construcción del producto:** Con los datos del diseño se fabricaron los bloques de mampostería.

d) **Elaboración de ensayos:** Con los bloques fabricados bajo los distintos tipos de condiciones se realizaron los correspondientes análisis de resistencia a la compresión y densidad.

e) **Obtención de resultados**: Se determinaron los valores de las variables respuesta en base a los ensayos y a la información levantada previamente. Se ingresaron los datos al programa y se obtuvo el correspondiente análisis estadístico.

f) **Análisis de resultados:** Se evaluó la incidencia de las variables independientes sobre las variables respuestas y se identificó las condiciones para los mejores experimentos.

g) **Incorporación:** Con los mejores experimentos se realizó un análisis de costos de implementación y un layout donde se incorporó el proceso de producción de fibras de caucho a la hipotética línea de producción de bloques de mampostería.

h) **Documentación:** En esta etapa se elaboró un informe sobre todo el proyecto, de modo que se facilite la futura reutilización del estudio si esta fuera de interés.

i) **Conclusiones y evaluación:** En esta última etapa se presentó la documentación del proyecto a la gerencia de la fábrica reencauchadora con la que se evaluará en un futuro la decisión sobre la implementación o no de la línea de producción.

4.1.3 Determinación de la muestra

4.1.3.1 Unidad de estudio

Para esta investigación la unidad es la línea de producción de bloques de mampostería elaborados con fibras de caucho.

4.1.3.2 Unidad de análisis

En este caso son los diferentes bloques elaborados bajo distintas condiciones de las variables independientes.

4.1.3.3 Unidad de experimentación

Al igual que la unidad de análisis son los diferentes tipos de bloques elaborados bajo distintas condiciones de experimentación.

4.2 Análisis de proceso

4.2.1 Detalles experimentales

4.2.1.1 Diseño de experimentos

El DOE estuvo constituido por 3 factores controlables en 3 niveles, cuyos valores reales y codificados se presentan en la tabla 6. El marco experimental es una región determinada por límites superiores de configuración de los parámetros de interés. El rango de parámetros en la granulometría del caucho estuvo determinada por el grado de trituración del caucho que se realiza en la fábrica, por lo que al realizar el correspondiente análisis granulométrico se la clasificó con valores categóricos numéricos, siendo el agregado más fino el 1 y el agregado medio 2, y el agregado más grueso 3, mientras que para los rangos de porcentaje de caucho y relación agua/cemento al ser factores numéricos continuos están determinados por revisiones bibliográficas de distintos materiales de construcción.

Tabla 6

Parámetros de composición y sus niveles.

Parámetro de proceso	Símbolo	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Granulometría del caucho	GC	1	2	3
Porcentaje de caucho	%C	5	10	15
Relación agua/cemento	A/C	0,45	0,50	0,55

Nota. Fuente: El autor.

En el marco del método de Taguchi L9 (3 ^ 3), se optó por el diseño simplificado debido al tiempo de curado de los bloques, por lo que el diseño presenta 3 columnas y 9 filas con un total de 27 experimentos que incluye las columnas para las 3 réplicas en la variable respuesta. A cada parámetro de composición se asignó a una columna tal como se observa en la Tabla 7. El orden de ejecución de los experimentos es completamente aleatorio para reducir el error experimental.

Tabla 7

Diseño de experimentos.

Corrida	GC	%C	A/C
1	1	5	0,45
2	1	10	0,50
3	1	15	0,55
4	2	5	0,50
5	2	10	0,55
6	2	15	0,45
7	3	5	0,55
8	3	10	0,45
9	3	15	0,50

Nota. Fuente: El autor.

4.2.1.2 Materiales

"Se deben elaborar con cemento hidráulico, áridos finos y gruesos, tales como: arena, grava, piedra partida, granulados volcánicos, piedra pómez, escorias u otros materiales inorgánicos inertes adecuados " (NTE INEN 3066, 2016).

Descripción de los materiales usados en este proyecto:

Cemento hidráulico tipo GU: Cemento producido por la mezcla molida de clinker de cemento portland, puzolanas naturales y silicatos cálcicos hidráulicos, el cual al ser hidratado genera estructuras cristalinas que permiten el fraguado y el endurecimiento (NTE INEN 151, 2010).

Piedra pómez triturada o Chasqui: Es un material formado a partir del proceso de secado de la lava de los volcanes, generalmente originario de la ciudad de Latacunga de un lugar denominado cerro Chasqui ubicado a las faldas del volcán Cotopaxi (Crespo, 2015). La norma NTE INEN 872 lo define como panaloide cuya característica principal son los poros y cavidades visibles (Sánchez, 2010).

Polvo volcánico: Este material proveniente de las emisiones volcánicas del volcán Cotopaxi, está compuesto de sílice (vidrio vítreo, cuarzo y otros polimorfos) y feldespato plagioclasa (serie de solución sólida de feldespato de sodio a calcio) (Trejos y otros, 2021).

Agregado de Caucho: Producto de la trituración de neumáticos y la separación de sus componentes que lo conforman, principalmente acero y fibras textiles (Olivares, 2016). La matriz del caucho está constituida por copolímeros estireno-butadienos (SBR) como sustitutos parciales o totales del caucho natural (Juárez y otros, 2013).

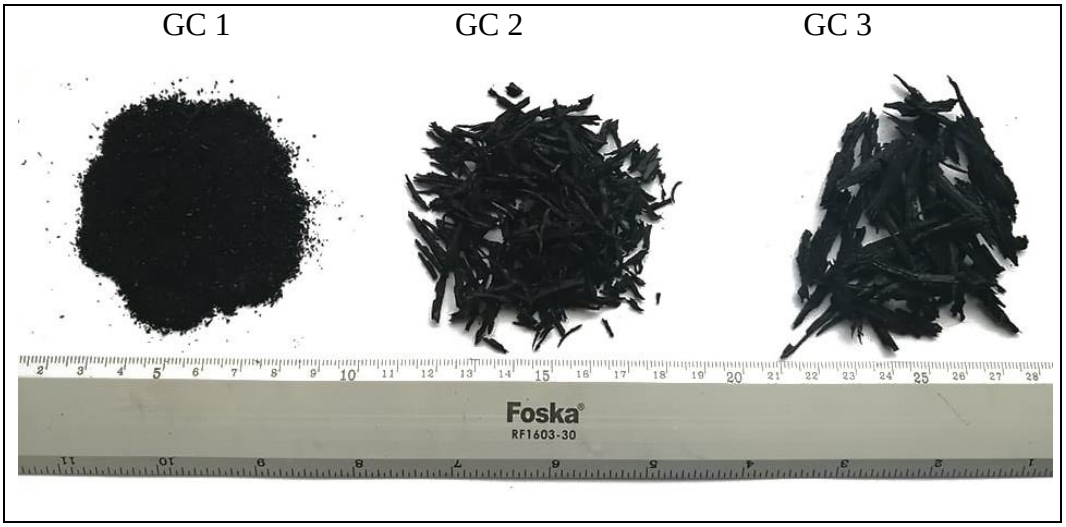
Agua: El agua a utilizarse debe cumplir con los requisitos mencionados en el apartado 5.1.1 de la norma NTE INEN 3066 (2016).

En el parámetro de granulometría de caucho (GC) se utilizaron 3 tamaños de partículas de caucho granulado (Figura 4) como sustituto parcial del polvo volcánico. Las fibras de caucho al presentar menores propiedades mecánicas que el resto de elementos del compuesto constituye un agregado. Por consiguiente, se lo ha considerado como un sustituto del agregado (polvo volcánico). Según estudios realizados por Ling (2010) es aconsejable reemplazar el caucho por el agregado fino de modo que las características estructurales del material no se vean afectadas en gran medida. Se hizo uso del método de ensayo descrito en la norma ASTM C136, para lo cual se

utilizó el equipo de cribado del laboratorio PGWOOD de la Universidad Politécnica Salesiana (Figura 5).

Figura 4

Caucho granulado.



Nota. Fuente: El autor.

En el caso del agregado 1 se usó el juego de tamices de malla No. (10, 20, 30, 40, 60 y 100) de Ø 200 mm (ver figura 5). Se realizó un tamizado mecánico por 15 minutos, con una amplitud de 1,2 mm y un intervalo de vibración de 15 segundos .Para el agregado 2 se hizo uso de los tamices de malla No. (4, 8, 12, 16, 20 y 30), se realizó un tamizado mecánico de cuatro intervalos de 3 minutos y después se procedió a realizar un tamizado manual por 1 minuto.

En el caso del agregado 3 al ser el más grueso se hizo uso de los tamices de malla de 9,5 mm para el nivel superior y los juegos de tamices No.(4, 8, 12, 20, y 30) para los siguientes niveles. El tamizado se realizó por tres intervalos de 3 minutos. Cabe mencionar que los agregados 2 y 3 se tamizaron en una cribadora mecánica marca Maquisuelos modelo MQT-2 de tamices de Ø 200 mm del laboratorio de ingeniería civil de la Universidad Politécnica Salesiana (Figura 6). Los módulos de finura se calcularon en base a la norma NTE INEN 696 (2011), mediante la sumatoria de la masa retenida acumulada (promedio) de cada uno de los tamices y dividiendo la suma para 100, incrementando en la relación de 2 a 1 entre los tamices.

Figura 5

Equipo de cribado utilizado en el agregado de caucho 1.

Nota. Fuente: El autor.

Figura 6

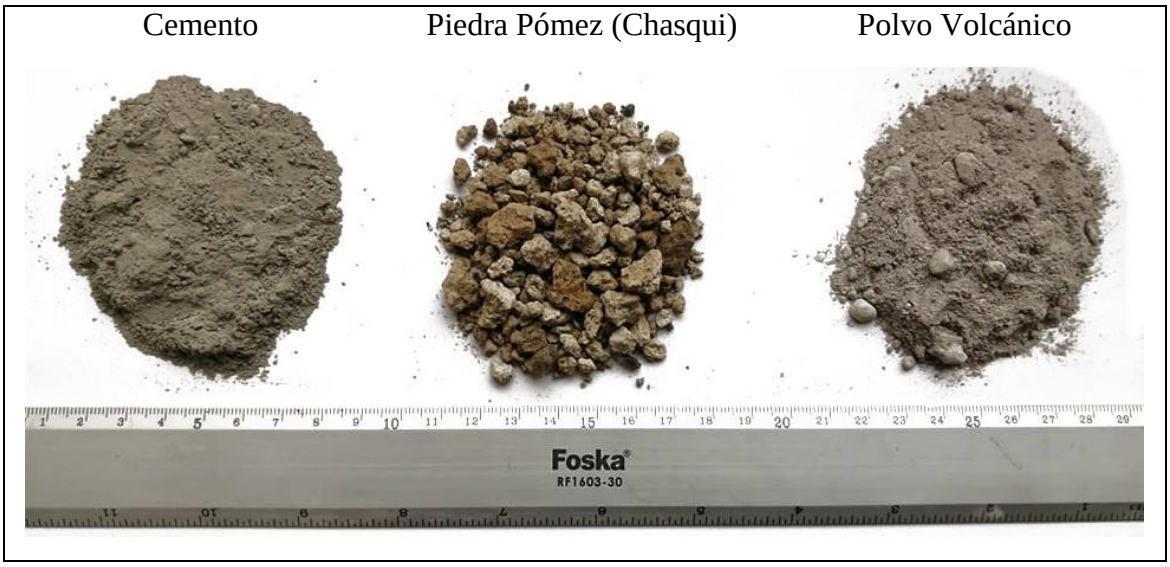
Equipo de cribado utilizado en el agregado de caucho 2 y 3.

Nota. Fuente: El autor.

Se utilizó cemento hidráulico tipo GU que cumple con los requisitos de la norma NTE INEN 2380 (Industrias Químicas del Azuay, 2020). Los agregados naturales utilizados fueron polvo volcánico como agregado fino con una densidad de 1,828 g/cm³ (Urgilés, 2017) y piedra pómez (chasqui) como agregado grueso cuya densidad varía entre 0,4 a 0,9 g/cm³ (INEC, 2012). A continuación en la Figura 7 se observan todos los materiales usados en la elaboración de los experimentos, los cuales están disponibles comercialmente en Ecuador.

Figura 7

Materias primas usadas en la experimentación.



Nota. Fuente: El autor.

4.2.1.3 Diseño de mezcla

Se prepararon un total de 12 mezclas diferentes en un entorno de planta comercial para evaluar el efecto del contenido de caucho en la resistencia a la compresión. Todas las mezclas se realizaron bajo el método ACI, cuyos resultados cumplieron con los requisitos de la norma NTE INEN 1855-2 (2015), las mezclas se dosificaron con una proporción de agregado grueso/cemento 5,02 la proporción de agregado fino a grueso se mantuvo en un rango de 1:1,72 hasta 1:1,92 y la relación A/C estuvo en un rango de 0,45 – 0,55. El contenido de cemento fue de 196,4 kg/m³ para todas las mezclas. La fracción de volumen de caucho granulado varió en aproximadamente 0%, 5%, 10% y 15% para el reemplazo del polvo volcánico en la mezcla. A continuación en la tabla 8 se muestra la nomenclatura de la notación usada en el presente estudio.

Tabla 8

Nomenclatura del estudio.

Nomenclatura	Especificación

SAB-0	Sin agregado de caucho, relación agua-cemento 0,45 , 0% de caucho
SAM- 0	Sin agregado de caucho, relación agua-cemento 0,5 , 0% de caucho
SAA-0	Sin agregado de caucho, relación agua-cemento 0,55 , 0% de caucho
AFB-5	Agregado de caucho 1, relación agua-cemento 0,45 , 5% de caucho
AFM-10	Agregado de caucho 1, relación agua-cemento 0,5 , 10% de caucho
AFA-15	Agregado de caucho 1, relación agua-cemento 0,55 , 15% de caucho
AG1M-5	Agregado de caucho 2, relación agua-cemento 0,5 , 5% de caucho
AG1A-10	Agregado de caucho 2, relación agua-cemento 0,55 , 10% de caucho
AG1B-15	Agregado de caucho 2, relación agua-cemento 0,45 , 15% de caucho
AG2A-5	Agregado de caucho 3, relación agua-cemento 0,55 , 5% de caucho
AG2B-10	Agregado de caucho 3, relación agua-cemento 0,45 , 10% de caucho
AG2M-15	Agregado de caucho 3, relación agua-cemento 0,5 , 15% de caucho

Nota. Fuente: El autor.

Los detalles de todo el diseño de mezclas se muestran en la tabla 9.

Tabla 9

Composición y proporciones de mezcla.

Notación mixta	Proporción de mezcla	Relación A/C	Contenido de caucho	
	Cemento: A.Fino: A.Grueso		(%)	Kg/m³
SAB-0	1: 3,07: 5,02	0,45	0	0
SAM- 0	1: 3,07: 5,02	0,5	0	0
SAA-0	1: 3,07: 5,02	0,55	0	0
AFB-5	1: 2,92: 5,02	0,45	4,98	30,09
AFM-10	1: 2,76: 5,02	0,5	10,01	60,36
AFA-15	1: 2,61: 5,02	0,55	14,99	90,45
AG1M-5	1: 2,92: 5,02	0,5	4,98	30,09
AG1A-10	1: 2,76: 5,02	0,55	10,01	60,36
AG1B-15	1: 2,61: 5,02	0,45	14,99	90,45

AG2A-5	1: 2,92: 5,02	0,55	4,98	30,09
AG2B-10	1: 2,76: 5,02	0,45	10,01	60,36
AG2M-15	1: 2,61: 5,02	0,5	14,99	90,45

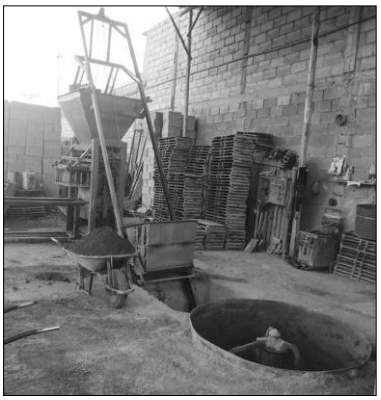
Nota. Fuente: El autor.

4.2.1.4 Procedimiento experimental

Una vez seleccionados y pesados los materiales se procedió a mezclarlos durante 1 minuto, la mezcla preparada se transfirió a una tolva de alimentación, la cual por medio de una ascensor lleva la mezcla hacia la vibro-compactadora. Los materiales se moldearon bajo una acción combinada de vibración y compactación en moldes de acero de dimensiones internas de 400 mm de largo, 120 mm de ancho y 200 mm de altura (ver figuras 8 y 9).

Figura 8

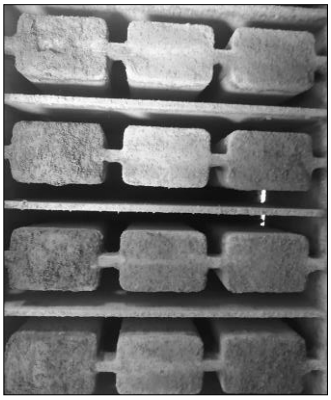
Maquinaria usada en la elaboración de los bloques.



Nota. Fuente: El autor.

Figura 9

Moldes de 12 cm de ancho usados en la experimentación.



Nota. Fuente: El autor.

Los bloques se dejaron en el área de curado a temperatura ambiente durante 1 día. Posteriormente se realizó la extracción de los bloques del molde y se mantuvieron en la zona de curado al aire por 28 días. La figura 11 muestra el diagrama de flujo del presente estudio.

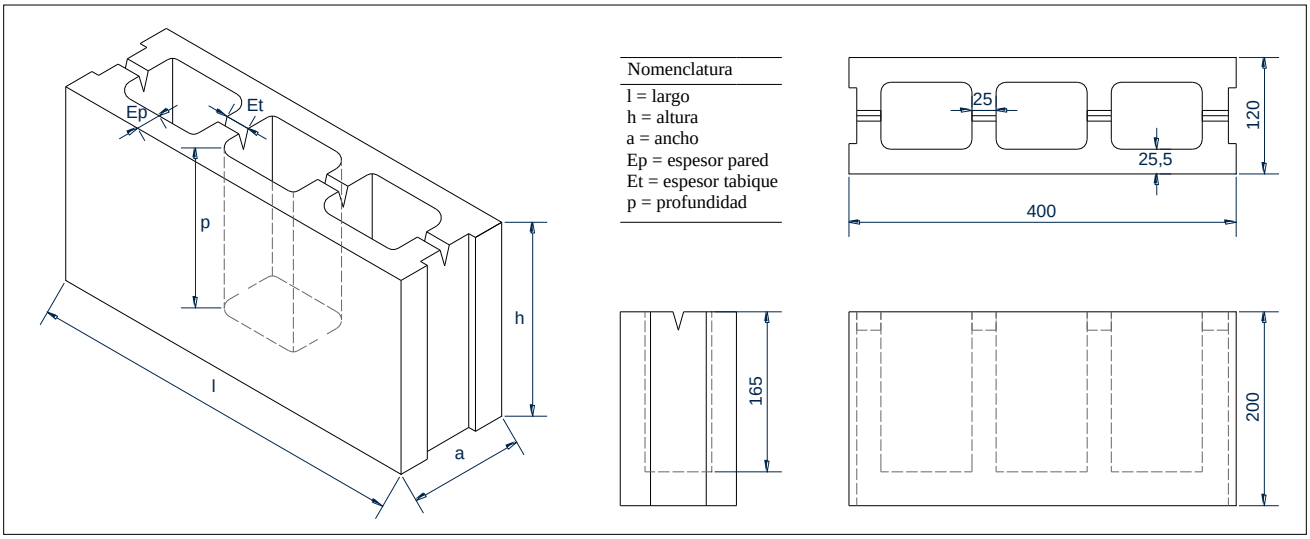
4.2.2 Determinación de dimensiones y aspectos visuales

Terminado el proceso de curado se determinó el cumplimiento de los aspectos visuales y dimensiones, para lo cual se hizo uso del método de ensayo descrito en el Anexo B de la norma NTE INEN 3066 para la toma de dimensiones.

En las mediciones se ignoró surcos, protuberancias y detalles similares tal como se muestra en la figura 10.

Figura 10

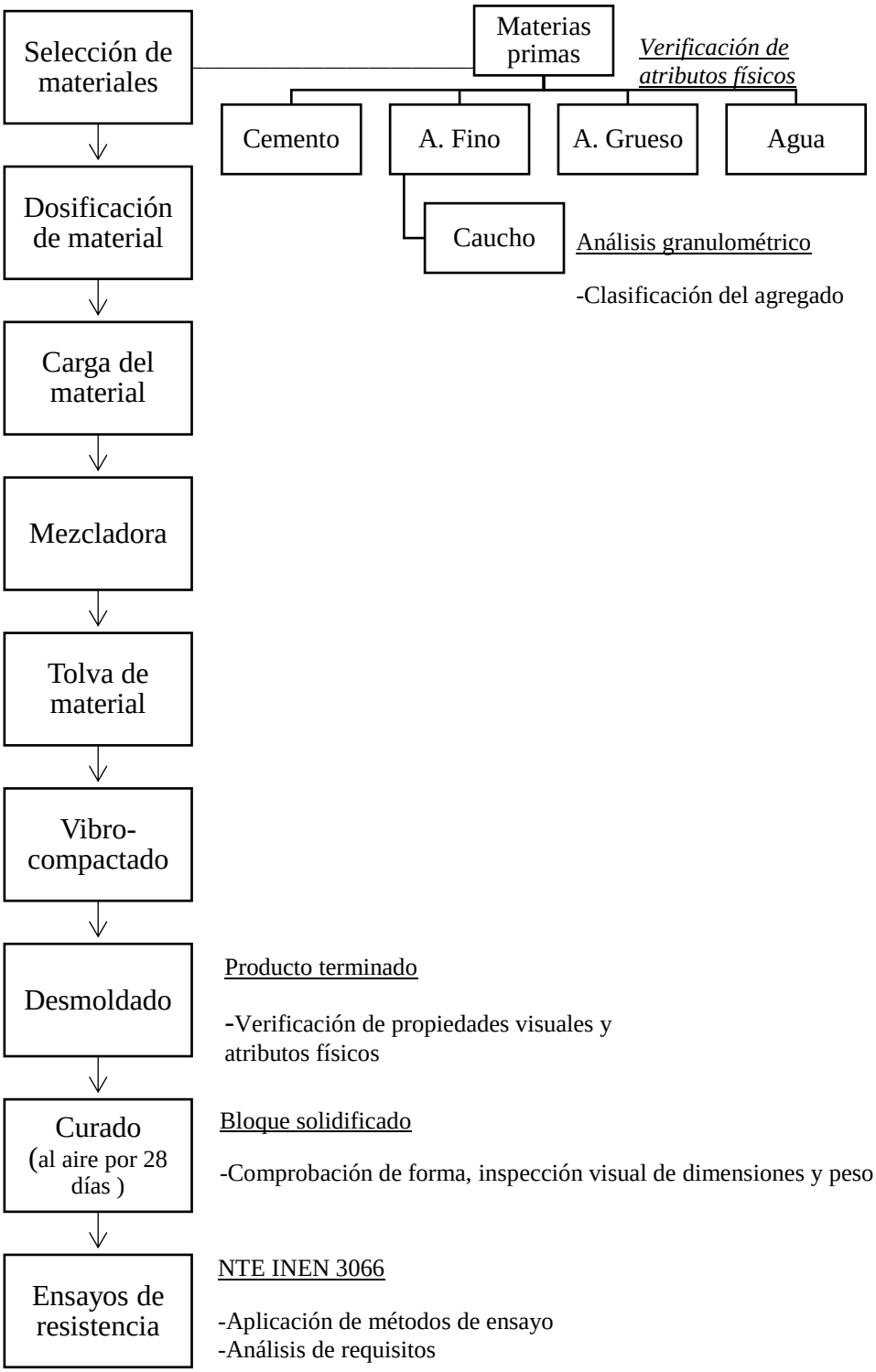
Vistas y dimensiones en mm de los bloques usados en la experimentación.



Nota. Fuente: El autor.

Figura 11

Diagrama de flujo del estudio de investigación.



Nota. Fuente: El autor.

4.2.3 Determinación de resistencia a la compresión

Una vez determinadas las dimensiones y aspectos visuales se procedió al análisis de resistencia a la compresión de los experimentos. Se hizo uso del método de ensayo descrito en el Anexo E de la norma NTE INEN 3066 (ver figura 13), para lo cual se utilizó una máquina de ensayo universal marca METRO COM engineering s.p.a de carga máxima de 3000 kN del laboratorio de ensayos mecánicos de la Universidad Politécnica Salesiana (figuras 12 y 14). Antes de la prueba se colocaron dos piezas de madera contrachapada para asegurar una superficie plana durante la carga El valor promedio de la resistencia a la compresión se calculó bajo la base de 3 muestras.

Figura 12

Equipo de ensayos de resistencia a la compresión.

Nota. Fuente: El autor.

Figura 13

Preparación de las muestras.

Nota. Fuente: El autor.

Figura 14

Lectura del equipo expresada en kN.

Nota. Fuente: El autor.

4.2.3.1 Cálculos

Los cálculos de la resistencia a la compresión simple de la unidad se realizaron de acuerdo a las especificaciones del Anexo E de la norma NTE INEN 3066.

Área bruta

Área bruta (Ag), (mm²) = l x a (12)

donde

Ag es el área bruta de la unidad, (mm²)

l es la longitud promedio de la unidad, (mm),

a es el ancho promedio de la unidad, (mm)

Resistencia a la compresión del área bruta

Resistencia a compresión del área bruta, (MPa) = $\frac{Pmáx}{Ag}$ (13)

donde

$P_{máx}$. es la carga máxima de compresión (N),

Ag es el área bruta de la unidad (ver ecuación 3), (mm²).

Área Neta

Área neta (An), (mm²) = l x a (14)

donde

An es el área neta de la fracción de bloque o de la unidad 100 % sólida (mm²),

l es la longitud promedio de la fracción de bloque o de la unidad 100 % sólida (mm) y

a es el ancho promedio de la fracción de bloque o de la unidad 100 % sólida (mm).

Resistencia a la compresión del área neta

Resistencia a compresión del área neta, (MPa) = $\frac{Pmáx}{An}$ (15)

donde

Pmáx. es la carga máxima de compresión, (N), y

An es el área neta de la unidad (ver ecuación 5), (mm²). (NTE INEN 3066, 2016)

4.2.4 Estandarización del agregado de caucho

Una vez clasificados los experimentos óptimos, se procedió a estandarizar el agregado, de modo que las partículas que no son significativas en el comportamiento del análisis granulométrico, fueran separadas con la intensión de que los resultados finales se muestren bajo un rango definido de finura (figura 17). Los dos agregados cuyos bloques cumplen con los requisitos de la norma técnica ecuatoriana para bloques clase B y C, se cribaron en una tamizadora mecánica con dimensiones de tamiz de 0,78 m x 0,8 m (ver figura 15). Para el agregado de caucho 1 se hizo uso de una malla plástica de abertura de 1,6 mm y para el agregado de caucho 2, se utilizó una malla tejida de tela de abertura de 0,8 mm (ver figura 16).

Figura 15

Cribadora mecánica de 0,78 m x 0,8 m.

Nota. Fuente: El autor.

Figura 16

Malla plástica de 1,6 mm y malla tejida de tela de 0,8 mm.

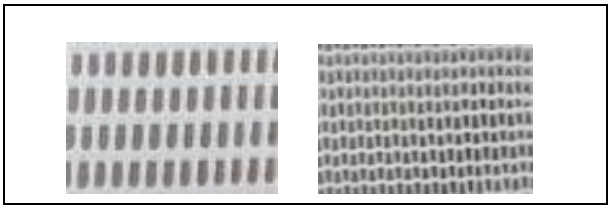


Figura 17

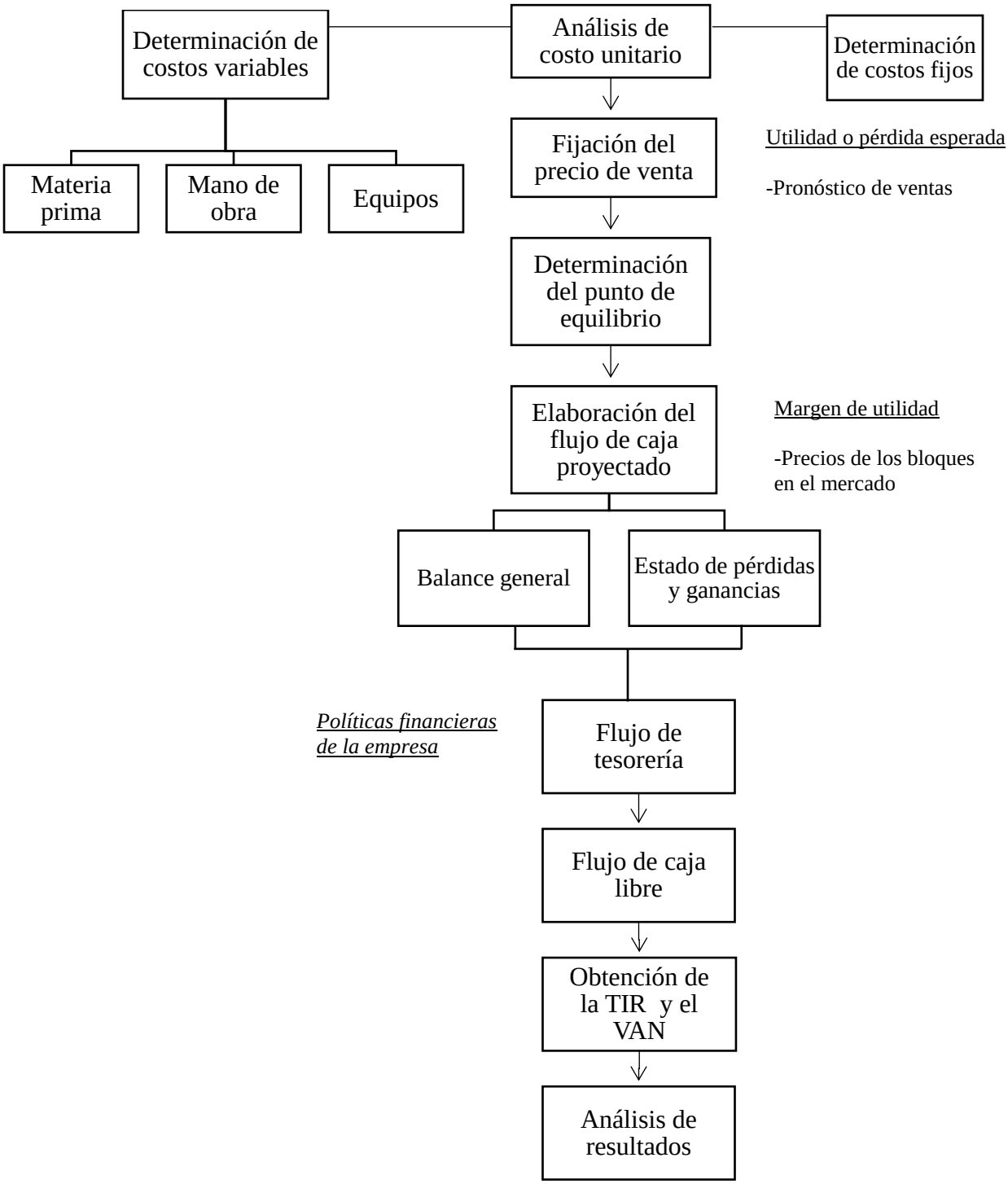
Agregados de caucho 1 y 2 estandarizados.

Nota. Fuente: El autor.

4.3 Análisis financiero de los experimentos seleccionados

Figura 18

Diagrama de flujo del estudio financiero.



En la figura 18 se muestra la metodología usada en el estudio económico-financiero expresada en un diagrama de flujo.

4.4 Diseño de flujo

Para el diseño de flujo se hizo uso de la metodología SLP descrita anteriormente en el marco teórico. Los datos de entrada requeridos para la planificación de diseño sistemático se muestran a continuación:

4.4.1 Datos de entrada

Producto (P): Los productos a elaborarse provienen de la selección del estudio económico-financiero, en donde sólo dos productos son económicamente rentables: el bloque AFB-5 y el bloque AG1M-5.

Cantidad (Q): Se producirán 7500 unidades a la semana en turnos de 8 horas diarias (ver literal 5.6) para cualquiera de los dos tipos de bloques.

Ruta (R): Para una óptima distribución es necesario desglosar el proceso de manufactura del producto que se fabricará en estas nuevas instalaciones, de modo que se podamos definir el tipo de flujo que mejor se ajusta a la línea de producción. A continuación en la tabla 10 se enlistan los centros de trabajo necesarios en el proceso de fabricación de bloques de mampostería con agregados de caucho reciclado.

Tabla 10

Centros de trabajo asignados a la línea de producción de bloques.

Identificación de centro de trabajo	Descripción
LB01	Carga de materia prima
LB02	Mezcla y vibro-compactado de materiales
LB03	Desmolado, almacenamiento y curado
LB04	Control de producto terminado

Nota. Fuente: El autor.

Servicios (S): En esta línea de producción no se considerarán servicios auxiliares como vestidores sanitarios, áreas administrativas o de mantenimiento, ya que son servicios con los que ya cuenta la fábrica.

Tiempo (T): De acuerdo al estudio financiero que se desglosa en el apartado 5.6.1 y 5.6.3 se pretende producir 25000 unidades mensuales para cualquiera de los dos tipos de bloques, lo que al año equivalen a 300000 unidades. Del mismo modo como se menciona en el estudio financiero se estima un incremento de la producción del 5% para el segundo año y un crecimiento vegetativo en función de la población que se estima en 2% anual.

4.4.2 Análisis de datos recolectados

Siguiendo la metodología SLP con la recopilación de datos se procede al siguiente análisis:

4.4.2.1 Análisis producto cantidad (P-Q)

En este caso los dos productos rentables (ver apartado 5.6.1 y 5.6.3), tienen el mismo pronóstico de ventas a lo largo de proyecto ya que al tratarse de productos similares cuyas propiedades físicas varían mínimamente no presentan variaciones significativas que puedan influir en la producción de estos bloques. Para lo cual la cantidad a producirse en el primer año para cualquiera de los dos tipos bloques son 300000 unidades y el crecimiento anual corresponde a los porcentajes antes mencionados.

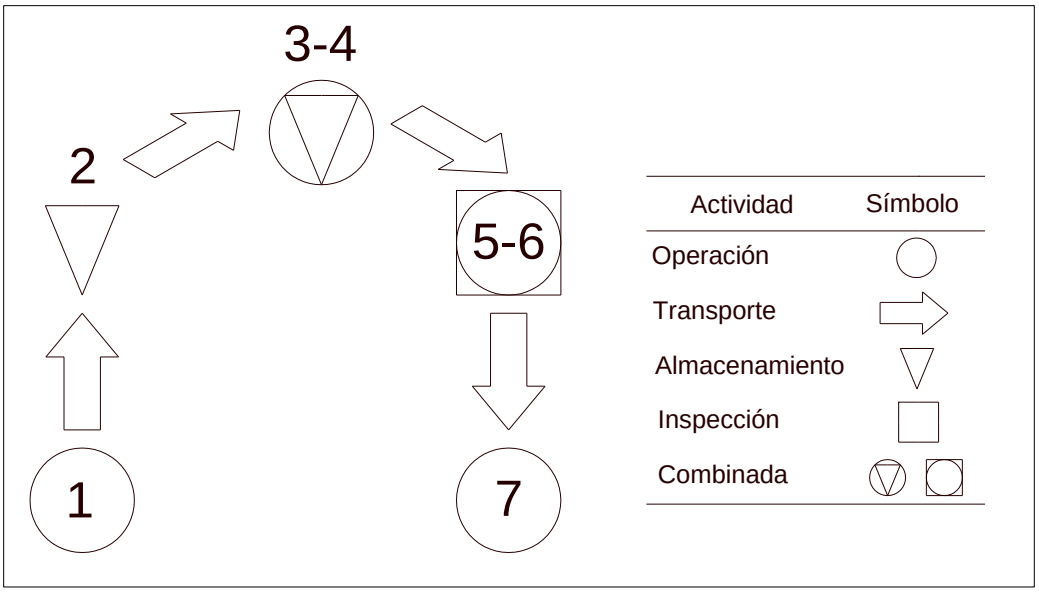
4.4.2.2 Análisis de recorridos

En este análisis es necesario determinar la secuencia de actividades de la línea de producción, para lo cual en la figura 19 se muestra el diagrama de recorrido, en donde se muestran los centros de trabajo anteriormente descritos desglosados en las siguientes áreas clave según el orden que debe seguir la producción.

1.- Oficinas
2.- Almacenamientos de materias primas
3.- Área de producción
4.- Almacenamiento de tableros
5.- Área de curado
6.- Control de producto terminado
7.- Despacho de producto terminado

Figura 19

Diagrama de recorrido.

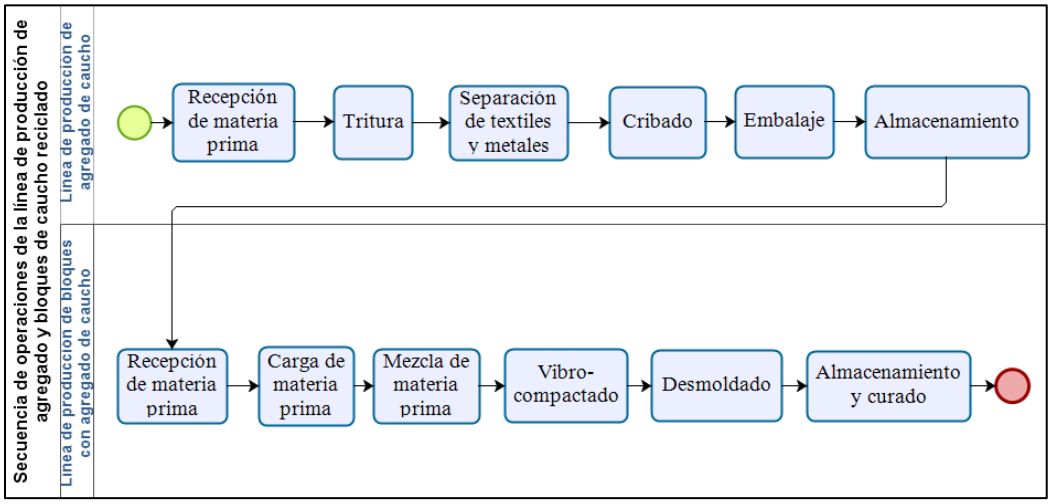


Nota. Fuente: El autor.

Una vez definidos todos los procesos se debe tener en cuenta la secuencia de operaciones, pues aquí se determinarán los recursos necesarios para cada proceso desglosando en orden secuencial las distintas actividades a realizarse, en este caso parte de esta secuencia ya existe en lo que es la producción de agregado de caucho, por lo que se debe integrar la hipotética línea de producción de bloques elaborados a partir de este agregado. A continuación en la figura 20 se muestra la secuencia de operaciones antes mencionada.

Figura 20

Secuencia de operaciones.



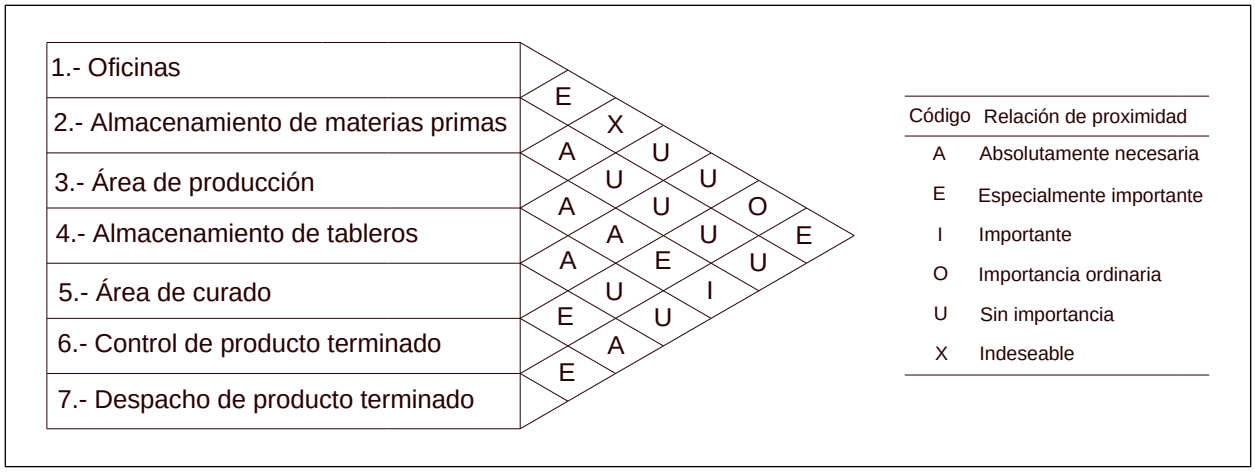
Nota. Fuente: El autor.

4.4.2.3 Análisis de relación de actividades

Con el orden de las áreas clave definidas en el análisis de recorridos, se establece las relaciones de cercanía entre estas áreas, de esta forma determinamos la importancia de la cercanía entre las distintas áreas. En la figura 21 se muestra la tabla de relación de actividades.

Figura 21

Tabla de relación de actividades.



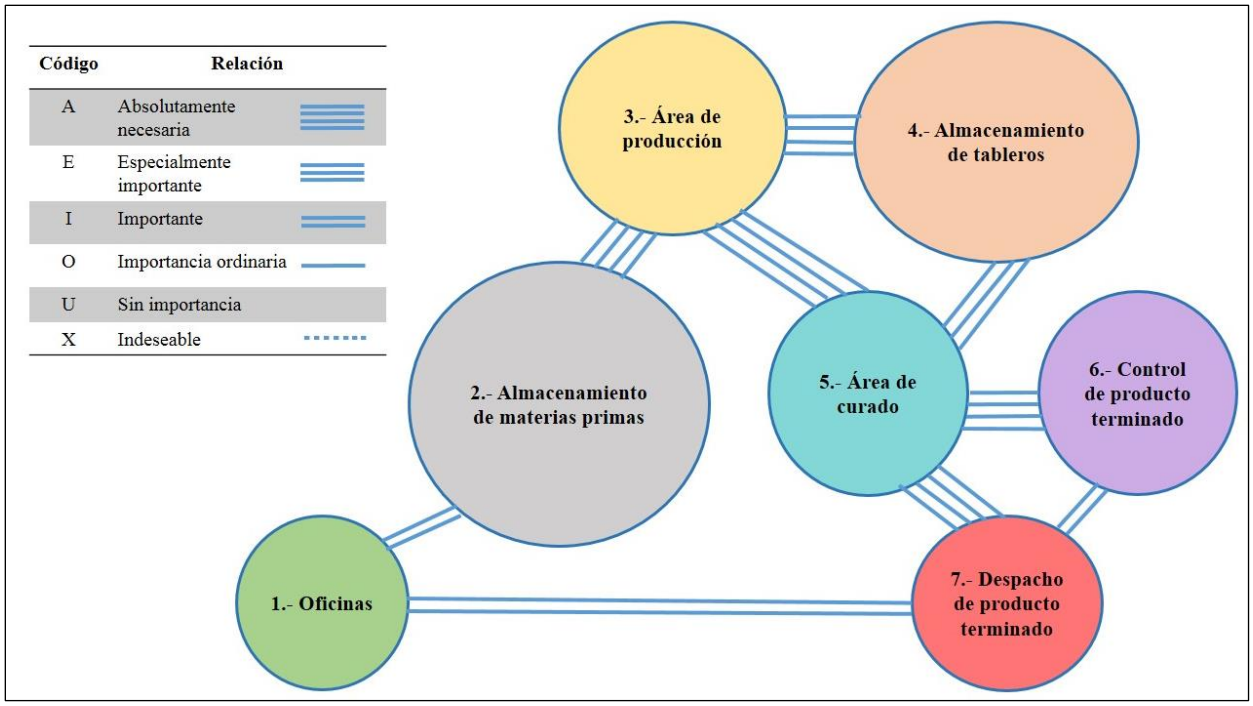
Nota. Fuente: El autor.

4.4.2.4 Análisis de relación de recorridos

De acuerdo a la metodología SLP y siguiendo el orden de las áreas clave mostrado en el análisis de recorridos, se define el grado de intensidad entre estas áreas. A continuación en la figura 22 se muestra el diagrama relacional de actividades y recorridos en donde se indica el grado de relación entre las actividades y la distancia en metros entre las áreas de trabajo dependientes.

Figura 22

Diagrama relacional de actividades y recorridos.



Nota. Fuente: El autor.

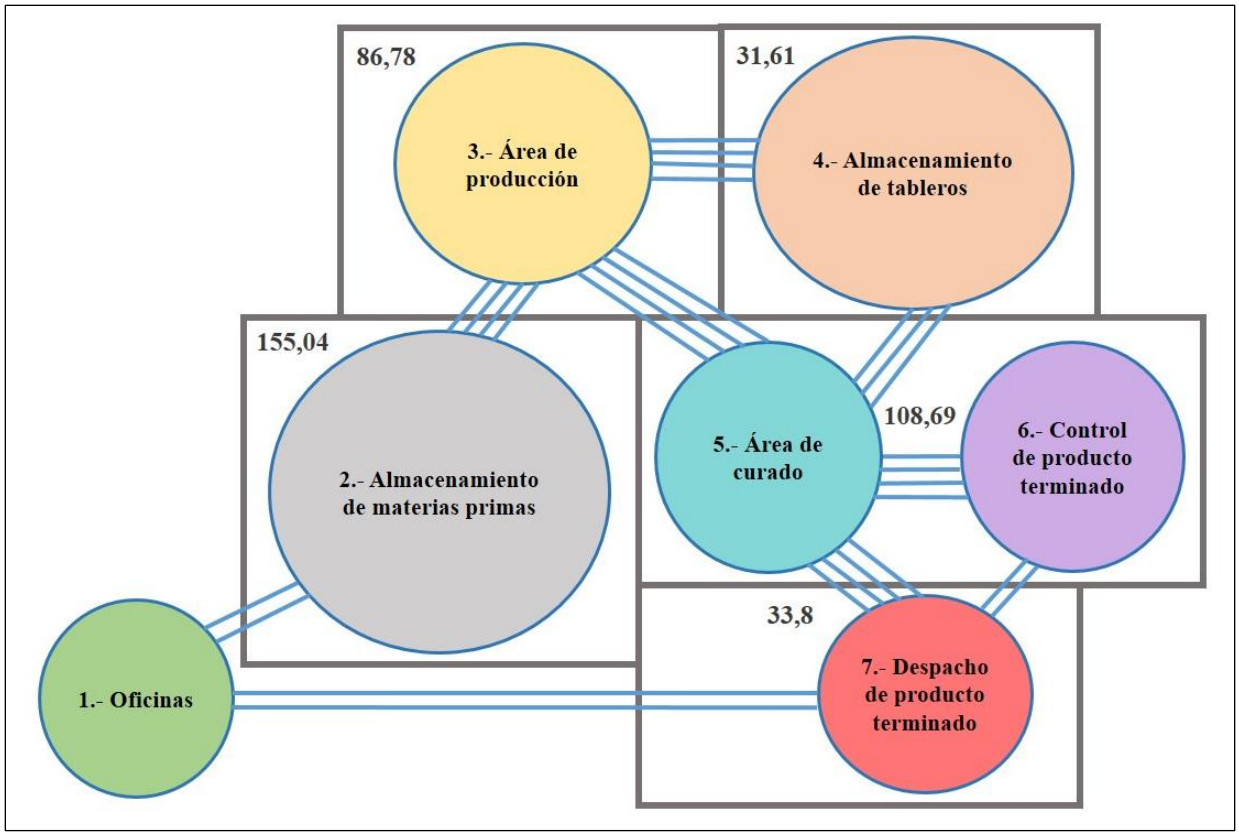
Esta distribución toma en cuenta los principios de integración en conjunto, mínima distancia recorrida y flujo de materiales, de forma que las actividades no se crucen al momento de la producción. Cabe mencionar que actualmente ya existe el área de oficinas, por lo que se integró esta área a la línea de producción propuesta, de tal manera que su integración con las áreas relacionadas a esta no incida con el correcto flujo de materiales.

4.4.2.5 Análisis de relación de espacios

En este punto se define el espacio necesario (m²) para cada área considerando su uso y el espacio disponible. En la figura 23 se muestra la distribución de espacios teniendo en cuenta los principios de espacio cúbico, satisfacción y seguridad, y flexibilidad. De esta manera se aprovecha todo el espacio disponible, considerando salidas cercanas y movimientos con la amplitud suficiente de espacio que permitan una correcta ergonomía y seguridad en el trabajo. Así mismo los equipos se pueden ubicar con gran libertad dentro del área de producción de manera que no afecten los principios de distribución del análisis de recorridos.

Figura 23

Diagrama de relación de espacios en m².



Nota. Fuente: El autor.

4.4.3 Layout de distribución de planta

La planta actualmente se encuentra ubicada en la parroquia de San Joaquín en la ciudad de Cuenca, por lo que la hipotética línea de producción se la emplazará en el lugar que se muestra en la figura 24.

Figura 24

Lugar de emplazamiento de la línea de producción.

Nota. Fuente: Google Earth.

CAPÍTULO 5: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Es necesario mencionar que no fue posible extender el número de experimentos por temas de costos, tiempo de curado de los bloques, limitaciones con el cumplimiento de la normativa local, complicaciones en la elaboración de pequeñas cantidades de bloques, lo cual reduce el número de variaciones en composición del bloque.

5.1 Análisis granulométrico del agregado de caucho

En las tablas 11,12 y 13 se muestran los resultados del análisis granulométrico de los tres tipos de agregado de caucho.

Tabla 11

Registro de resultados de granulometría del agregado de caucho 1.

Granulometría ASTM C136	Identificación de la muestra	GC 1								
	Fecha de ensayo	04/06/2021								
Resultados		**Réplica 1**			**Réplica 2**			**Réplica 3**		
Masa inicial de la muestra (g)		100,05			99,06			99,30		
No. Malla	**Abertura (mm)**	**Masa retenida (g)**	**% Masa retenida**	**% Pasante**	**Masa retenida (g)**	**% Masa retenida**	**% Pasante**	**Masa retenida (g)**	**% Masa retenida**	**% Pasante**
No.10	2,00	0,37	0,37	99,63	0,46	0,46	99,54	0,43	0,43	99,57
No.20	0,85	3,53	3,53	96,10	3,57	3,60	95,93	3,17	3,19	96,37
No.30	0,60	23,00	22,99	73,11	23,95	24,18	71,75	23,95	24,12	72,26
No.40	0,43	24,16	24,15	48,97	23,24	23,46	48,29	23,71	23,88	48,38
No.60	0,25	29,23	29,22	19,75	27,14	27,40	20,90	27,75	27,95	20,43
No.100	0,15	13,03	13,02	6,73	13,54	13,67	7,23	13,43	13,52	6,91
Pasa No. 100	---	6,65	6,65	0,00	7,12	7,19	0,00	6,77	6,82	0,00
Masa total retenida (g)		99,97			99,02			99,21		
Diferencia de masas (g)		0,08			0,04			0,09		

Granulometría ASTM C136	Identificación de la muestra	GC 1						
	Fecha de ensayo	07/06/2021						
Resultados		**Réplica 4**			**Réplica 5**			**Promedio**
Masa inicial de la muestra (g)		100,31			101,16			
No. Malla	**Abertura (mm)**	**Masa retenida (g)**	**% Masa retenida**	**% Pasante**	**Masa retenida (g)**	**% Masa retenida**	**% Pasante**	**% Pasante**
No.10	2,00	0,23	0,23	99,77	0,43	0,43	99,57	99,62
No.20	0,85	2,23	2,22	97,55	2,90	2,87	96,71	96,53
No.30	0,6	24,07	24,00	73,55	23,53	23,26	73,45	72,82
No.40	0,43	24,78	24,70	48,85	24,04	23,76	49,68	48,83
No.60	0,25	29,88	29,79	19,06	30,82	30,47	19,22	19,87
No.100	0,15	12,02	11,98	7,08	11,97	11,83	7,38	7,07

Pasa No. 100	---	7,03	7,01	0,00	7,42	7,33	0,00	0,00
Masa total retenida (g)		100,24			101,11			99,91
Diferencia de masas (g)		0,07			0,05			0,07

Nota. Fuente: El autor.

Tabla 12

Registro de resultados de granulometría del agregado de caucho 2.

Granulometría	Identificación de la muestra	GC 2								
ASTM C136	Fecha de ensayo	10/06/2021								
Resultados		**Réplica 1**			**Réplica 2**			**Réplica 3**		
Masa inicial de la muestra (g)		100,54			100,83			100,74		
No. Malla	**Abertura (mm)**	**Masa retenida (g)**	**% Masa retenida**	**% Pasante**	**Masa retenida (g)**	**% Masa retenida**	**% Pasante**	**Masa retenida (g)**	**% Masa retenida**	**% Pasante**
No.4	4,75	0,71	0,71	99,29	0,51	0,51	99,49	0,30	0,30	99,70
No.8	2,36	37,18	36,98	62,31	33,80	33,52	65,97	28,22	28,01	71,69
No.12	1,70	28,81	28,66	33,66	28,23	28,00	37,97	27,08	26,88	44,81
No.16	1,18	22,19	22,07	11,59	24,11	23,91	14,06	26,22	26,03	18,78
No.20	0,85	9,11	9,06	2,53	10,89	10,80	3,26	14,28	14,18	4,61
No.30	0,6	1,49	1,48	1,04	2,12	2,10	1,16	3,09	3,07	1,54
Pasa No. 30	---	0,99	0,98	0,00	1,07	1,06	0,00	1,51	1,50	0,00
Masa total retenida (g)		100,48			100,73			100,7		
Diferencia de masas (g)		0,06			0,10			0,04		

Granulometría	Identificación de la muestra	GC 2						
ASTM C136	Fecha de ensayo	11/06/2021						
Resultados		**Réplica 4**			**Réplica 5**			**Promedio**
Masa inicial de la muestra (g)		100,76			100,55			
No. Malla	**Abertura (mm)**	**Masa retenida (g)**	**% Masa retenida**	**% Pasante**	**Masa retenida (g)**	**% Masa retenida**	**% Pasante**	**% Pasante**

No.4	4,75	1,00	0,99	99,01	0,19	0,19	99,81	99,46
No.8	2,36	30,60	30,37	68,64	26,41	26,27	73,55	68,43
No.12	1,70	27,70	27,49	41,15	27,68	27,53	46,02	40,72
No.16	1,18	25,10	24,91	16,24	26,31	26,17	19,85	16,10
No.20	0,85	12,40	12,31	3,93	14,80	14,72	5,13	3,89
No.30	0,6	2,60	2,58	1,35	3,39	3,37	1,76	1,37
Pasa No. 30	---	1,30	1,29	0,00	1,72	1,71	0,00	0,00
Masa total retenida (g)		100,7			100,5			100,62
Diferencia de masas (g)		0,06			0,05			0,06

Nota. Fuente: El autor.

Tabla 13

Registro de resultados de granulometría del agregado de caucho 3.

Granulometría	Identificación de la muestra	GC 3								
ASTM C136	Fecha de ensayo	09/06/2021								
Resultados		**Réplica 1**			**Réplica 2**			**Réplica 3**		
Masa inicial de la muestra (g)		100,36			100,43			99,34		
No. Malla	**Abertura (mm)**	**Masa retenida (g)**	**% Masa retenida**	**% Pasante**	**Masa retenida (g)**	**% Masa retenida**	**% Pasante**	**Masa retenida (g)**	**% Masa retenida**	**% Pasante**
3/8 in	9,50	0,72	0,72	99,28	0,24	0,24	99,76	0,25	0,25	99,75
No.4	4,75	36,07	35,94	63,34	35,60	35,45	64,31	36,01	36,25	63,50
No.8	2,36	54,23	54,04	9,31	53,44	53,21	11,10	55,73	56,10	7,40
No.12	1,70	5,53	5,51	3,80	6,52	6,49	4,61	5,38	5,42	1,98
No.20	0,85	2,90	2,89	0,91	3,35	3,34	1,27	1,38	1,39	0,59
No.30	0,60	0,23	0,23	0,68	0,33	0,33	0,95	0,18	0,18	0,41
Pasa No. 30	---	0,67	0,67	0,00	0,85	0,85	0,00	0,40	0,40	0,00
Masa total retenida (g)		100,35			100,33			99,33		
Diferencia de masas (g)		0,01			0,10			0,01		

Granulometría ASTM C136	Identificación de la muestra	GC 3
	Fecha de ensayo	09/06/2021

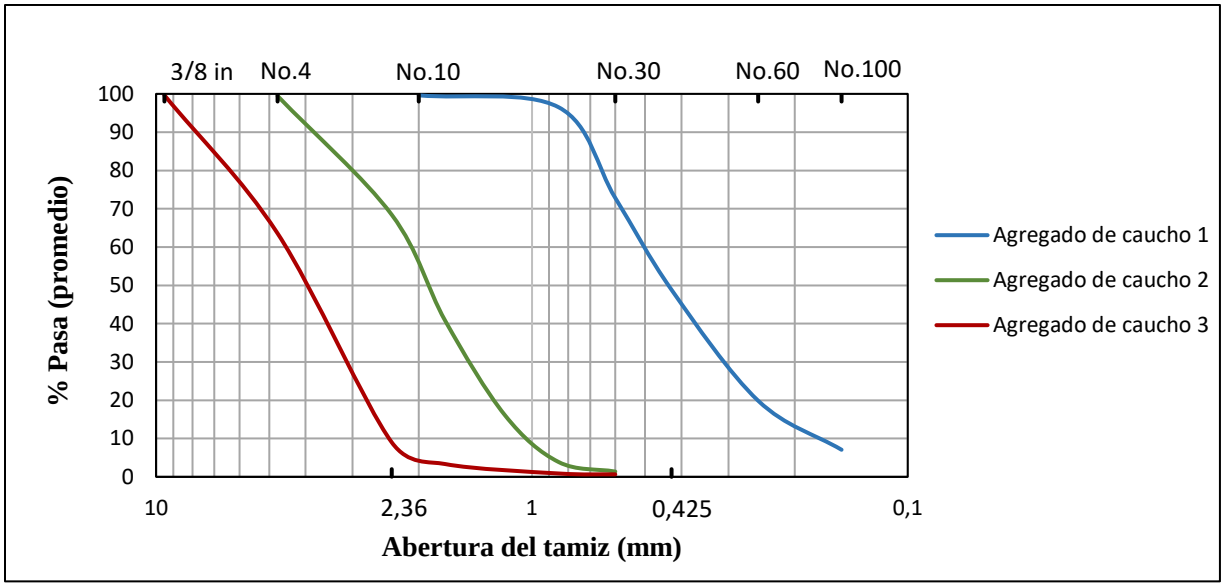
Resultados		**Réplica 4**			**Réplica 5**			**Promedio**
Masa inicial de la muestra (g)		99,52			100,69			
No. Malla	**Abertura (mm)**	**Masa retenida (g)**	**% Masa retenida**	**% Pasante**	**Masa retenida (g)**	**% Masa retenida**	**% Pasante**	**% Pasante**
3/8 in	9,50	0,30	0,30	99,70	0,28	0,28	99,72	99,64
No.4	4,75	34,60	34,77	64,93	38,23	37,97	61,75	63,57
No.8	2,36	56,00	56,27	8,66	53,56	53,19	8,56	9,01
No.12	1,70	5,60	5,63	3,03	5,36	5,32	3,24	3,33
No.20	0,85	2,30	2,31	0,72	2,37	2,35	0,88	0,88
No.30	0,60	0,20	0,20	0,52	0,21	0,21	0,68	0,65
Pasa No. 30	---	0,50	0,50	0,00	0,59	0,59	0,00	0,00
Masa total retenida (g)		99,50			100,60			100,02
Diferencia de masas (g)		0,02			0,09			0,05

Nota. Fuente: El autor.

Una vez obtenidos los datos del análisis granulométrico, se puede observar en la figura 25 el comportamiento de los diferentes tipos de agregado, en este caso el agregado de caucho 1 es el más fino, mientras que los agregados de caucho 2 y 3 presentan tendencias más gruesas. Gracias a este análisis se ha determinado de forma cuantitativa la granulometría de los cauchos empleados en este estudio expresados en los módulos de finura de los agregados de caucho (tabla 14).

Figura 25

Curva granulométrica de los agregados de caucho.



Nota. Fuente: El autor.

Tabla 14

Módulos de finura de los agregados de caucho.

Propiedad	GC 1	GC 2	GC 3
Módulo de finura	2,28	4,14	5,25

Nota. Fuente: El autor.

En el caso del agregado de caucho 1, el módulo de finura con respecto a la norma NTE INEN 872 (2011) no se encuentra dentro del rango para el agregado fino, sin embargo, la variación

referente a la norma no es significativa para descartar el uso de este agregado, por lo que al realizar la estandarización del agregado se logró normalizar el tamaño de este material de modo que podemos usarlo como agregado fino. En cuanto al agregado de caucho 2, de acuerdo a los estudios realizados por Ling (2011) , al usar módulos de finura de 4,52 y 4,74 en la producción de adoquines se llegó a la conclusión de que no es factible elaborar este producto de forma comercial cuando el concreto incorpora más del 10 % de partículas de caucho, por lo que este agregado se puede usar bajo esta consideración.

El módulo de finura del agregado de caucho 3 es muy alto como para considerarlo como agregado fino, es por esto que queda descartado de la clasificación de los experimentos óptimos ya que la sustitución del caucho se la realizó en base al agregado fino de polvo volcánico. Si se desea usar este agregado sería conveniente darle un tratamiento previo de tritura o cribado del material antes de usarlo como sustituto.

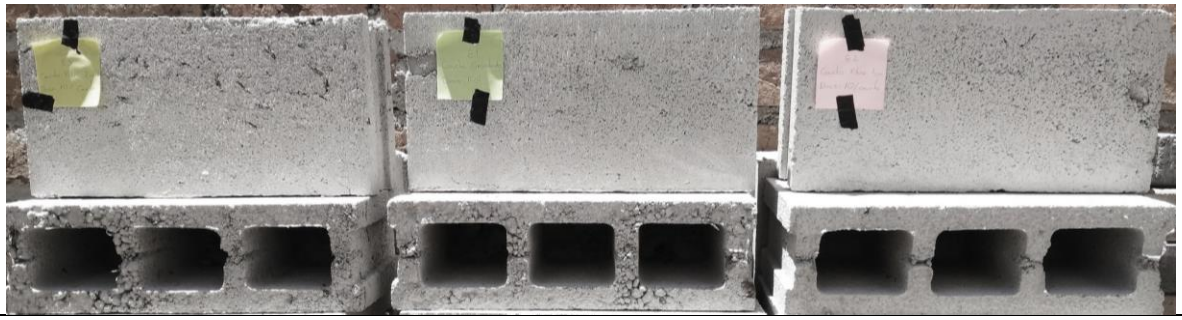
5.2 Propiedades visuales de los experimentos secos

Cada experimento se verificó visualmente para detectar aglomeraciones del caucho sobre la matriz del bloque y en la formación de grietas. En la figura 26 se muestra la forma de los bloques que se realizaron en el estudio.

Figura 26

Vista lateral y superior de los experimentos con contenido de caucho del 10%.

AG2B-10	**AFM-10**	**AG1A-10**
Agregado de caucho 3	Agregado de caucho 1	Agregado de caucho 2
A/C: 0,45	A/C: 0,50	A/C: 0,55



Nota. Fuente: El autor.

En la tabla 15 se encuentra una recopilación de las observaciones visuales realizadas a cada experimento. Los experimentos sin caucho no presentaron ninguna discontinuidad significativa. Para los bloques con un contenido de caucho del 5% donde se usó el agregado de caucho 1 y 2 no se observaron agrietamientos ni huecos, sin embargo al usar el agregado de caucho 3 las paredes se tornaron porosas. En el caso de los bloques con 10% de caucho no se observaron agrietamientos pero si porosidad en los agregados de caucho 2 y 3, no obstante, en los bloques con un contenido de caucho del 15% en todos los casos se observó la presencia de porosidad en la superficie del bloque, además de agrietamientos al emplear los agregados 2 y 3.

Tabla 15

Observaciones visuales de los experimentos en estado seco.

Notación mixta	Contenido de caucho (%)	Peso promedio (kg)	Observaciones visuales
SAB-0	0	9,44	Bueno, no presenta agrietamientos
SAM- 0	0	9,69	Bueno, no presenta agrietamientos
SAA-0	0	9,96	Bueno, no presenta agrietamientos
AFB-5	5	9,62	Bueno, no presenta agrietamientos
AFM-10	10	9,98	Bueno, no presenta agrietamientos
AFA-15	15	10,19	Superficie porosa sin agrietamientos
AG1M-5	5	9,65	Bueno, no presenta agrietamientos
AG1A-10	10	9,92	Superficie porosa sin agrietamientos
AG1B-15	15	10,56	Presencia de agrietamientos y porosidad
AG2A-5	5	9,96	Superficie porosa sin agrietamientos
AG2B-10	10	10,39	Superficie porosa sin agrietamientos
AG2M-15	15	10,58	Presencia de agrietamientos y porosidad

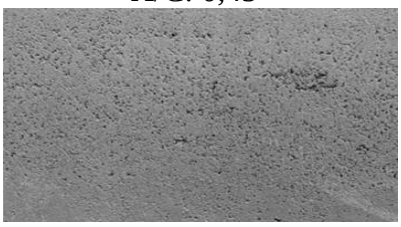
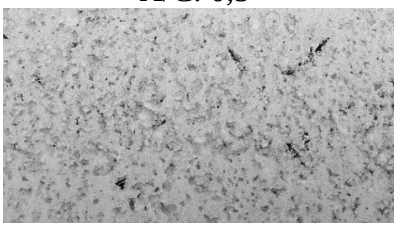
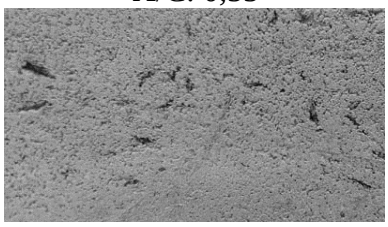
Nota. Fuente: El autor.

Al comparar los experimentos de la figura 27, podemos intuir que la adherencia del caucho se vio afectada cuando se usó el agregado de caucho 3, en este caso algunas fibras no se adhirieron

completamente a la mezcla y otras se desprendían en la etapa de curado. Esto se debe a que el caucho al ser de gran tamaño se comprime durante la compactación y después de esta vuelve a su estado normal lo que forma micro grietas y huecos. En el agregado 2 su adherencia fue mucho mejor, ya que se observaron una menor cantidad de fibras en las paredes del bloque y otras no se adhirieron completamente. En cambio el agregado de caucho 1 de caucho se adhirió completamente a la mezcla de modo que no se observaron partículas de caucho en la superficie del bloque.

Figura 27

Paredes de los experimentos con contenido de caucho del 5%.

AFB-5 Agregado de caucho 1 A/C: 0,45	**AG1M-5** Agregado de caucho 2 A/C: 0,5	**AG2A-5** Agregado de caucho 3 A/C: 0,55
		

Nota. Fuente: El autor.

5.3 Análisis de resistencia a la compresión

En la tabla 16 se muestra el resumen de los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión bajo el diseño experimental de Taguchi. La última columna corresponde a la resistencia media de las 3 réplicas. En el anexo C se muestra el informe de los ensayos realizados bajo el diseño experimental, de las muestras control (sin agregado de caucho), y de los ensayos que cumplieron con los parámetros de la norma con agregado de caucho estandarizado.

Tabla 16

Resultados de resistencia a la compresión en el diseño de experimentos.

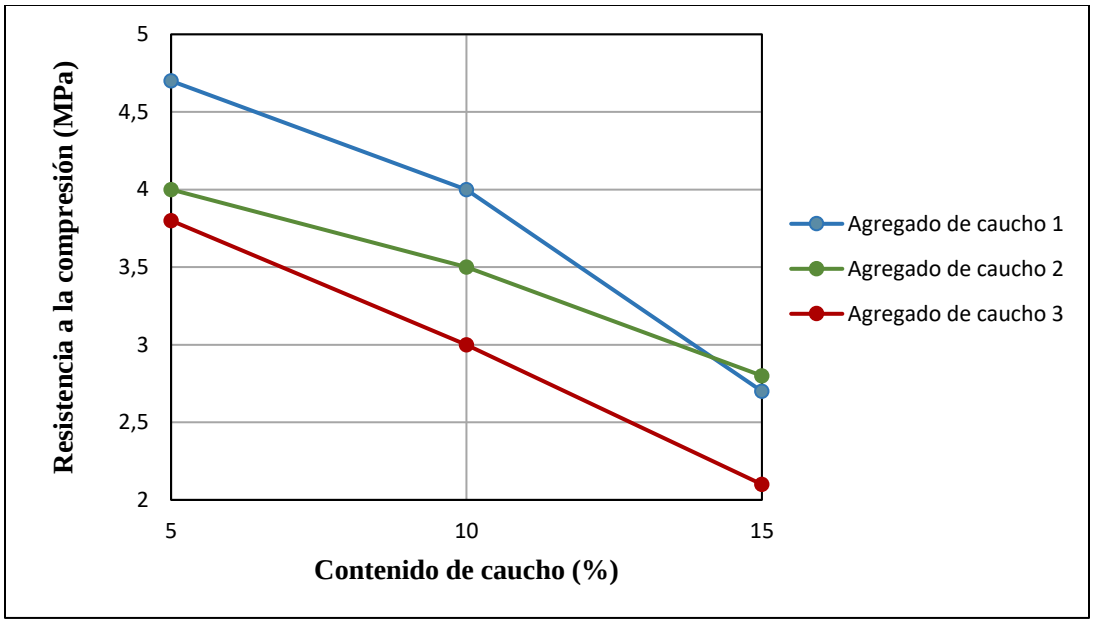
Corrida	GC	%C	A/C	RC1 (MPa)	RC2 (MPa)	RC3 (MPa)	RCM (MPa)
1	1	5	0,45	5,0	4,1	4,9	4,7
2	1	10	0,50	4,1	3,8	4,2	4,0
3	1	15	0,55	2,9	2,6	2,6	2,7
4	2	5	0,50	3,8	4,6	3,7	4,0
5	2	10	0,55	3,7	3,4	3,3	3,5
6	2	15	0,45	2,5	2,8	3,2	2,8
7	3	5	0,55	3,5	3,5	4,3	3,8
8	3	10	0,45	3,2	2,9	2,7	3,0
9	3	15	0,50	1,9	2,4	2,0	2,1

Nota. Fuente: El autor.

Como puede observarse en la figura 28, la resistencia a la compresión disminuyó a medida que se incrementaba el porcentaje de caucho, por lo que este resultado concuerda con estudios previos realizados por Ling (2009), quien realizó trabajos en adoquines con contenidos de caucho entre 0 y 30%, experimentando un pérdida de resistencia de 32,35 MPa con 0% de caucho a 20,48 MPa con un 30% de caucho. Además se evidencia una mayor resistencia a la compresión en el agregado de caucho 1 con respecto a los dos agregados, esto se debe a que las partículas de caucho del agregado 1 presentan mayor área superficial lo que les proporciona mayor área de contacto con la matriz cerámica y por ello una interfase de tipo anclaje mecánico que permite transferir las cargas desde la matriz a las fibras.

Figura 28

Efecto del contenido de caucho sobre la resistencia a la compresión.



Nota. Fuente: El autor.

5.4 Análisis estadístico de los experimentos

En la tabla 17 se muestra el análisis de varianza de relaciones señal-ruido del diseño experimental de Taguchi, además del diagrama de pareto de la figura 29 donde se puede identificar a los factores críticos de control.

Tabla 17

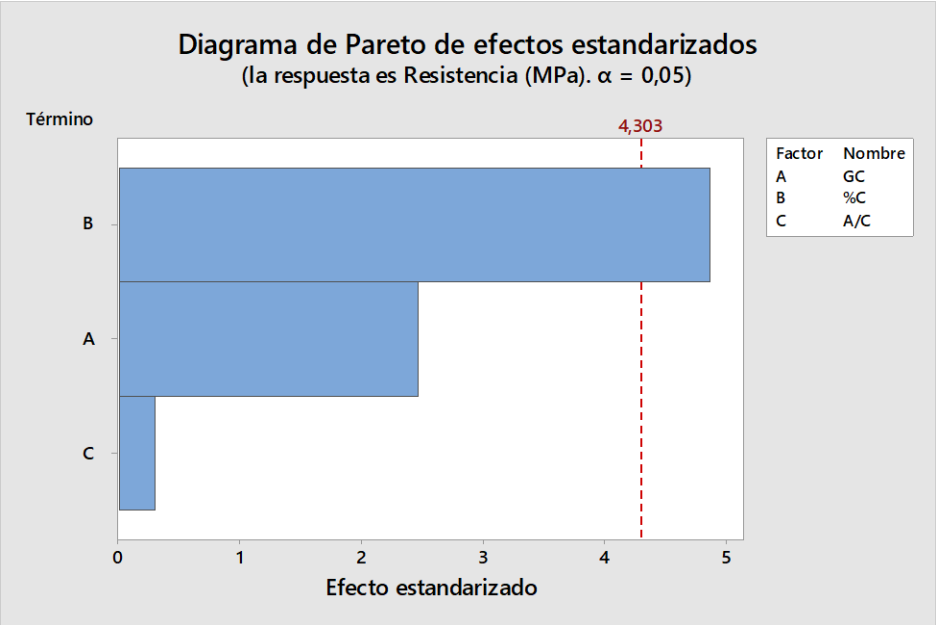
Análisis de Varianza de Relaciones SN.

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
GC	2	7,6259	7,6259	3,8129	6,10	0,141
%C	2	28,6867	28,6867	14,3433	22,95	0,042
A/C	2	0,2656	0,2656	0,1328	0,21	0,825
Error residual	2	1,2501	1,2501	0,6250		
Total	8	37,8282				
α = 0,05						

Nota. Fuente: El autor.

Figura 29

Diagrama de Pareto de efectos de la resistencia a la compresión.



Nota. Fuente: El autor.

El factor de granulometría de caucho al ser su valor P > α indica que no es significativo, sin embargo este valor puede llegar a convertirse en un factor significativo, si se ajusta el modelo en el análisis de superficie de respuesta.

El factor de porcentaje de caucho cuyo valor de P es < α es significativo por lo que tiene incidencia sobre la variable respuesta, esto concuerda con la literatura en donde menciona que los valores de sustitución de caucho por encima del 10% producen un disminución considerable de la resistencia a la compresión. Debe ser controlado este factor porque contribuye a la variación de la variable respuesta.

El factor A/C al ser su valor P >α no es significativo, la literatura consultada sobre este tipo de materiales ya cuantifica estos valores como óptimos para trabajar este tipo de materiales por lo que usar valores fuera de este rango provocaría variaciones significativas en la resistencia a la compresión.

Se observa en efecto similar en el análisis de varianza de las medias (Tabla 18).

Tabla 18

Análisis de Varianza de Medias.

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
GC	2	1,08273	1,08273	0,54136	6,57	0,132
%C	2	3,96752	3,96752	1,98376	24,08	0,040
A/C	2	0,04372	0,04372	0,02186	0,27	0,790
Error residual	2	0,16480	0,16480	0,08240		
Total	8	5,25876				

Nota. Fuente: El autor.

En este análisis, los factores de granulometría de caucho y relación agua/cemento no son significativos cuyos valores de P son mayores a α , el factor del % de caucho vuelve a ser significativo. En este caso al momento de realizar pronósticos no se debería considerar las dos variables de granulometría de caucho y A/C sin embargo, como ya se mencionó en el análisis de variancia de relaciones SN, la variable de granulometría de caucho no está muy lejana del valor de alfa y al tener pocos experimentos este valor de alfa puede comportarse de manera muy estática al no considerar este valor como significativo. A continuación en las tablas 19 y 20 se muestra el orden de los factores que provocan una mayor variación sobre la variable respuesta.

Tabla 19

Respuesta para relaciones de señal a ruido.

Nivel	GC	%C	A/C
1	11,359	12,340	10,605
2	10,618	10,761	10,193
3	9,144	8,019	10,323
Delta	2,215	4,321	0,412
Clasificar	2	1	3

Nota. Fuente: El autor.

Tabla 20

Tabla de respuesta para medias.

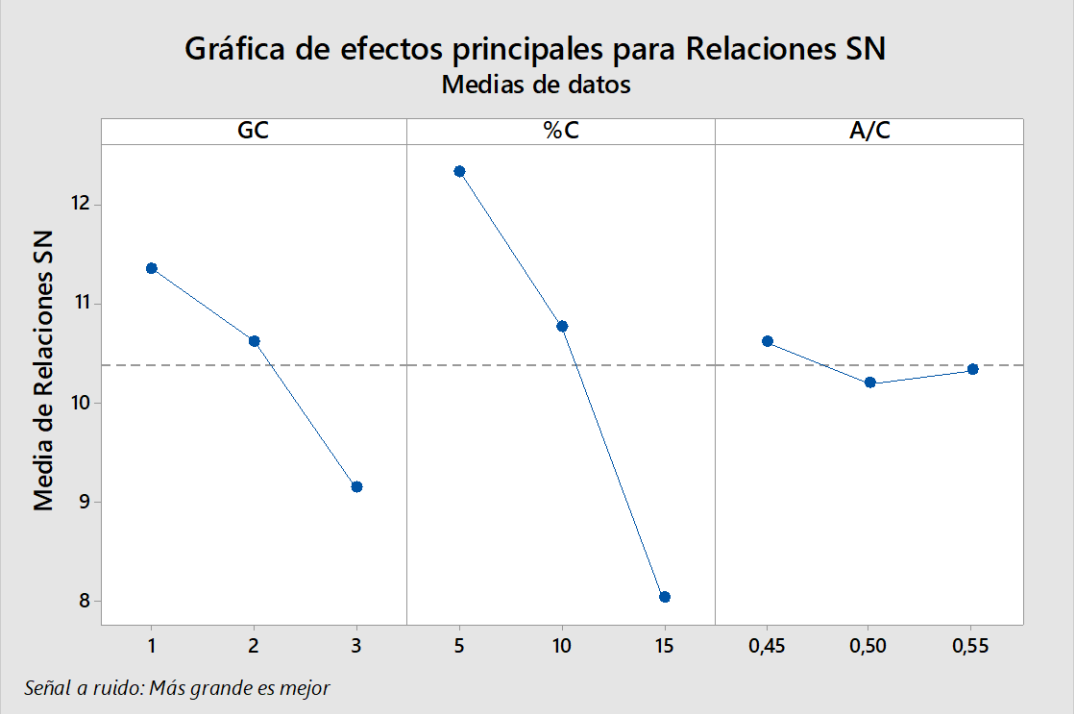
Nivel	GC	%C	A/C
1	3,795	4,157	3,484
2	3,430	3,479	3,374
3	2,948	2,538	3,316
Delta	0,847	1,619	0,168
Clasificar	2	1	3

Nota. Fuente: El autor.

En las dos tablas se puede corroborar que el % de caucho provoca la mayor variación sobre la resistencia, por lo que se debe trabajar en esta variable sí que quiere obtener mayores valores de resistencia. El segundo valor a mejorar es la granulometría del caucho, seguido por la relación A/C. Debido a que el análisis busca una mayor resistencia para optimizar la respuesta, las gráficas de efectos para relaciones señal ruido y medias de las figuras 30 y 31.

Figura 30

Grafica de efectos principales para relaciones señal ruido de la resistencia a la compresión.

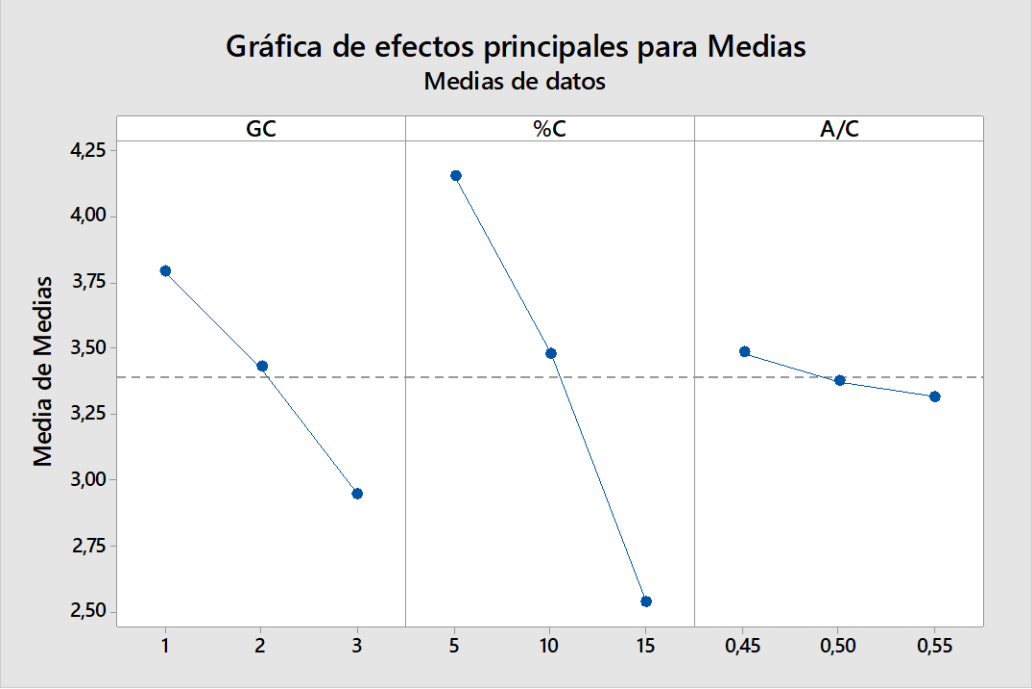


Nota. Fuente: El autor.

Los valores que maximizan la resistencia en el experimento son, el uso del agregado de caucho 1 con 5% de caucho y una relación de A/C de 0,45. Mientras que los valores que minimizan la resistencia en los experimentos son el uso del agregado de caucho 3 con un porcentaje de caucho del 15% y una relación A/C de 0,50.

Figura 31

Grafica de efectos principales para medias de la resistencia a la compresión.



Nota. Fuente: El autor.

Al igual que en la relación S/R, se observa que el factor de porcentaje de caucho tiene una mayor pendiente por ende un mayor efecto sobre la media. El factor A/C casi no presenta pendiente.

Analizando el comportamiento de los datos de la figura 32 se puede identificar claramente que los datos siguen una distribución normal el valor p es mayor a 0,05 (tabla 21) y están distribuidos uniformemente hacia arriba y abajo de cero. No se observa correctamente la distribución normal en el histograma ya que no se realizó el diseño experimental completo.

Tabla 21

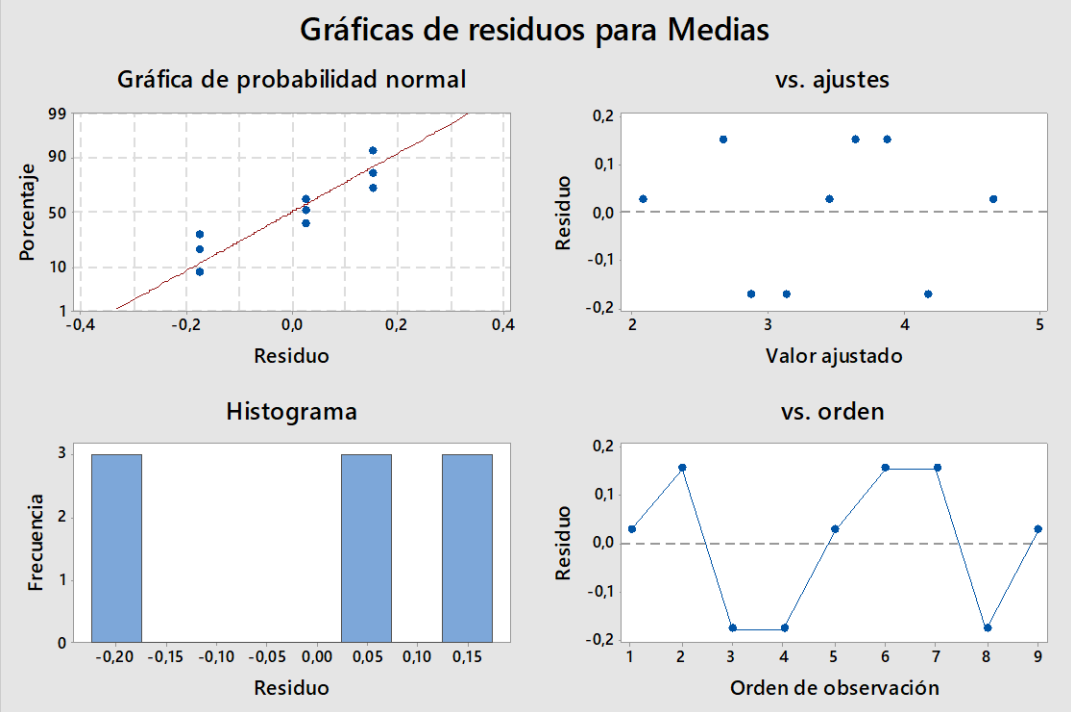
Prueba de normalidad de la resistencia media a la compresión.

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
RMC	,972	9	,915

Nota. Estadístico para < = 50 datos. Fuente: El autor.

Figura 32

Gráficas de residuos para medias de la resistencia a la compresión.



Nota. Fuente: El autor.

5.4.1 Ajuste del modelo en análisis de superficies de respuesta

Si se desea ajustar la respuesta es necesario analizar la matriz experimental por medio del análisis de superficie de respuesta, para lo cual en la tabla 22 se muestra el análisis de varianza del modelo más adecuado.

Tabla 22

Análisis de Varianza (Modelo lineal).

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	4	5,05784	1,26446	25,17	0,004
Lineal	4	5,05784	1,26446	25,17	0,004
%C	1	3,93276	3,93276	78,29	0,001
A/C	1	0,04235	0,04235	0,84	0,410
GC	2	1,08273	0,54136	10,78	0,024
Error	4	0,20092	0,05023		

Total	8	5,25876

$\alpha = 0,05$

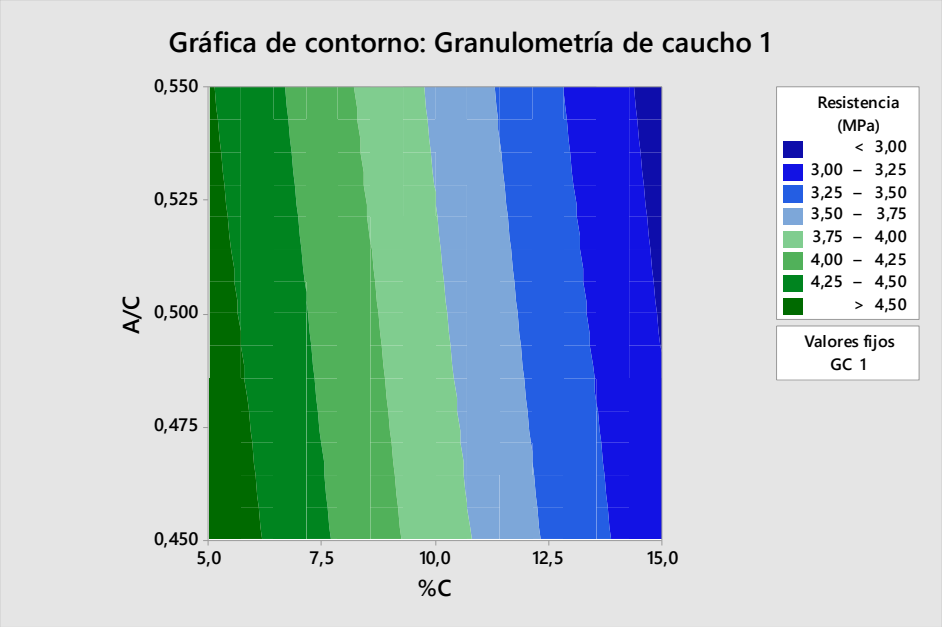
Nota. Fuente: El autor.

El modelo más adecuado para este diseño de experimentos es el lineal, en la tabla de análisis de variancia se evidencia claramente el efecto lineal de los factores, se descartó los modelos lineal + cuadrados, lineal + interacciones y cuadrático completo, cuyos P valores fueron mayores al nivel de significancia, en el anexo B se encuentra el resumen de estos modelos descartados.

A continuación en las figuras 33, 34 y 35 se muestran las gráficas de superficies de contorno para cada tipo de granulometría de caucho ajustadas al modelo lineal, en donde se evidencia que los valores con mayor resistencia se ubican en el menor porcentaje de caucho siendo indiferente la relación A/C y evidenciándose el comportamiento lineal de los factores sobre la variable respuesta.

Figura 33

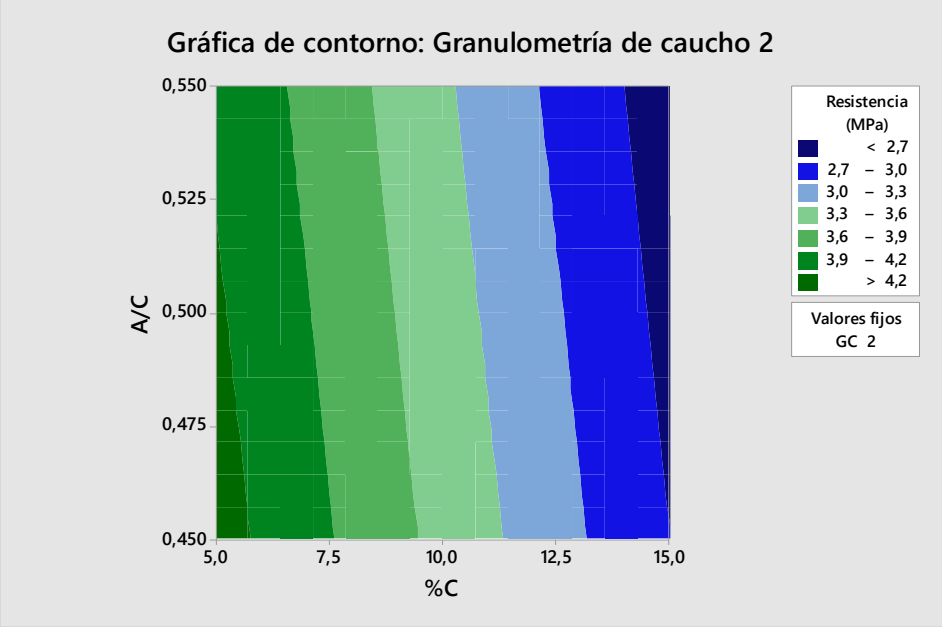
Gráfica de contorno del agregado de caucho 1.



Nota. Fuente: El autor.

Figura 34

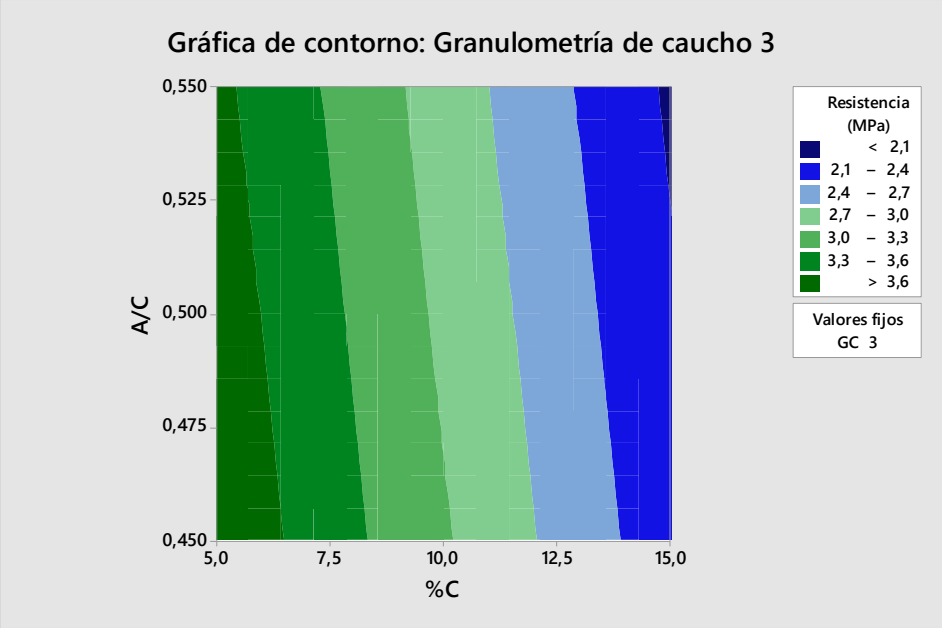
Gráfica de contorno del agregado de caucho 2.



Nota. Fuente: El autor.

Figura 35

Gráfica de contorno del agregado de caucho 3.



Nota. Fuente: El autor.

A partir del modelo lineal se descartó los factores cuyos efectos no son significativos para la variable respuesta. Para lo cual se eliminó el factor de la relación A/C, de modo que se pueda optimizar la respuesta con los factores representativos del experimento. En las tablas 23 y 24 se muestran los datos del modelo optimizado.

Tabla 23

Análisis de Varianza de modelo optimizado.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	5,0155	1,67183	34,36	0,001
Lineal	3	5,0155	1,67183	34,36	0,001
%C	1	3,9328	3,93276	80,83	0,000
GC	2	1,0827	0,54136	11,13	0,014
Error	5	0,2433	0,04865		
Total	8	5,2588			

Tabla 24

Resumen del modelo optimizado.

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,2206	95,37%	92,60%	83,19%

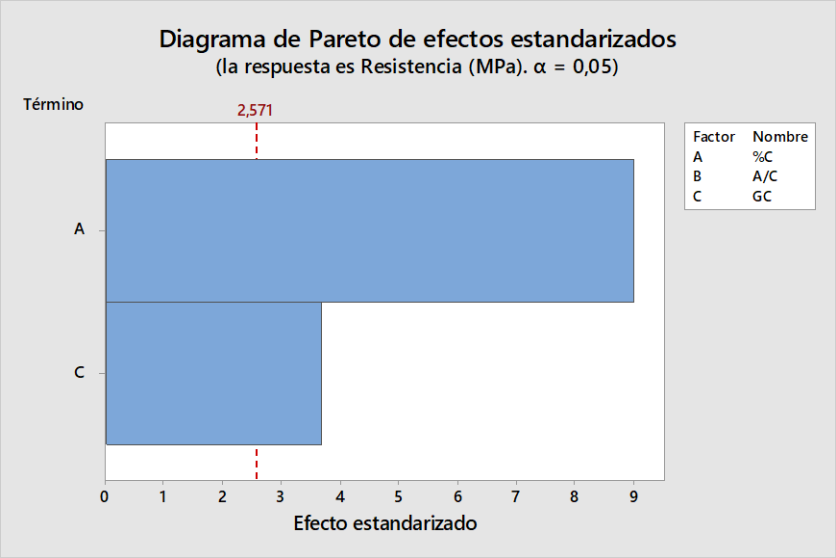
Nota. Fuente: El autor.

Nota. Fuente: El autor.

La figura 36 muestra gráficamente el comportamiento de los factores descritos en la tabla 18.

Figura 36

Diagrama de Pareto de efectos del modelo optimizado.



Nota. Fuente: El autor.

Una vez optimizado el modelo se evidencia claramente que los factores de % de caucho y granulometría de caucho son significativos con un nivel de confianza del 95% sobre la variable respuesta. A continuación en la tabla 25 se muestra las ecuaciones de regresión de los factores en función de la granulometría del caucho.

Tabla 25

Ecuaciones de regresión en unidades no codificadas.

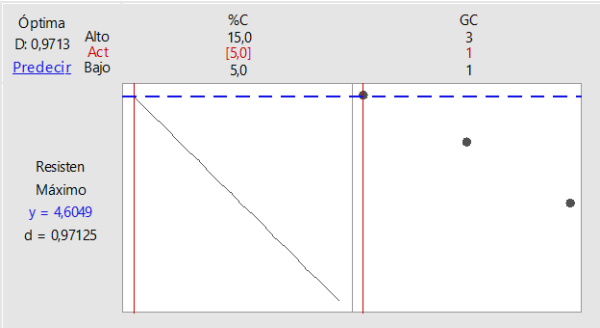
GC				
1	Resistencia (MPa)	=	5,415 - 0,1619 %C	(16)
2	Resistencia (MPa)	=	5,049 - 0,1619 %C	(17)
3	Resistencia (MPa)	=	4,568 - 0,1619 %C	(18)

Nota. Fuente: El autor.

Estos modelos expresados en las ecuaciones de regresión correlacionan los factores significativos (granulometría y porcentaje de caucho) con la resistencia a la compresión. Cabe recalcar que existen 3 modelos debido a la categorización de la granulometría de caucho por lo que las respuestas se predicen por separado. En la figura 37 se muestra gráficamente los parámetros de % C y GC que nos permiten obtener la resistencia mas alta.

Figura 37

Experimento óptimo del modelo optimizado.



Nota. Fuente: El autor.

5.5 Experimentos seleccionados

En base a los valores de resistencia y tomando como referencia la norma NTE INEN 3066 (2016) para bloques de hormigón clase B se optaron por los siguientes experimentos (tabla 26). A diferencia de los experimentos anteriores se utilizó el agregado de caucho estandarizado y se realizaron 5 réplicas. La obtención de los resultados se encuentra en el anexo D.

Tabla 26

Resistencia media de los experimentos seleccionados.

Notación mixta	RCM (MPa)
AFB-5	4,8
AFM-10	4,0
AG1M-5	4,2
AG1A-10	3,3

Nota. Fuente: El autor.

Se puede constatar que los experimentos AFB-5, AFM-10 y AG1M-5 cumplen con los requisitos de resistencia de la norma NTE INEN 3066 (2016) para bloques de hormigón clase B, cuyos valores son similares a los obtenidos en el diseño experimental de Taguchi. El experimento AG1A-10 no cumple con este requisito de resistencia, debido a que mostró una ligera disminución de la resistencia al usar el agregado de caucho estandarizado, por lo que este bloque se lo puede dar un uso como clase C.

5.6 Estudio económico - financiero

Para este estudio el desglose de la información inicial se la dividió en costos fijos y variables. En el apartado de los costos variables los datos se obtuvieron por consultas a fabricantes de bloques además se recopiló información proveniente de productores de las materias primas. De igual manera los costos fijos fueron cuantificados en base a la capacidad de producción y a la información recopilada de plantas productoras de bloques de la ciudad. Pues esta información fue necesaria para determinar el precio de venta, si bien este producto es similar a los bloques que no presentan agregado de caucho el pronóstico de venas proveniente de un estudio realizado por el departamento de ventas de la fábrica nos ayudó a determinar la utilidad deseada. A partir de este punto se consideraron ciertas políticas financieras en base a la información recopilada la cual nos

permitió elaborar el flujo de caja cuyo resultado final se desglosa en la obtención de la TIR y el VAN.

5.6.1 Estudio económico – financiero bloque AFB-5

La distribución de tablas y figuras para este estudio es la siguiente:

- Tabla 27: Estudio de costos y punto de equilibrio.
- Tabla 28: Proyección de utilidades y pérdidas.
- Figura 38: Gráfica del punto de equilibrio.
- Tabla 29: Flujo de caja (TIR y VAN).

Tabla 27

Estudio de costos y punto de equilibrio del bloque AFB-5.

Análisis costo unitario AFB-5		Peso	10,09 Kg	
		Bloque clase B	Mampostería no estructural	
COSTOS VARIABLES				
Costo de materia prima				
Material	**Porcentaje**	**Cantidad (kg)**	**Costo (kg)**	**Costo unitario**
Cemento	10,48%	1,058	$ 0,16	$ 0,17
Piedra pómez (chasqui)	52,59%	5,308	$ 0,02	$ 0,08
Material fino (polvo volcánico)	30,60%	3,089	$ 0,01	$ 0,04
Agregado de caucho	1,61%	0,163	$ 0,27	$ 0,04
Agua	4,72%	0,476	$ 0,0001	$ 0,000048
		A. Costo de materia prima		**$ 0,34**

Costo de mano de obra		
Unidades/semana (7500)		
Descripción	**Costo semana**	**Costo unitario**
Operario	$ 130	$ 0,017
Obrero	$ 120	$ 0,016
Obrero	$ 120	$ 0,016
	B. Costo de mano de obra	**$ 0,05**

Costo de equipos					
Equipo	**Potencia (Kw)**	**Horas (mes)**	**Consumo (kwh/mes)**	**Costo (mes)**	**Costo unitario**
Maquinaria de fabricación de bloques automática	17,9	160	2864	$ 229,12	$ 0,008
				C. Costo de equipos	**$ 0,008**
D. Total costos variables (A+B+C)	**$ 0,3951**				

COSTOS FIJOS		
Unidades/año (345000)		
Descripción	**Costo (anual)**	**Costo unitario**
Supervisión y administración	$ 8.059,65	$ 0,02336
Ensayos de laboratorio	$ 341,76	$ 0,00099
Mantenimiento de maquinaria	$ 327,84	$ 0,00095
Accesorios	$ 150,00	$ 0,00043
Servicios básicos (internet, agua, teléfono, luz)	$ 936,00	$ 0,00271
Limpieza	$ 180,00	$ 0,00052
Capacitación	$ 120,00	$ 0,00035
Consultoría externa	$ 240,00	$ 0,00070
Uniformes y equipos de protección	$ 300,00	$ 0,00087
Seguro multiriesgo	$ 600,00	$ 0,00174
Combustible	$ 480,00	$ 0,00139
Permisos de funcionamiento	$ 250,00	$ 0,00072
Amortización de marcos y patentes	$ 153,50	$ 0,00044
E. Total costos fijos anuales	**$ 12.138,75**	
F. Total costo fijo unitario		**$ 0,0352**

G. Total costos variables + fijos (D+F)	**$ 0,4303**
H. Utilidad (7%)	
I. PVP G/(1-H)	**$ 0,46**

Punto de equilibrio (mensual)		**Costos variables**	**Margen de contribución**	**Costos fijos**	**Utilidad o pérdida esperada**
Unidades	**Dólares**				
14970	$ 6.926,17	$ 5.914,61	$ 1.011,56	$ 1.011,56	$ -
Punto de equilibrio (anual)		**Costos variables**	**Margen de contribución**	**Costos fijos**	**Utilidad o pérdida esperada**
Unidades	**Dólares**				
179645	$ 83.114,05	$ 70.975,30	$ 12.138,75	$ 12.138,75	$ -
Punto de equilibrio (25000 unidades mensuales)		**Costos variables**	**Margen de contribución**	**Costos fijos**	**Utilidad o pérdida esperada**
Unidades	**Dólares**				
300000	$ 138.797,25	$ 118.526,01	$ 20.271,24	$ 12.138,75	$ 8.132,49

Nota. Fuente: El autor.

Tabla 28

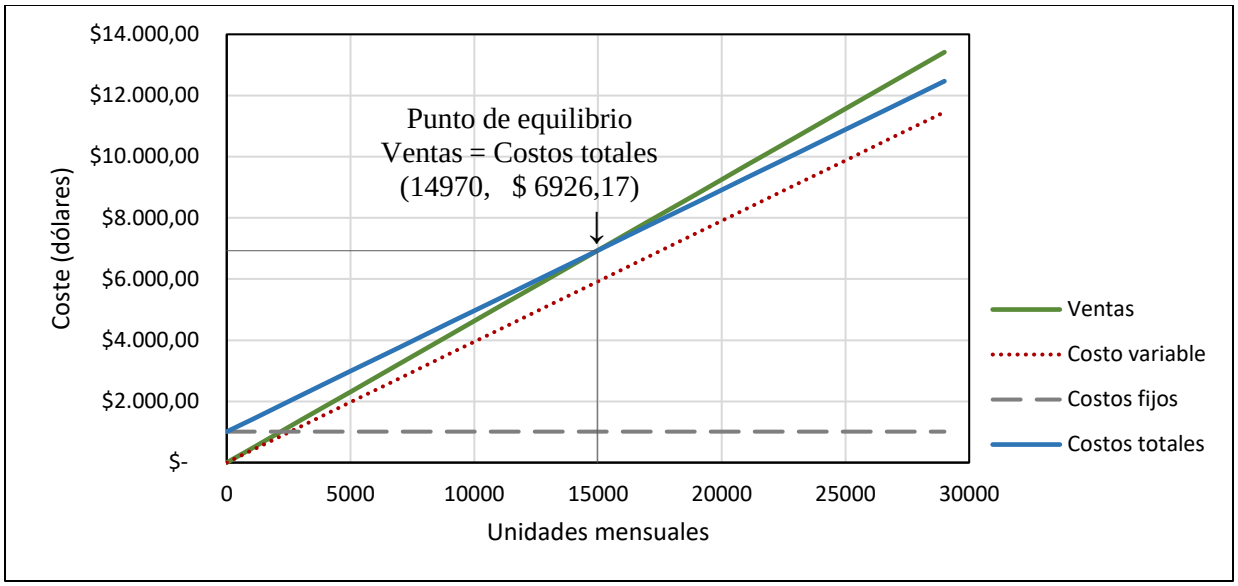
Proyección de utilidades o pérdidas mensuales del bloque AFB-5 en función de las unidades vendidas.

Unidades	Ventas	Costo variable	Costos fijos	Costos Totales	Utilidad o pérdida obtenida
0	$ -	$ -	$ 1.011,56	$ 1.011,56	-$ 1.011,56
1000	$ 462,66	$ 395,09	$ 1.011,56	$ 1.406,65	-$ 943,99
3000	$ 1.387,97	$ 1.185,26	$ 1.011,56	$ 2.196,82	-$ 808,85
5000	$ 2.313,29	$ 1.975,43	$ 1.011,56	$ 2.987,00	-$ 673,71
7000	$ 3.238,60	$ 2.765,61	$ 1.011,56	$ 3.777,17	-$ 538,57
9000	$ 4.163,92	$ 3.555,78	$ 1.011,56	$ 4.567,34	-$ 403,43
11000	$ 5.089,23	$ 4.345,95	$ 1.011,56	$ 5.357,52	-$ 268,28
13000	$ 6.014,55	$ 5.136,13	$ 1.011,56	$ 6.147,69	-$ 133,14
14970	$ 6.926,17	$ 5.914,61	$ 1.011,56	$ 6.926,17	$ 0,00
17000	$ 7.865,18	$ 6.716,47	$ 1.011,56	$ 7.728,04	$ 137,14
19000	$ 8.790,49	$ 7.506,65	$ 1.011,56	$ 8.518,21	$ 272,28
21000	$ 9.715,81	$ 8.296,82	$ 1.011,56	$ 9.308,38	$ 407,42
23000	$ 10.641,12	$ 9.086,99	$ 1.011,56	$ 10.098,56	$ 542,57
25000	$ 11.566,44	$ 9.877,17	$ 1.011,56	$ 10.888,73	$ 677,71
27000	$ 12.491,75	$ 10.667,34	$ 1.011,56	$ 11.678,90	$ 812,85
29000	$ 13.417,07	$ 11.457,51	$ 1.011,56	$ 12.469,08	$ 947,99

Nota. Fuente: El autor.

Figura 38

Punto de equilibrio mensual del bloque AFB-5.



Nota. Fuente: El autor.

Para la evaluación de las proyecciones del flujo de caja se deben tener en cuenta las siguientes políticas financieras:

- Se considera el precio de introducción proveniente del cálculo del precio de venta correspondiente a $ 0,46 para los primeros 5 años y de $ 0,47 a partir del quinto año.
- La proyección de la demanda anual está en función de las 25000 unidades mensuales que se pretende vender para lo cual serían un total de 300000 unidades para el primer año, aumentar las ventas en un 5% el segundo año y para el tercer año en adelante crecer en forma vegetativa en el equivalente al crecimiento de la población, que se estima en 2% anual.
- Las inversiones en activos fijos corresponden a $18000 en construcción que se deprecian en 20 años, $ 8000 en maquinaria que se deprecian en 10 años y al final de la depreciación podrían venderse en 10% de lo que costó, $ 7267,2 en herramientas y accesorios que se deprecian en 10 años y $900 en equipos de computación que se deprecian en 3 años y al final de la depreciación podrían venderse en 30% de lo que costó. El terreno al ser propio no entra en la valorización.

- El costo variable unitario es de $ 0,39 para cualquier nivel de actividad correspondiente al cálculo del precio unitario.
- Los costos fijos son de $12138,75 anuales correspondientes al cálculo del costo fijo total.
- La tasa de impuesto a las utilidades es de 0% en el caso de que las utilidades no superen los $11212 anuales, caso contrario se pagará el impuesto correspondiente sobre la fracción excedente.
- El capital de trabajo se considera bajo la política de que los clientes pagan al contado y a los proveedores se les cancela de contado por lo que se toma en cuenta el valor correspondiente a los costos totales de 25000 unidades.
- El valor de desecho se calculó bajo el método contable.
- Los valores a continuación están expresados en dólares americanos

Tabla 29

Flujo de caja, TIR y VAN del proyecto de inversión del bloque AFB-5.

Período(años)	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Precio		0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
Cantidad		300000	315000	321300	327726	334281	340966	347785	354741	361836	369073
Costo Variable		-0,40	-0,40	-0,40	-0,40	-0,40	-0,40	-0,40	-0,40	-0,40	-0,40
Período(años)	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Ventas		138797	145737	148652	151625	154657	161160	164383	167671	171024	174445
Egresos		-118526	-124452	-126941	-129480	-132070	-134711	-137405	-140154	-142957	-145816
Costos fijos		-12138,75	-12138,75	-12138,75	-12138,75	-12138,75	-12138,75	-12138,75	-12138,75	-12138,75	-12138,75
Depreciación de construcción		-900	-900	-900	-900	-900	-900	-900	-900	-900	-900
Depreciación Maquinaria		-800	-800	-800	-800	-800	-800	-800	-800	-800	-800
Depreciación herramientas y accesorios		-726,72	-726,72	-726,72	-726,72	-726,72	-726,72	-726,72	-726,72	-726,72	-726,72
Depreciación equipos de computación		-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300
Ingresos por venta de activos				270			270			270	800
Utilidad antes de impuestos		5406	6419	7115	7279	7722	11854	12113	12652	13472	14564
Impuesto		0	0	0	0	0	-593	-606	-633	-674	-1456
Utilidad neta		5406	6419	7115	7279	7722	11261	11507	12019	12799	13107
Depreciación de construcción		900	900	900	900	900	900	900	900	900	900
Depreciación maquinaria		800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
Depreciación herramientas y accesorios		726,72	726,72	726,72	726,72	726,72	726,72	726,72	726,72	726,72	726,72
Depreciación equipos de computación		300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Construcción	-18000										
Maquinaria	-8000										-8000
Herramientas y accesorios	-7267,2										-7267,2
Equipos de computación	-900			-900			-900			-900	
Capital de trabajo	-10888,73										
Valor de desecho											9000
Flujo de caja	**-45055,93**	**8132**	**9146**	**8942**	**10006**	**10449**	**13088**	**14234**	**14746**	**14626**	**9567**
VAN	**$ 18.362,52**										
TIR	**19,08%**										

Nota. Fuente: El autor.

El TIR es mayor que la tasa de descuento del 11% del VAN, por lo que es factible invertir en el proyecto del bloque AFB-5 dado que al traer los valores futuros a la actualidad generan una ganancia de $ 18.362,52.

5.6.2 Estudio económico – financiero bloque AFM-10

La distribución de tablas y figuras para este estudio es la siguiente:

- Tabla 30: Estudio de costos y punto de equilibrio.
- Tabla 31: Proyección de utilidades y pérdidas.
- Figura 39: Gráfica del punto de equilibrio.
- Tabla 32: Flujo de caja (TIR y VAN).

Tabla 30

Estudio de costos y punto de equilibrio del bloque AFM-10.

Análisis costo unitario AFM-10		Peso	10,15 Kg	
		Bloque clase B	Mampostería no estructural	
COSTOS VARIABLES				
Costo de materia prima				
Material	**Porcentaje**	**Cantidad (kg)**	**Costo (kg)**	**Costo unitario**
Cemento	10,43%	1,058	$ 0,16	$ 0,17
Piedra pómez (chasqui)	52,32%	5,308	$ 0,02	$ 0,08
Material fino (polvo volcánico)	28,84%	2,926	$ 0,01	$ 0,04
Agregado de caucho	3,20%	0,325	$ 0,27	$ 0,09
Agua	5,21%	0,529	$ 0,0001	$ 0,000053
		A. Costo de materia prima		**$ 0,34**
		B. Costo de mano de obra		**$ 0,05**
		C. Costo de equipos		**$ 0,008**
D. Total costos variables (A+B+C)	**$ 0,4367**			

COSTOS FIJOS	
E. Total costos fijos anuales	**$ 12.138,75**
F. Total costo fijo unitario	**$ 0,0352**

G. Total costos variables + fijos (D+F)	**$ 0,4719**
H. Utilidad (4%)	
I. PVP G/(1-H)	**$ 0,49**

Punto de equilibrio (mensual)		**Costos variables**	**Margen de contribución**	**Costos fijos**	**Utilidad o pérdida esperada**
Unidades	**Dólares**				

18443	$ 9.066,07	$ 8.054,51	$ 1.011,56	$ 1.011,56	$ -
Punto de equilibrio (anual)		**Costos variables**	**Margen de contribución**	**Costos fijos**	**Utilidad o pérdida esperada**
Unidades	**Dólares**				
221318	$ 108.792,86	$ 96.654,11	$ 12.138,75	$ 12.138,75	$ -
Punto de equilibrio (22500 unidades mensuales)		**Costos variables**	**Margen de contribución**	**Costos fijos**	**Utilidad o pérdida esperada**
Unidades	**Dólares**				
270000	$ 132.723,21	$ 117.914,40	$ 14.808,82	$ 12.138,75	$ 2.670,07

Nota. Fuente: El autor.

Tabla 31

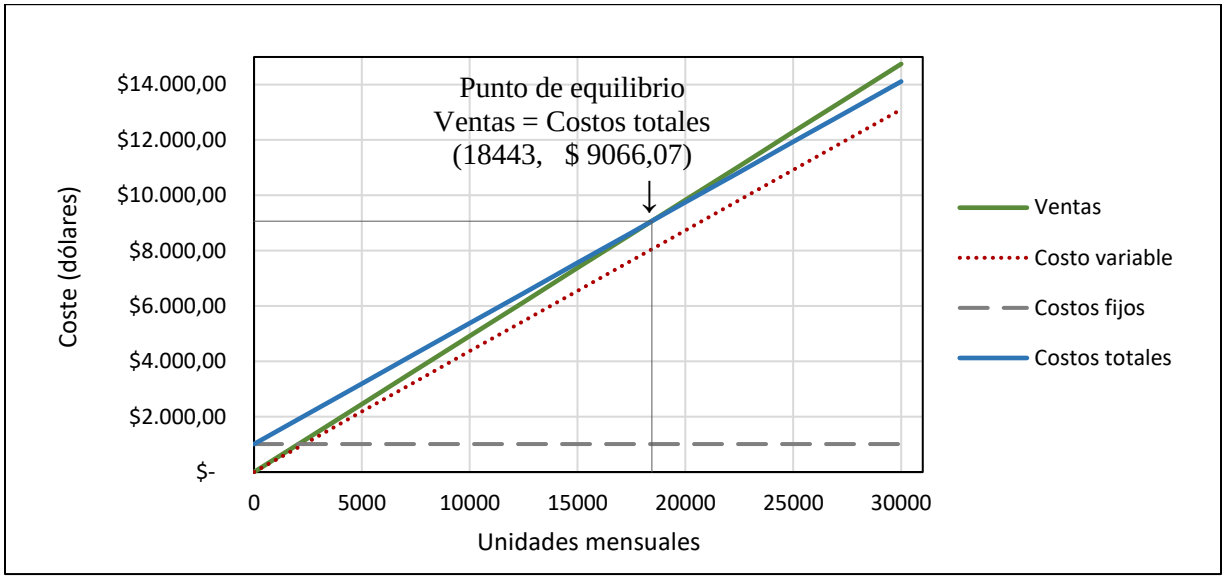
Proyección de utilidades o pérdidas mensuales del bloque AFM-10 en función de las unidades vendidas.

Unidades	Ventas	Costo variable	Costos fijos	Costos Totales	Utilidad o pérdida obtenida
0	$ -	$ -	$ 1.011,56	$ 1.011,56	-$ 1.011,56
2500	$ 1.228,92	$ 1.091,80	$ 1.011,56	$ 2.103,36	-$ 874,44
5000	$ 2.457,84	$ 2.183,60	$ 1.011,56	$ 3.195,16	-$ 737,32
7500	$ 3.686,76	$ 3.275,40	$ 1.011,56	$ 4.286,96	-$ 600,21
10000	$ 4.915,67	$ 4.367,20	$ 1.011,56	$ 5.378,76	-$ 463,09
12500	$ 6.144,59	$ 5.459,00	$ 1.011,56	$ 6.470,56	-$ 325,97
15000	$ 7.373,51	$ 6.550,80	$ 1.011,56	$ 7.562,36	-$ 188,85
17500	$ 8.602,43	$ 7.642,60	$ 1.011,56	$ 8.654,16	-$ 51,73
18443	$ 9.066,07	$ 8.054,51	$ 1.011,56	$ 9.066,07	$ 0,00
20000	$ 9.831,35	$ 8.734,40	$ 1.011,56	$ 9.745,96	$ 85,39
22500	$ 11.060,27	$ 9.826,20	$ 1.011,56	$ 10.837,76	$ 222,51
25000	$ 12.289,19	$ 10.918,00	$ 1.011,56	$ 11.929,56	$ 359,62
27500	$ 13.518,11	$ 12.009,80	$ 1.011,56	$ 13.021,36	$ 496,74
30000	$ 14.747,02	$ 13.101,60	$ 1.011,56	$ 14.113,16	$ 633,86

Nota. Fuente: El autor.

Figura 39

Punto de equilibrio mensual del bloque AFM-10.



Nota. Fuente: El autor.

Para la evaluación de las proyecciones del flujo de caja se deben tener en cuenta las siguientes políticas financieras:

- Se considera el precio de introducción proveniente del cálculo del precio de venta correspondiente a $ 0,49 para los primeros 5 años y de $0,50 a partir del quinto año.
- La proyección de la demanda anual está en función de las 22500 unidades mensuales que se pretende vender para lo cual serían un total de 270000 unidades para el primer año y para el segundo año en adelante crecer en forma vegetativa en el equivalente al crecimiento de la población, que se estima en 2% anual.
- Las inversiones en activos fijos corresponden a los valores mencionados anteriormente.
- El costo variable unitario es de $ 0,44 para cualquier nivel de actividad correspondiente al cálculo del precio unitario.
- Los costos fijos corresponden a los valores mencionados anteriormente.
- Se aplica las mismas condiciones para la tasa de impuesto a las utilidades.
- El capital de trabajo se considera bajo la misma política y se toma en cuenta el valor correspondiente a los costos totales de 22500 unidades.
- El valor de desecho se calculó bajo el método contable.

Tabla 32

Flujo de caja, TIR y VAN del proyecto de inversión del bloque AFM-10.

Período(años)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Precio		0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Cantidad		270000	275400	280908	286526	292257	298102	304064	310145	316348	322675
Costo Variable		-0,44	-0,44	-0,44	-0,44	-0,44	-0,44	-0,44	-0,44	-0,44	-0,44
Período(años)	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Ventas		132723	135378	138085	140847	143664	149518	152509	155559	158670	161843
Egresos		-117914	-120273	-122678	-125132	-127634	-130187	-132791	-135447	-138156	-140919
Costos fijos		-12138,75	-12138,75	-12138,75	-12138,75	-12138,75	-12138,75	-12138,75	-12138,75	-12138,75	-12138,75
Depreciación de construcción		-900	-900	-900	-900	-900	-900	-900	-900	-900	-900
Depreciación Maquinaria		-800	-800	-800	-800	-800	-800	-800	-800	-800	-800
Depreciación herramientas y accesorios		-726,72	-726,72	-726,72	-726,72	-726,72	-726,72	-726,72	-726,72	-726,72	-726,72
Depreciación equipos de computación		-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300
Ingresos por venta de activos				270			270			270	800
Utilidad antes de impuestos		-57	240	812	850	1164	4736	4852	5247	5919	6859
Impuesto		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilidad neta		-57	240	812	850	1164	4736	4852	5247	5919	6859
Depreciación de construcción		900	900	900	900	900	900	900	900	900	900
Depreciación maquinaria		800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
Depreciación herramientas y accesorios		726,72	726,72	726,72	726,72	726,72	726,72	726,72	726,72	726,72	726,72
Depreciación equipos de computación		300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Construcción	-18000										
Maquinaria	-8000										-8000
Herramientas y accesorios	-7267,2										-7267,2
Equipos de computación	-900			-900			-900			-900	
Capital de trabajo	-10837,76										
Valor de desecho											9000
Flujo de caja	**-45004,96**	**2670**	**2966**	**2638**	**3576**	**3891**	**6562**	**7579**	**7973**	**7746**	**3319**
VAN	**$ 18.782,30**										
TIR	**1,34%**										

Nota. Fuente: El autor.

El punto de equilibrio en unidades y dólares incrementó con respecto al producto AFB-5 esto se explica porque existe una menor utilidad, lo que sumado al incremento de los costos totales aumentó el punto de equilibrio ,por lo que el margen para que el producto sea rentable disminuye, debido a esto ya no se puede apuntar a vender las mismas 25 mil unidades del producto AFB-5 debido al precio de venta, de modo que se consideró por parte del departamento de ventas vender 22500 unidades al mes como contraparte de este incremento.

El TIR es menor que la tasa de descuento del 11% del VAN, por lo que no es factible invertir en el proyecto del bloque AFM-10 dado que al traer los valores futuros a la actualidad nos genera una pérdida de $ 18.782,30.

5.6.3 Estudio económico – financiero bloque AG1M-5

La distribución de tablas y figuras para este estudio es la siguiente:

- Tabla 33: Estudio de costos y punto de equilibrio.
- Tabla 34: Proyección de utilidades y pérdidas.
- Figura 40: Gráfica del punto de equilibrio.
- Tabla 35: Flujo de caja (TIR y VAN).

Tabla 33

Estudio de costos y punto de equilibrio del bloque AG1M-5.

Análisis costo unitario AG1M-5		Peso	10,15 Kg	
		Bloque clase B	Mampostería no estructural	
COSTOS VARIABLES				
		Costo de materia prima		
Material	**Porcentaje**	**Cantidad (kg)**	**Costo (kg)**	**Costo unitario**
Cemento	10,43%	1,058	$ 0,16	$ 0,17
Piedra pómez (chasqui)	52,32%	5,308	$ 0,02	$ 0,08
Material fino (polvo volcánico)	30,44%	3,089	$ 0,01	$ 0,04
Agregado de caucho	1,60%	0,163	$ 0,26	$ 0,04
Agua	5,21%	0,529	$ 0,0001	$ 0,000053
		A. Costo de materia prima		**$ 0,34**
		B. Costo de mano de obra		**$ 0,05**
		C. Costo de equipos		**$ 0,008**
D. Total costos variables (A+B+C)	**$ 0,3935**			
COSTOS FIJOS				

E. Total costos fijos anuales	**$ 12.138,75**
F. Total costo fijo unitario	**$ 0,0352**

G. Total costos variables + fijos (D+F)	**$ 0,4287**
H. Utilidad (7%)	
I. PVP G/(1-H)	**$ 0,46**

Punto de equilibrio (mensual)		**Costos variables**	**Margen de contribución**	**Costos fijos**	**Utilidad o pérdida esperada**
Unidades	**Dólares**				
14997	$ 6.912,67	$ 5.901,11	$ 1.011,56	$ 1.011,56	$ -
Punto de equilibrio (anual)		**Costos variables**	**Margen de contribución**	**Costos fijos**	**Utilidad o pérdida esperada**
Unidades	**Dólares**				
179967	$ 82.952,08	$ 70.813,33	$ 12.138,75	$ 12.138,75	$ -
Punto de equilibrio (25000 unidades mensuales)		**Costos variables**	**Margen de contribución**	**Costos fijos**	**Utilidad o pérdida esperada**
Unidades	**Dólares**				
300000	$ 138.278,73	$ 118.043,78	$ 20.234,94	$ 12.138,75	$ 8.096,20

Nota. Fuente: El autor.

Tabla 34

Proyección de utilidades o pérdidas mensuales del bloque AG1M-5 en función de las unidades vendidas.

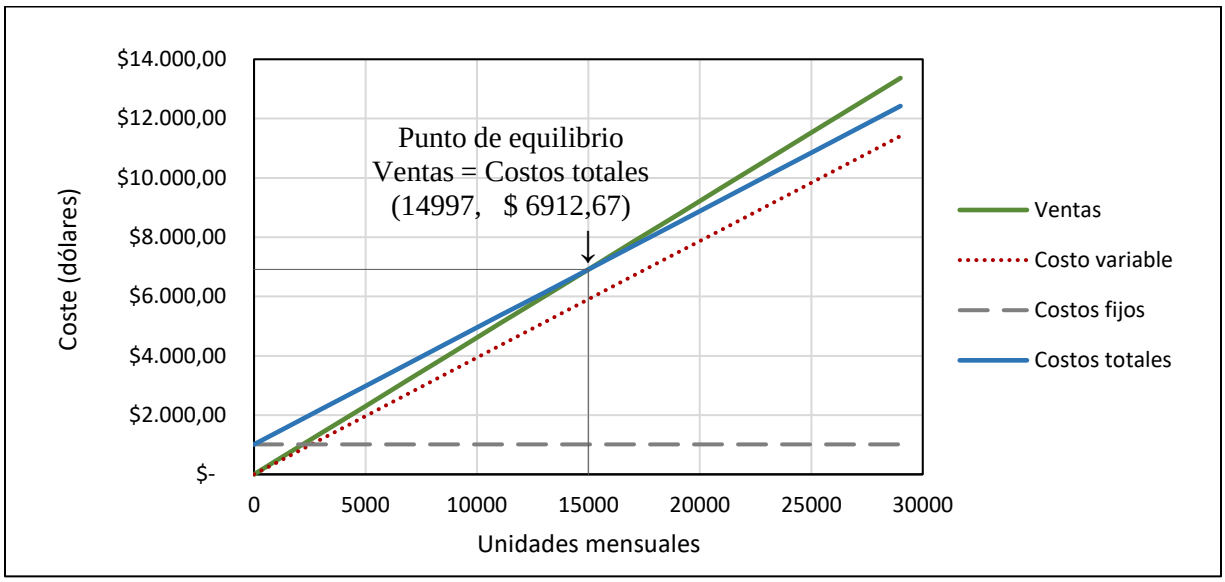
Unidades	Ventas	Costo variable	Costos fijos	Costos Totales	Utilidad o pérdida obtenida
0	$ -	$ -	$ 1.011,56	$ 1.011,56	-$ 1.011,56
1000	$ 460,93	$ 393,48	$ 1.011,56	$ 1.405,04	-$ 944,11
3000	$ 1.382,79	$ 1.180,44	$ 1.011,56	$ 2.192,00	-$ 809,21
5000	$ 2.304,65	$ 1.967,40	$ 1.011,56	$ 2.978,96	-$ 674,31
7000	$ 3.226,50	$ 2.754,35	$ 1.011,56	$ 3.765,92	-$ 539,41
9000	$ 4.148,36	$ 3.541,31	$ 1.011,56	$ 4.552,88	-$ 404,51
11000	$ 5.070,22	$ 4.328,27	$ 1.011,56	$ 5.339,83	-$ 269,61
13000	$ 5.992,08	$ 5.115,23	$ 1.011,56	$ 6.126,79	-$ 134,71
14997	$ 6.912,67	$ 5.901,11	$ 1.011,56	$ 6.912,67	$ 0,00
17000	$ 7.835,79	$ 6.689,15	$ 1.011,56	$ 7.700,71	$ 135,08
19000	$ 8.757,65	$ 7.476,11	$ 1.011,56	$ 8.487,67	$ 269,98
21000	$ 9.679,51	$ 8.263,06	$ 1.011,56	$ 9.274,63	$ 404,88
23000	$ 10.601,37	$ 9.050,02	$ 1.011,56	$ 10.061,59	$ 539,78

25000	$ 11.523,23	$ 9.836,98	$ 1.011,56	$ 10.848,54	$ 674,68
27000	$ 12.445,09	$ 10.623,94	$ 1.011,56	$ 11.635,50	$ 809,58
29000	$ 13.366,94	$ 11.410,90	$ 1.011,56	$ 12.422,46	$ 944,48

Nota. Fuente: El autor.

Figura 40

Punto de equilibrio mensual del bloque AG1M-5.



Nota. Fuente: El autor.

Para la evaluación de las proyecciones del flujo de caja se deben tener en cuenta las siguientes políticas financieras:

- Se considera el precio de introducción proveniente del cálculo del precio de venta correspondiente a $ 0,46 para los primeros 5 años y de $0,47 a partir del quinto año.
- La proyección de la demanda anual está en función de las 25000 unidades mensuales que se pretende vender para lo cual serían un total de 300000 unidades para el primer año, aumentar las ventas en un 5% el segundo año y para el tercer año en adelante crecer en forma vegetativa en el equivalente al crecimiento de la población, que se estima en 2% anual.
- Las inversiones en activos fijos corresponden a los valores mencionados anteriormente.

- El costo variable unitario es de $ 0,39 para cualquier nivel de actividad correspondiente al cálculo del precio unitario.
- Los costos fijos corresponden a los valores mencionados anteriormente.
- Se aplica las mismas condiciones para la tasa de impuesto a las utilidades.
- El capital de trabajo se considera bajo la misma política y se toma en cuenta el valor correspondiente a los costos totales de 25000 unidades.
- El valor de desecho se calculó bajo el método contable.

Tabla 35

Flujo de caja, TIR y VAN del proyecto de inversión del bloque AG1M-5.

Período(años)	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Precio		0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
Cantidad		300000	315000	321300	327726	334281	340966	347785	354741	361836	369073
Costo Variable		-0,39	-0,39	-0,39	-0,39	-0,39	-0,39	-0,39	-0,39	-0,39	-0,39
Período(años)	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Ventas		138279	145737	148652	151625	154657	161160	164383	167671	171024	174445
Egresos		-118044	-123946	-126425	-128953	-131532	-134163	-136846	-139583	-142375	-145222
Costos fijos		-12138,75	-12138,75	-12138,75	-12138,75	-12138,75	-12138,75	-12138,75	-12138,75	-12138,75	-12138,75
Depreciación de construcción		-900	-900	-900	-900	-900	-900	-900	-900	-900	-900
Depreciación Maquinaria		-800	-800	-800	-800	-800	-800	-800	-800	-800	-800
Depreciación herramientas y accesorios		-726,72	-726,72	-726,72	-726,72	-726,72	-726,72	-726,72	-726,72	-726,72	-726,72
Depreciación equipos de computación		-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300
Ingresos por venta de activos				270			270			270	800
Utilidad antes de impuestos		5369	6926	7631	7806	8259	12402	12672	13222	14054	15157
Impuesto		0	0	0	0	0	-620	-634	-661	-703	-1516
Utilidad neta		5369	6926	7631	7806	8259	11782	12038	12561	13351	13641
Depreciación de construcción		900	900	900	900	900	900	900	900	900	900
Depreciación maquinaria		800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
Depreciación herramientas y accesorios		726,72	726,72	726,72	726,72	726,72	726,72	726,72	726,72	726,72	726,72
Depreciación equipos de computación		300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Construcción	-18000										
Maquinaria	-8000										-8000
Herramientas y accesorios	-7267,2										-7267,2
Equipos de computación	-900			-900			-900			-900	
Capital de trabajo	-10848,54										
Valor de desecho											9000
Flujo de caja	-45015,74	8096	9652	9458	10533	10986	13608	14765	15288	15178	10101
VAN	**$ 20.997,77**										
TIR	**20,12%**										

Nota. Fuente: El autor.

Al igual que en el bloque AFB-5, el TIR es mayor que la tasa de descuento del 11% del VAN, por lo que es factible invertir en el proyecto del bloque AG1M-5 dado que al traer los valores futuros a la actualidad los ingresos generados están por encima de la tasa requerida por el inversionista.

5.6.4 Estudio económico – financiero bloque AG1A-10

La distribución de tablas y figuras para este estudio es la siguiente:

- Tabla 36: Estudio de costos y punto de equilibrio.
- Tabla 37: Proyección de utilidades y pérdidas.
- Figura 41: Gráfica del punto de equilibrio.
- Tabla 38: Flujo de caja (TIR y VAN).

Tabla 36

Estudio de costos y punto de equilibrio del bloque AG1A-10.

Análisis costo unitario AG1M-5		Peso	10,20 Kg	
		Bloque clase C	Alivianamientos en losas	
COSTOS VARIABLES				
Costo de materia prima				
Material	**Porcentaje**	**Cantidad (kg)**	**Costo (kg)**	**Costo unitario**
Cemento	10,37%	1,058	$ 0,16	$ 0,17
Piedra pómez (chasqui)	52,05%	5,308	$ 0,02	$ 0,08
Material fino (polvo volcánico)	28,69%	2,926	$ 0,01	$ 0,04
Agregado de caucho	3,19%	0,325	$ 0,26	$ 0,08
Agua	5,70%	0,582	$ 0,0001	$ 0,000058
		A. Costo de materia prima		**$ 0,38**
		B. Costo de mano de obra		**$ 0,05**
		C. Costo de equipos		**$ 0,008**
D. Total costos variables (A+B+C)	**$ 0,4335**			

COSTOS FIJOS	
E. Total costos fijos anuales	**$ 12.138,75**
F. Total costo fijo unitario	**$ 0,0352**

G. Total costos variables + fijos (D+F)	**$ 0,4687**
H. Utilidad (4%)	
I. PVP G/(1-H)	**$ 0,49**

Punto de equilibrio (mensual)	**Costos variables**	**Margen de contribución**	**Costos fijos**

Unidades	Dólares				Utilidad o pérdida esperada
18489	$ 9.025,97	$ 8.014,41	$ 1.011,56	$ 1.011,56	$ -
Punto de equilibrio (anual)		**Costos variables**	**Margen de contribución**	**Costos fijos**	**Utilidad o pérdida esperada**
Unidades	**Dólares**				
221865	$ 108.311,63	$ 96.172,88	$ 12.138,75	$ 12.138,75	$ -
Punto de equilibrio (22500 unidades mensuales)		**Costos variables**	**Margen de contribución**	**Costos fijos**	**Utilidad o pérdida esperada**
Unidades	**Dólares**				
270000	$ 131.810,31	$ 117.038,01	$ 14.772,30	$ 12.138,75	$ 2.633,55

Nota. Fuente: El autor.

Tabla 37

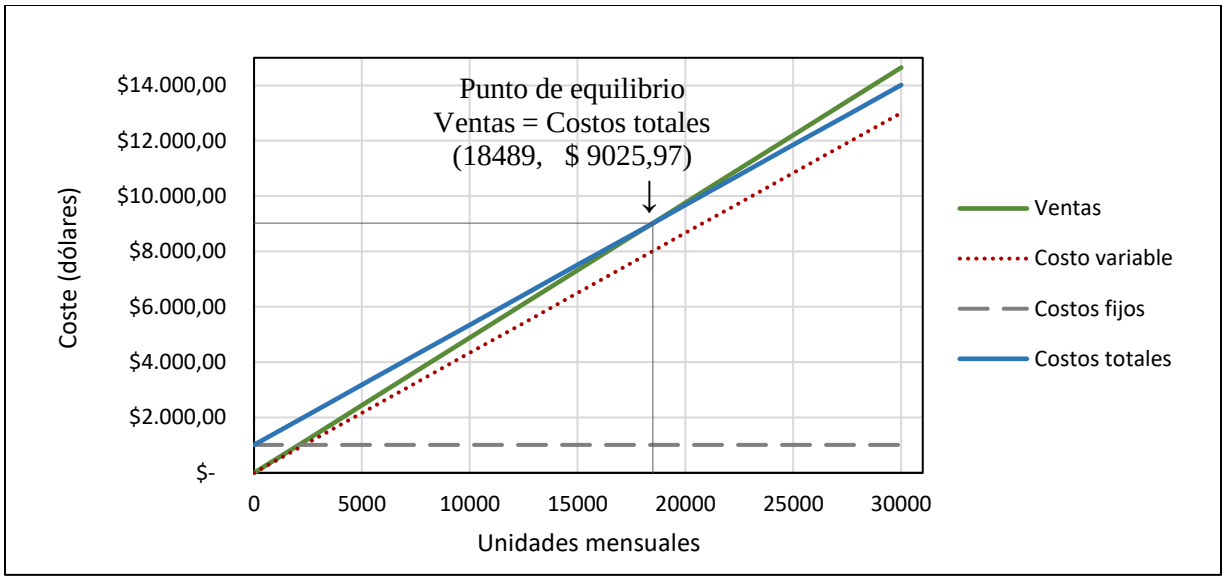
Proyección de utilidades o pérdidas mensuales del bloque AG1A-10 en función de las unidades vendidas.

Unidades	Ventas	Costo variable	Costos fijos	Costos Totales	Utilidad o pérdida obtenida
0	$ -	$ -	$ 1.011,56	$ 1.011,56	-$ 1.011,56
2500	$ 1.220,47	$ 1.083,69	$ 1.011,56	$ 2.095,25	-$ 874,78
5000	$ 2.440,93	$ 2.167,37	$ 1.011,56	$ 3.178,93	-$ 738,00
7500	$ 3.661,40	$ 3.251,06	$ 1.011,56	$ 4.262,62	-$ 601,22
10000	$ 4.881,86	$ 4.334,74	$ 1.011,56	$ 5.346,30	-$ 464,44
12500	$ 6.102,33	$ 5.418,43	$ 1.011,56	$ 6.429,99	-$ 327,66
15000	$ 7.322,79	$ 6.502,11	$ 1.011,56	$ 7.513,67	-$ 190,88
17500	$ 8.543,26	$ 7.585,80	$ 1.011,56	$ 8.597,36	-$ 54,10
18489	$ 9.025,97	$ 8.014,41	$ 1.011,56	$ 9.025,97	$ 0,00
20000	$ 9.763,73	$ 8.669,48	$ 1.011,56	$ 9.681,04	$ 82,68
22500	$ 10.984,19	$ 9.753,17	$ 1.011,56	$ 10.764,73	$ 219,46
25000	$ 12.204,66	$ 10.836,85	$ 1.011,56	$ 11.848,41	$ 356,24
27500	$ 13.425,12	$ 11.920,54	$ 1.011,56	$ 12.932,10	$ 493,02
30000	$ 14.645,59	$ 13.004,22	$ 1.011,56	$ 14.015,79	$ 629,80

Nota. Fuente: El autor.

Figura 41

Punto de equilibrio mensual del bloque AG1A-10.



Nota. Fuente: El autor.

Para la evaluación de las proyecciones del flujo de caja se deben tener en cuenta las siguientes políticas financieras:

- Se considera el precio de introducción proveniente del cálculo del precio de venta correspondiente a $ 0,49 para los primeros 5 años y de $0,50 a partir del quinto año.
- La proyección de la demanda anual está en función de las 22500 unidades mensuales que se pretende vender para lo cual serían un total de 270000 unidades para el primer año y para el segundo año en adelante crecer en forma vegetativa en el equivalente al crecimiento de la población, que se estima en 2% anual.
- Las inversiones en activos fijos corresponden a los valores mencionados anteriormente.
- El costo variable unitario es de $ 0,43 para cualquier nivel de actividad correspondiente al cálculo del precio unitario.
- Los costos fijos corresponden a los valores mencionados anteriormente.
- Se aplica las mismas condiciones para la tasa de impuesto a las utilidades.
- El capital de trabajo se considera bajo la misma política y se toma en cuenta el valor correspondiente a los costos totales de 22500 unidades.
- El valor de desecho se calculó bajo el método contable

Tabla 38

Flujo de caja, TIR y VAN del proyecto de inversión del bloque AG1A-10.

Período(años)	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Precio		0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Cantidad		270000	275400	280908	286526	292257	298102	304064	310145	316348	322675
Costo Variable		-0,43	-0,43	-0,43	-0,43	-0,43	-0,43	-0,43	-0,43	-0,43	-0,43
Período(años)	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Ventas		131810	135378	138085	140847	143664	149518	152509	155559	158670	161843
Egresos		-117038	-119379	-121766	-124202	-126686	-129219	-131804	-134440	-137129	-139871
Costos fijos		-12138,75	-12138,75	-12138,75	-12138,75	-12138,75	-12138,75	-12138,75	-12138,75	-12138,75	-12138,75
Depreciación de construcción		-900	-900	-900	-900	-900	-900	-900	-900	-900	-900
Depreciación Maquinaria		-800	-800	-800	-800	-800	-800	-800	-800	-800	-800
Depreciación herramientas y accesorios		-726,72	-726,72	-726,72	-726,72	-726,72	-726,72	-726,72	-726,72	-726,72	-726,72
Depreciación equipos de computación		-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300
Ingresos por venta de activos				270			270			270	800
Utilidad antes de impuestos		-93	1133	1723	1780	2113	5703	5839	6253	6946	7907
Impuesto		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilidad neta		-93	1133	1723	1780	2113	5703	5839	6253	6946	7907
Depreciación de construcción		900	900	900	900	900	900	900	900	900	900
Depreciación maquinaria		800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
Depreciación herramientas y accesorios		726,72	726,72	726,72	726,72	726,72	726,72	726,72	726,72	726,72	726,72
Depreciación equipos de computación		300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Construcción	-18000										
Maquinaria	-8000										-8000
Herramientas y accesorios	-7267,2										-7267,2
Equipos de computación	-900			-900			-900			-900	
Capital de trabajo	-10764,73										
Valor de desecho											9000
Flujo de caja	-44931,93	2634	3860	3550	4507	4839	7530	8566	8980	8772	4366
VAN	**$ 13.974,52**										
TIR	**4,11%**										

Nota. Fuente: El autor.

Desde el punto de vista financiero este bloque no es rentable de ninguna forma, pues sus costos de materia prima son elevados lo que conlleva a un aumento de los costos variables, lo que sumado a los costos fijos generan un costo unitario por encima del precio de venta sin contar con la utilidad, al disminuir la utilidad al 4% se mantiene en un precio de venta por encima del bloque comercial de 12 cm. Es por esto que el pronóstico de ventas disminuye con relación a los productos que tiene un 5% de agregado de caucho en su formulación, por lo que en el flujo de caja se observan valores anuales de utilidad muy bajos, al considerar estos valores en el cálculo del VAN con respecto a la inversión realizada no se refleja un incremento de la utilidad con respecto al tiempo por lo que no es aconsejable invertir en el bloque AG1A-10 con la tasa requerida por el inversionista.

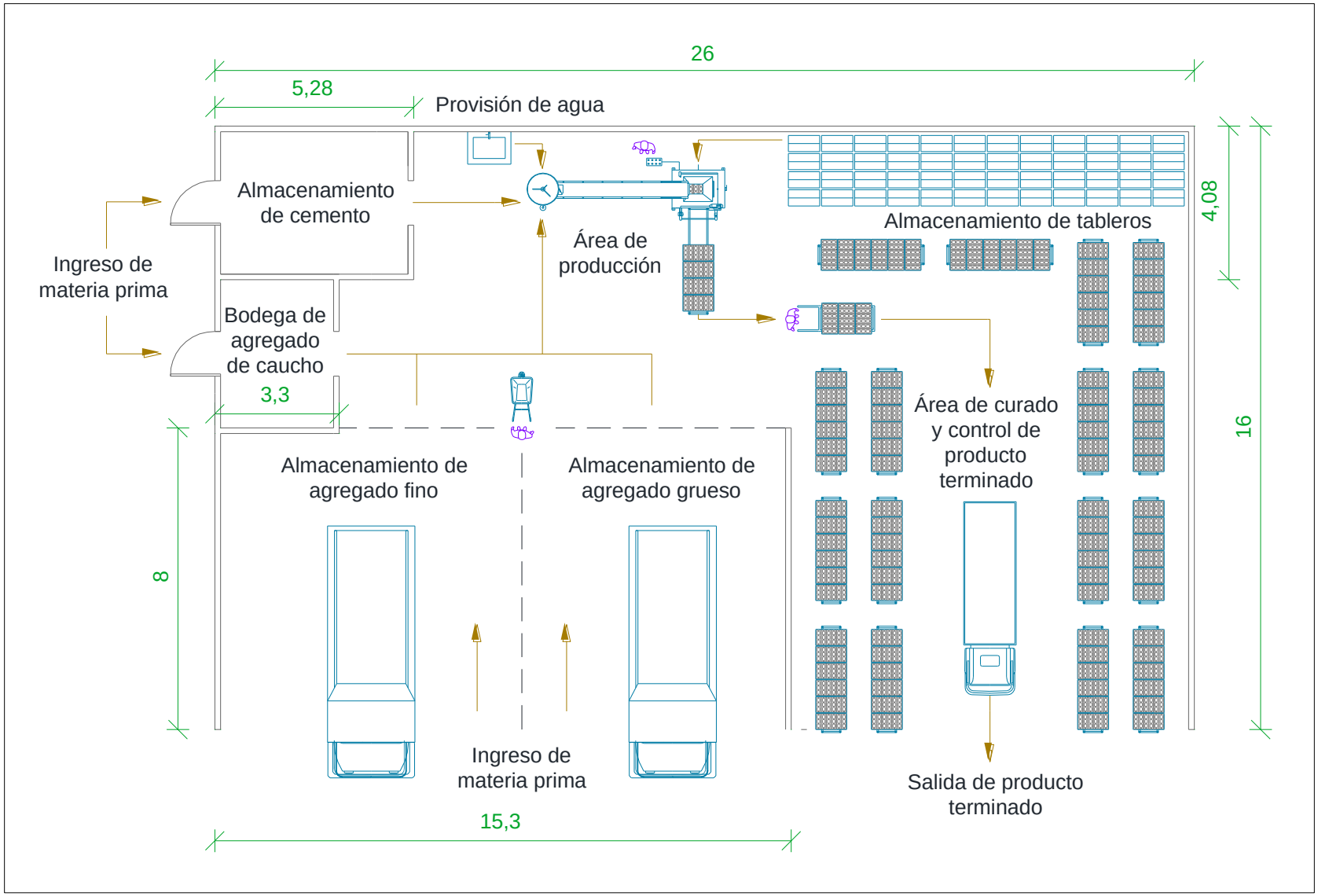
5.7 Diseño de flujo de proceso de manufactura

En la figura 42 se muestra la propuesta de distribución de planta de acuerdo a la metodología SLP descrita previamente en la literatura, de modo que se analizaron las relaciones entre las actividades ya sea en los recorridos como en las áreas necesarias para obtener un proceso eficiente. Bajo la anterior premisa se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Área disponible de 416 m².
- Herramientas y equipos: Máquina automática de bloques de hormigón QTJ4-40B, tableros, carretillas, palas y marcos de hierro.
- Cuatro áreas de materia prima y almacén de tableros.
- Área de curado y almacenamiento de producto terminado.
- No se consideraron áreas administrativas ni auxiliares como vestidores o baños dado que son áreas ya existentes ubicadas al ingreso de la fábrica.

Figura 42

Distribución de planta propuesta.



Nota. Fuente: El autor.

En base a los principios de la metodología SLP esta distribución propuesta permiten una integración de todos los elementos de modo que se encuentren lo más cercano posibles, si se observa los ingresos de materia prima, estos se los ubicó de tal manera que se encuentren cercanos al mixer, con el objetivo de que al momento de la descarga de los materiales estos puedan ser llevados de una forma rápida al área de producción. De acuerdo al principio de circulación esta distribución sigue una geometría una en "U" de tal forma que se pueda aprovechar al máximo el espacio para que rodee el área de producción y la distancia recorrida sea la mínima sin que existan retrocesos o movimientos transversales. Considerando el principio de flexibilidad los equipos se instalaron de tal forma que se los pueda ubicar y desinstalar en cualquier parte que compete el área de producción sin que se generen costos elevados o tiempos largos de ajuste.

5.8 Resumen de resultados vs hipótesis planteadas

5.8.1 Resultados de la hipótesis específica 1 (diseño factorial 2^2)

Considerando que el estudio económico-financiero se lo realizó en base a los experimentos seleccionados que cumplían con los normas de resistencia, se puede asignar 2 variables de respuesta (TIR y VAN) a cada experimento, sin embargo en la tabla 26 se detecta la presencia de los 3 factores controlables iniciales, en el caso de los factores de GC y %C estos presentan 2 niveles y en el caso del factor A/C presenta 3 niveles. Si se analiza el DOE que puede ser aplicable para este tipo de datos se tienen dos opciones: diseño factorial y Taguchi.

El problema radica en que se tienen diferentes niveles dentro de la matriz experimental, por lo que si se opta por el diseño de Taguchi al momento de asignarlo a la corrida no es posible obtener todas las interacciones necesarias para el factor que presenta 3 niveles ya que se tiene una matriz L4, por lo que se optó por el diseño factorial, cabe recalcar que es necesario que todos los factores tengan dos niveles, por lo que para cumplir con esta condición se eliminó el factor A/C que presenta 3 niveles. En la tabla 39 se muestra el arreglo experimental usado en este análisis estadístico.

Tabla 39

Diseño factorial de los experimentos seleccionados.

Corrida	GC	%C	VAN ($)	TIR (%)

1	2	10	-13974,5	4,11
2	1	5	18362,5	19,08
3	2	5	20997,8	20,12
4	1	10	-18732,3	1,34

Nota. Fuente: El autor.

5.8.2 Resultados de la hipótesis específica 2 (modelos de las correlaciones)

Si bien no existen factores críticos de control, el modelo puede estimar con gran fiabilidad el efecto de las variaciones sobre las variables respuesta, el caso es que al tener variables significativas al ajustar el nivel de confianza se llega a la conclusión de que las respuestas obtenidas en este modelo se asemejan a los del estudio financiero. Para el caso del factor de granulometría de caucho al tratarse de una variable categórica el modelo puede reemplazarse por los valores de 1 y 2 para predecir la variable respuesta y para el factor de porcentaje de caucho puede reemplazarse por valores de 0 a 100 ya que es un porcentaje. Hay que tener en cuenta que los valores deben validarse con un estudio financiero. A continuación se muestran las ecuaciones de regresión para las variables respuesta TIR y VAN.

Ecuaciones de regresión en unidades no codificadas

$$VAN = 54945 + 512{,}7\ GC - 7843\ \%C + 424{,}5\ GC*\%C \quad (19)$$

$$TIR = 37{,}51 - 0{,}6900\ GC - 3{,}894\ \%C + 0{,}3460\ GC*\%C \quad (20)$$

5.8.3 Resultados de la hipótesis específica 3 (análisis de Varianza y Pareto)

Al tratarse de un modelo experimental corto de matriz L4, solo existe una interacción, por lo que la dependencia sobre la variable respuesta se ve claramente afectada tal como se muestra en las tablas 40 y 41.

Tabla 40

Análisis de Varianza VAN.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor p

Modelo	3	1313207592	437735864	*
Lineal	2	1312081309	656040655	*
GC	1	13664223	13664223	*
%C	1	1298417086	1298417086	*
Interacciones	1	1126283	1126283	*
GC*%C	1	1126283	1126283	*
Error	0	*	*	
Total	3	1313207592		

α = 0,05

Nota. Fuente: El autor.

Tabla 41

Análisis de Varianza TIR.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor p
Modelo	3	289,143	96,381	*
Lineal	2	288,395	144,197	*
GC	1	3,629	3,629	*
%C	1	284,766	284,766	*
Interacciones	1	0,748	0,748	*
GC*%C	1	0,748	0,748	*
Error	0	*	*	
Total	3	289,143		

α = 0,05

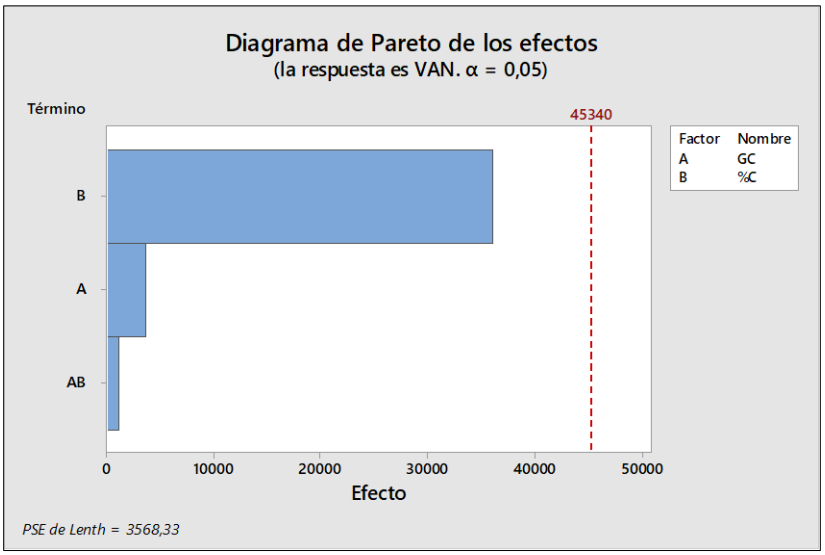
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
*	100,00%	*	*

Nota. Fuente: El autor.

Con un nivel de confianza del 95% se puede afirmar que ningún factor es significativo sobre la variables respuesta del TIR y el VAN dado que ningún valor de P es mayor a α, esto se evidencia con los diagramas de pareto de las figuras 43 y 44.

Figura 43

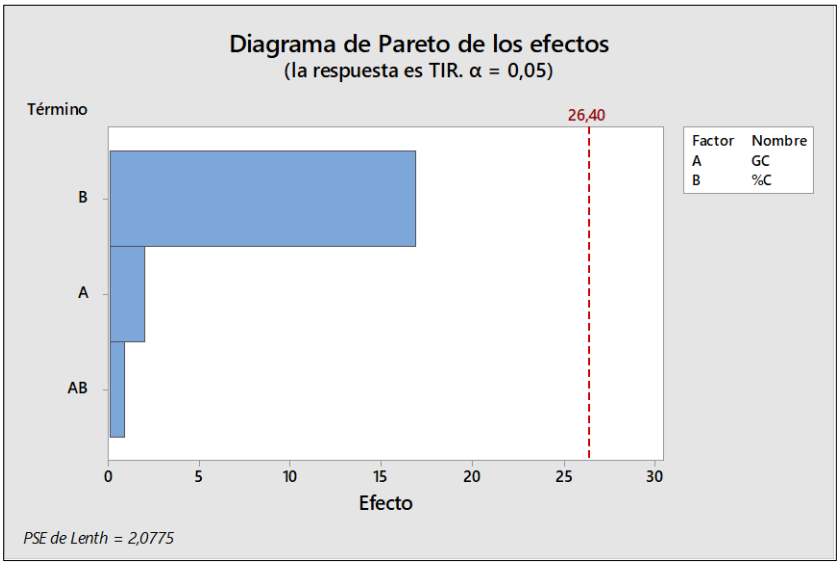
Diagrama de Pareto de efectos del VAN.



Nota. Fuente: El autor.

Figura 44

Diagrama de Pareto de efectos la TIR.



Nota. Fuente: El autor.

Tal como se observan en las gráficas, el porcentaje de caucho provoca una mayor variación sobre el VAN y la TIR, lo que lleva a la conclusión de que al aumentar este valor la rentabilidad es menor y al contrario al disminuir este valor la rentabilidad es mayor. Dado que solo son 4 corridas no se puede estimar el comportamiento de los datos por lo que no se incluyen las gráficas de residuos para medias. Cabe mencionar que al usar un nivel de confianza del 90% en el análisis, la variable de porcentaje de caucho si resulta ser significativa, sin embargo los modelos de las correlaciones presentan resultados más variables en relación a los modelos donde su usa un nivel de confianza del 95%, pues este modelo podría llegar a ser válido en el caso de que lleguen a existir otros aspectos que pueden interferir en los resultados de las variables respuesta (TIR y VAN).

Si se considera el TIR como única variable respuesta se puede concluir con un nivel de confianza del 95% que la variable porcentaje de caucho si es significativa, la contraparte de esto es que no se puede predecir el VAN por lo que sacar conclusiones con este único resultado puede llegar a ser incierto, debido a que los valores del TIR se fijan en base a la situación económica del mercado y en el Ecuador este valor siempre es variable por lo que no se recomienda usar este modelo solo con la predicción del TIR.

CONCLUSIONES

Respondiendo a las hipótesis planteadas en base a los objetivos se puede argumentar que si existe una función que correlaciona la composición de un bloque de mampostería con agregados de caucho reciclado con la rentabilidad de su línea de producción, esta función es el diseño de experimentos factorial con matriz L4 (2^2), si se observa en el análisis de varianza el R cuadrado es del 100% por lo que el modelo de regresión explica con una alta fiabilidad la varianza de los datos. Cabe recalcar que las variables que predicen las respuestas de rentabilidad (VAN y TIR) resultaron ser el porcentaje de caucho y la granulometría del caucho. La variable de relación agua/cemento fue descartada ya que a pesar de estar presente dentro de los experimentos que cumplían con los requisitos de resistencia a la compresión de la norma NTE INEN 3066 (2016) no era posible asignarla dentro del diseño factorial debido a que al tener solo 4 experimentos que cumplían la norma antes mencionada solo era factible optar por una matriz L4 por lo que al momento de incorporarla al diseño las correlaciones con las otras dos variables no eran posibles.

Como respuesta al segundo objetivo se puede concluir que si es posible modelar la correlación entre la composición de un bloque de mampostería con agregados de caucho reciclado con la rentabilidad de su línea de producción por medio de las ecuaciones de regresión lineal del apartado 5.8.2. Los modelos de las correlaciones obtenidos en este estudio generaron respuestas bastante aproximadas de la rentabilidad, pues el ajuste del modelo es alto lo cual es un indicador de la fiabilidad de este modelo, es preciso señalar que los datos deben validarse con el correspondiente análisis económico- financiero.

Tal como se mencionó en el análisis de varianza de la rentabilidad del apartado 5.8.3 con un nivel de confianza del 95% se puede afirmar que no existen factores significativos sobre la variables respuesta del TIR y el VAN dado que ningún valor de P es mayor α, por lo que los modelos antes mencionados se basan en el efecto que provocan las al de las dos variables (%C y GC) sobre las variables respuesta. Cabe mencionar que el porcentaje de caucho es un factor crítico de control en la rentabilidad, por lo que las alteraciones de esta variable en la formulación pueden determinar si el proyecto es o no rentable. Si se desea invertir en una línea de producción para este producto

solo es aconsejable usar las formulaciones de los bloques AG1M-5 y AFB-5 las cuales son las únicas rentables económicamente.

Como recomendación es necesario un estudio más extenso donde se puedan obtener más experimentos que cumplan con la variable de resistencia para poder asignarlos al estudio económico- financiero, de modo se puedan obtener efectos significativos sobre la variable respuesta de rentabilidad. Es necesario también la validación de otros requisitos de la norma NTE INEN 3066 (2016) para bloques de hormigón como ensayos de resistencia al fuego, absorción de agua, entre otros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, Antonio. *Diseño de Infraestructura de Nueva Planta Para La Linea de Producción de Los Modelos Buller Y Linner 12 En Dina Camiones.* CIATEQ, 2017.

Almeida, Neyva. *Utilización de Fibras de Caucho de Neumáticos Reciclados En La Elaboración de Bloques de Mampostería Para Mitigar El Impacto Ambiental En El Cantón Ambato*. Universidad técnica de Ambato, 2011.

Asiltürk, Ilhan, and Süleyman Neşeli. "Multi Response Optimisation of CNC Turning Parameters via Taguchi Method-Based Response Surface Analysis." *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, vol. 45, no. 4, 2012, pp. 785–94, doi:10.1016/j.measurement.2011.12.004.

Córdoba, Carlos, and David Moreno. *La Importancia de Una Buena Estrategia de Fijación de Precios Como Herramienta de Penetración de Mercados*. Vol. XVIII, no. 2, 2017, pp. 58–68, http://dx.doi.org/10.22267/rtend.171802.73.

Crespo, Silvia. *CONSTRUCCIÓN DE MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE PÓMEZ, MEDIANTE LA PREFABRICACIÓN DE MACRO ELEMENTOS MODULARES*. Universidad de Cuenca, 2015, http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/22855.

Dirección Nacional Jurídica. *LEY ORGANICA DE REGIMEN TRIBUTARIO INTERNO* -. no. 34, 2015.

El telégrafo. *Nuevos Productos Nacen Del Reciclaje de Llantas*. 2018, https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/4/nuevos-productos-reciclaje-llantas-industria.

Garzón, Patricia Paola Guerrero, et al. "Metodología Para La Fijación de Precios Mediante La Utilización de La Elasticidad Precio-Demanda. Caso Tipo: Repuestos Del Sector Automotor." *Apuntes Del Cenes*, vol. 31, no. 54, 2013, p. 9, doi:10.19053/22565779.13.

Heizer, Jay, and Barry Render. *OPERATIONS MANAGEMENT*. 8th Editio, Pearson Education, 2007.

Hernández, Jorge. *DISEÑO DE UN MATERIAL ECOLÓGICO PARA CONSTRUCCIÓN MEDIANTE LA ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA AL CONCRETO*. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, 2018.

Hidalgo, Jaime, and Natalia Alejandra. *Métodos de Reutilización de Llantas Usadas: Slección Y Elaboración de Nuevos Productos*. 2017.

Horngren, Charles, et al. *Contabilidad de Costos Un Enfoque Gerencial*. Décimocuar, 2012.

Industrias Químicas del Azuay. *Ficha Técnica - Cemento Hidráulico Atenas Tipo GU*. 2020, https://cementoatenas.com/service/cemento/.

INEC. *Ficha Técnica - Piedra Pómez*. 2012, https://aplicaciones2.ecuadorencifras.gob.ec/SIN/co_mineria.php?id=16320.02.00.

Jordi Munuera. *Caracterización Del Comportamiento Mecánico de Neumáticos Troceados 1*. 2008.

Juárez, David, et al. *ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LOS POLÍMEROS DERIVADOS DEL ESTIRENO-BUTADIENO*. 2013, https://m.riunet.upv.es/handle/10251/33655.

Kopac, J., and P. Krajnik. "Robust Design of Flank Milling Parameters Based on Grey-Taguchi Method." *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 191, no. 1–3, 2007, pp. 400–03, doi:10.1016/j.jmatprotec.2007.03.051.

Le, Tuan-ho, and Tuan-ho Le Sangmun Shin. *A Literature Review on RSM-Based Robust Parameter Design (RPD): Experimental Design, Estimation Modeling, and Optimization*

Methods. Vol. 46, no. 1, 2018, pp. 39–74, https://doi.org/10.7469/JKSQM.2018.46.1.039.
Ling, T. C. *Using Recycled Waste Tyres in Concrete Paving Blocks*. no. February, 2010, doi:10.1680/warm.2010.163.1.37.
Ling, Tung-chai. "Prediction of Density and Compressive Strength for Rubberized Concrete Blocks W." *Construction and Building Materials*, vol. 25, no. 11, Elsevier Ltd, 2011, pp. 4303–06, doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.04.074.
Ling, Tung Chai. "Effects of Compaction Method and Rubber Content on the Properties of Concrete Paving Blocks." *Construction and Building Materials*, vol. 28, no. 1, Elsevier Ltd, 2012, pp. 164–75, doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.08.069.
MAE. *1.500.000 Unidades de Neumáticos Fuera de Uso Se Recuperaron En Ecuador En Dos Años*. 2016, http://www.ambiente.gob.ec/1-500-000-unidades-de-neumaticos-fuera-de-uso-se-recuperaron-en-ecuador-en-dos-anos/.
Martinez, Claudia Montserrat. *EVALUACIÓN ECONÓMICA E INVERSIÓN (SOBRE UN CONDOMINIO HORIZONTAL EN LA DELEGACIÓN ÁLVARO OBREGÓN)*. Universidad Nacional Autonoma de Mexico, 2002, http://www.economia.unam.mx/secss/docs/tesisfe/MartinezSCM/cap4.pdfw.
Marulanda, Oscar. *COSTOS Y PRESUPUESTOS*. Universidad Pedro de Gante, 2015.
Mejía, Jodan, and Nelson Velásquez. *Diseño de Bloques Para Mampostería En Obras Civiles Con Agregados de Fibras de Caucho de Neumático Y Plástico Reciclado (Pet)*. 2018.
Mete, Marcos. "VALOR ACTUAL NETO Y TASA DE RETORNO: SU UTILIDAD COMO HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN." *Fides et Ratio - Revista de Difusión Cultural Y Científica de La Universidad La Salle En Bolivia, 7(7), 67-85.*, 2014.
Muther, R. *Distribución En Planta*. Hispano Eu, 1981, pp. 13–22.
NTE INEN 151. *CEMENTO HIDRAÚLICO. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.* 2010, http://apps.normalizacion.gob.ec/descarga/.
NTE INEN 3066. *BLOQUES DE HORMIGÓN. REQUISTOS Y MÉTODOS DE ENSAYO*. 2016, http://apps.normalizacion.gob.ec/descarga/.
NTE INEN 696. *ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS, FINO Y GRUESO.* 2011, http://apps.normalizacion.gob.ec/descarga/.
NTE INEN 872. *ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. REQUISITOS.* 2011, http://apps.normalizacion.gob.ec/descarga/.
Olivares, Daniel. *Planta de Reciclaje de Neumáticos de Caucho: Comercialización de Miga de Caucho.* Universidad de Chile, 2016, http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/140906.
Rocío, Juan. *Segunda Vida En Los Neumáticos Usados*. 2012.
Salazar, Andrea, et al. *VALORACIÓN DE EMPRESAS POR EL MÉTODO DE FLUJO DE CAJA LIBRE APLICADO A NETBEAM S.A.* Universidad de Medellín, 2012, https://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/362/Valoración de empresas por el método de flujo de caja libre aplicado a NetBeam S.A.pdf?sequence=1.
Sánchez, Carlos. *DISEÑO EXPERIMENTAL Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE CONGLOMERADO MADERA - CEMENTO*. Universidad de Cuenca, 2010, http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/2629.
SCPM. *Informe Especial de Bloques Y Adoquines*. no. 593, 2017.
SCVS. *ESTUDIO SECTORIAL:PRODUCTIVIDAD EN LA INDUSTRIA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN PERÍODO 2013-2017*. 2018.
Servicio de Rentas Internas. *Extracto Arts . 10 Al 15 Ley Orgánica de Régimen Tributario*

Interno Y Arts . 26 Al 31 Y Art . 36 Reglamento Para La Aplicación Ley de Régimen Tributario Interno Impuesto a La Renta. 2015.

Skariah, Blessen, et al. "Strength , Abrasion and Permeation Characteristics of Cement Concrete Containing Discarded Rubber Fine Aggregates." *Construction and Building Materials*, vol. 59, Elsevier Ltd, 2014, pp. 204–12, doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.01.074.

Suhardini, D., et al. *Design and Simulation Plant Layout Using Systematic Layout Planning*. 2017, doi:10.1088/1757-899X/277/1/012051.

Tapia, Lorena. *Instructivo Para La Gestion Integral de Neumaticos Usados*. 2015, pp. 1–17.

Trejos, Erika M., et al. *Geoscience Frontiers Volcanic Emissions and Atmospheric Pollution : A Study of Nanoparticles*. Vol. 12, 2021, pp. 746–55, doi:10.1016/j.gsf.2020.08.013.

UCA El Salvador. *ANÁLISIS DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS POR TAMIZADO EN AGREGADO FINO Y GRUESO Y DETERMINACIÓN DE MATERIAL MÁS FINO QUE EL TAMIZ No.200 (75 Um) EN AGREGADO MINERAL POR LAVADO*. no. 1, 2007.

Urgilés, Diana. *Inventario Del Ciclo de Vida Para La Determinación de La Energía Incorporada Y Las Emisiones de CO2 En El Proceso de Elaboración Del Bloque En Una Fábrica de Cuenca - Ecuador*. 2017, http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28601.

Uribe, Ricardo. *Costos Para La Toma de Decisiones*. Edited by McGraw- Hill, Primera ed, 2011.

Valenzuela, Claudia. *DETERMINACIÓN DEL COSTO UNITARIO, UNA HERRAMIENTA FINANCIERA EFICIENTE EN LAS EMPRESAS*. 2014, https://www.itson.mx/pacioli/ Pacioli-87-eBook%0A.

Vargas, Reinaldo. *ESTADO DE FLUJO DE EFECTIVO*. Vol. VIII, 2008, pp. 111–36, doi:ISSN: 1409-4746.

Vélez, Ignacio. *Decisiones de Inversión: Para La Valoración Finaciera de Proyectos Y Empresas*. 2013, doi:10.2307/j.ctv893hnj.

ANEXOS

ANEXO A

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO: Estudio correlacional entre la composición de bloques de mampostería con agregados de caucho reciclado y la rentabilidad de su línea de producción en la fábrica reencauchadora Rencavi.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEORICO	HIPÓTESIS	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES DEPENDIENTES E INDEPENDIENTES					DISEÑO DE INVESTIGACIÓN
				Variable	**Dimensiones**	**Unidades**	**Método de recolección de datos**	**Instrumentos de medición**	
GENERAL ¿Cómo se correlaciona la composición de un bloque de mampostería con agregados de caucho reciclado con la rentabilidad de la línea de producción?	**GENERAL:** Correlacionar la composición de un bloque de mampostería con agregados de caucho reciclado con la rentabilidad de la línea de producción	• Normativa local para la comercialización de bloques de mampostería • Acuerdo ministerial 098 para reciclaje de neumáticos fuera de uso • Formulación de bloques de mampostería elaborados con fibras de caucho. • Reciclaje de neumáticos usados • Layout • Características de la materia prima y maquinaria • Costos fijos, costos variables, costo unitario. • Proyección de ventas. • Umbral de rentabilidad y	**GENERAL** Existe una correlación entre la composición de un bloque de mampostería con agregados de caucho reciclado con la rentabilidad de la línea de producción						**Tipo de Investigación:** Aplicada **Diseño:** Experimental **Nivel:** Descriptiva Correlacional Explicativo E**nfoque:** Cuantitativo **MÉTODO DE INVESTIGACIÓN** El método de investigación aplicado será de carácter experimental, pues a partir de las variables independientes se buscará implementar una hipotética línea de producción.
ESPECIFICOS 1. ¿Cuáles son los parámetros iniciales que correlacionan la composición de un bloque de mampostería con agregados de caucho reciclado con la rentabilidad de la línea de producción? 2. ¿Qué técnica estadística permite establecer una correlación entre la composición de un bloque de mampostería con agregados de caucho reciclado con la rentabilidad de la línea de producción?	**ESPECÍFICOS:** 1. Determinar la función que correlaciona la composición de un bloque de mampostería con agregados de caucho reciclado con la rentabilidad de la línea de producción. 2. Modelar la correlación entre la composición de un bloque de mampostería con agregados de caucho reciclado con la rentabilidad de la línea de producción.		**ESPECÍFICOS:** 1. Existe una función que correlaciona la composición de un bloque de mampostería con agregados de caucho reciclado con la rentabilidad de su línea de producción. 2. Es posible modelar la correlación entre la composición de un bloque de mampostería con agregados de caucho reciclado con la rentabilidad de su línea de producción. 3. Existen efectos significativos entre la composición de un bloque de mampostería con agregados de	**Variables independientes**	Contenido de caucho	Gramos	Fuente secundaria: Literatura	Balanza	
					Relación agua/cemento	Adimensional	Fuente primaria: Productores de bloques. Fuente Secundaria: Publicaciones	Balanza	
					Morfología del caucho	Centímetros, micras	Fuente primaria: Análisis granulométrico	Tamiz y calibrador digital	
					Resistencia a la compresión	MPa	Fuente primaria: equipo de compresión	Máquina de ensayos de compresión	

3.¿Existen efectos significativos entre la composición de un bloque de mampostería con agregados de caucho reciclado con la rentabilidad de la línea de producción? .	3. Evaluar si existen efectos significativos entre la composición de un bloque de mampostería con agregados de caucho reciclado con la rentabilidad de la línea de producción	punto de equilibrio • Diseños experimentales • Precios de venta en el mercado. • Costos de producción y operación. • Disponibilidad del producto en el mercado. • TIR y VAN	caucho reciclado con la rentabilidad de su línea de producción.	**Variables dependientes**			Fuente secundaria: Literatura		
					Umbral de rentabilidad	Dólares	Fuente primaria: Consultas al personal experto en la producción de bloques y cálculos propios Fuente secundaria: Facturas	Hoja de cálculo	
				Variables de control y ruido					
				V.C Capacidad instalada Espacio físico disponible Disponibilidad agregado de caucho.					
				V.R Aumento de costos de la materia prima Destreza de los operarios Recesión económica del país					

ANEXO B

MODELOS DESCARTADOS EN EL ANÁLISIS DE SUPERFICE DE RESPUESTA

Análisis de Varianza (Modelo lineal + cuadrados)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	6	5,09396	0,84899	10,30	0,091
Lineal	4	5,05784	1,26446	15,35	0,062
%C	1	3,93276	3,93276	47,73	0,020
A/C	1	0,04235	0,04235	0,51	0,548
GC	2	1,08273	0,54136	6,57	0,132
Cuadrado	2	0,03613	0,01806	0,22	0,820
%C*%C	1	0,03476	0,03476	0,42	0,583
A/C*A/C	1	0,00137	0,00137	0,02	0,909
Error	2	0,16480	0,08240		
Total	8	5,25876			

Análisis de Varianza (modelo lineal + interacciones)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	5,22400	0,74629	21,47	0,165
Lineal	4	4,71636	1,17909	33,92	0,128
%C	1	3,93276	3,93276	113,15	0,060
A/C	1	0,00088	0,00088	0,03	0,900
GC	2	0,78273	0,39136	11,26	0,206
Interacción de 2 factores	3	0,16616	0,05539	1,59	0,514
%C*A/C	1	0,04053	0,04053	1,17	0,476
%C*GC	2	0,06269	0,03134	0,90	0,597
Error	1	0,03476	0,03476		
Total	8	5,25876			

Análisis de Varianza (modelo cuadrático completo)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	5,19744	0,74249	12,11	0,218
Lineal	4	5,01801	1,25450	20,46	0,164

%C	1	3,93276	3,93276	64,14	0,079
A/C	1	0,04235	0,04235	0,69	0,559
GC	2	1,04290	0,52145	8,50	0,236
Cuadrado	2	0,03613	0,01806	0,29	0,793
%C*%C	1	0,03476	0,03476	0,57	0,589
A/C*A/C	1	0,00137	0,00137	0,02	0,906
Interacción de 2 factores	1	0,10348	0,10348	1,69	0,418
%C*A/C	1	0,10348	0,10348	1,69	0,418
Error	1	0,06132	0,06132		
Total	8	5,25876			

ANEXO C

RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS BAJO EL DISEÑO EXPERIMENTAL DE TAGUCHI

Informe de ensayos NTE INEN 3066	Identificación de la muestra	AFB-5									
	Fecha de ensayo	01/04/2021									
Espécimen No.	Ancho (a)	Altura (h)	Longitud (l)	Espesor		Masa tal como se recibe (m)	Área		Carga máxima P(máx)	Resistencia a compresión	
				Cara (Ep)	Tabique (Et)		Bruta (Ag)	Neta (An)		Bruta	Neta
	mm	mm	mm	mm	mm	kg	mm²	mm²	N	MPa	MPa
1	120	201	400	24	25	9,87	48000	23104	114597	2,4	5,0
2	119	201	399	25	26	9,43	47481	22585	93358	2,0	4,1
3	120	200	400	26	26	9,56	48000	23104	113921	2,4	4,9
Promedio	120	201	400	25	26	9,62	47827	22931	107292	**2,2**	**4,7**

Informe de ensayos NTE INEN 3066	Identificación de la muestra	AFM-10									
	Fecha de ensayo	01/04/2021									
Espécimen No.	Ancho (a)	Altura (h)	Longitud (l)	Espesor		Masa tal como se recibe (m)	Área		Carga máxima P(máx)	Resistencia a compresión	
				Cara (Ep)	Tabique (Et)		Bruta (Ag)	Neta (An)		Bruta	Neta
	mm	mm	mm	mm	mm	kg	mm²	mm²	N	MPa	MPa
1	121	199	400	25	26	9,94	48400	23504	96747	2,0	4,1
2	121	201	399	25	26	9,73	48279	23383	87942	1,8	3,8
3	121	201	401	26	26	10,26	48521	23625	98585	2,0	4,2
Promedio	121	200	400	25	26	9,98	48400	23504	94425	**2,0**	**4,0**

Informe de ensayos NTE INEN 3066	Identificación de la muestra	AFA-15									
	Fecha de ensayo	01/04/2021									
Espécimen No.	Ancho (a)	Altura (h)	Longitud (l)	Espesor		Masa tal como se recibe (m)	Área		Carga máxima P(máx)	Resistencia a compresión	
				Cara (Ep)	Tabique (Et)		Bruta (Ag)	Neta (An)		Bruta	Neta
	mm	mm	mm	mm	mm	kg	mm²	mm²	N	MPa	MPa
1	119	199	399	26	24	10,18	47481	22585	65786	1,4	2,9
2	120	199	400	25	26	10,15	48000	23104	59781	1,2	2,6
3	120	201	400	24	26	10,23	48000	23104	59453	1,2	2,6
Promedio	120	200	400	25	25	10,19	47827	22931	61673	**1,3**	**2,7**

Informe de ensayos NTE INEN 3066	Identificación de la muestra	AG1M-5									
	Fecha de ensayo	30/03/2021									
Espécimen No.	Ancho (a)	Altura (h)	Longitud (l)	Espesor		Masa tal como se recibe (m)	Área		Carga máxima P(máx)	Resistencia a compresión	
				Cara (Ep)	Tabique (Et)		Bruta (Ag)	Neta (An)		Bruta	Neta
	mm	mm	mm	mm	mm	kg	mm²	mm²	N	MPa	MPa
1	121	200	399	26	26	9,95	48279	23383	88086	1,8	3,8
2	120	199	399	25	25	9,77	47880	22984	105028	2,2	4,6
3	120	200	401	25	24	9,23	48120	23224	85356	1,8	3,7
Promedio	120	200	400	25	25	9,65	48093	23197	92823	**1,9**	**4,0**

Informe de ensayos NTE INEN 3066	Identificación de la muestra	AG1A-10
	Fecha de ensayo	30/03/2021

Espécimen No.	Ancho (a)	Altura (h)	Longitud (l)	Espesor		Masa tal como se recibe (m)	Área		Carga máxima P(máx)	Resistencia a compresión	
				Cara (Ep)	Tabique (Et)		Bruta (Ag)	Neta (An)		Bruta	Neta
	mm	mm	mm	mm	mm	kg	mm²	mm²	N	MPa	MPa
1	120	201	400	26	26	9,7	48000	23104	85186	1,8	3,7
2	120	199	402	25	25	10,38	48240	23344	78996	1,6	3,4
3	120	200	401	24	25	9,68	48120	23224	77443	1,6	3,3
Promedio	120	200	401	25	25	9,92	48120	23224	80542	**1,7**	**3,5**

Informe de ensayos NTE INEN 3066	Identificación de la muestra	AG1B-15
	Fecha de ensayo	25/03/2021

Espécimen No.	Ancho (a)	Altura (h)	Longitud (l)	Espesor		Masa tal como se recibe (m)	Área		Carga máxima P(máx)	Resistencia a compresión	
				Cara (Ep)	Tabique (Et)		Bruta (Ag)	Neta (An)		Bruta	Neta
	mm	mm	mm	mm	mm	kg	mm²	mm²	N	MPa	MPa
1	121	200	401	25	24	10,48	48521	23625	58056	1,2	2,5
2	121	199	400	26	25	10,57	48400	23504	65643	1,4	2,8
3	120	200	401	25	24	10,62	48120	23224	74768	1,6	3,2
Promedio	121	200	401	25	24	10,56	48347	23451	66156	**1,4**	**2,8**

Informe de ensayos NTE INEN 3066	Identificación de la muestra	AG2A-5									
	Fecha de ensayo	25/03/2021									
Espécimen No.	Ancho (a)	Altura (h)	Longitud (l)	Espesor		Masa tal como se recibe (m)	Área		Carga máxima P(máx)	Resistencia a compresión	
				Cara (Ep)	Tabique (Et)		Bruta (Ag)	Neta (An)		Bruta	Neta
	mm	mm	mm	mm	mm	kg	mm²	mm²	N	MPa	MPa
1	120	199	400	25	26	9,9	48000	23104	81937	1,7	3,5
2	119	201	401	25	26	9,93	47719	22823	79779	1,7	3,5
3	120	201	400	26	26	10,06	48000	23104	99940	2,1	4,3
Promedio	120	200	400	25	26	9,96	47906	23010	87219	**1,8**	**3,8**

Informe de ensayos NTE INEN 3066	Identificación de la muestra	AG2B-10									
	Fecha de ensayo	23/03/2021									
Espécimen No.	Ancho (a)	Altura (h)	Longitud (l)	Espesor		Masa tal como se recibe (m)	Área		Carga máxima P(máx)	Resistencia a compresión	
				Cara (Ep)	Tabique (Et)		Bruta (Ag)	Neta (An)		Bruta	Neta
	mm	mm	mm	mm	mm	kg	mm²	mm²	N	MPa	MPa
1	121	200	399	25	26	10,03	48279	23383	74747	1,5	3,2
2	120	200	400	25	24	10,68	48000	23104	67692	1,4	2,9
3	120	199	400	26	26	10,45	48000	23104	63001	1,3	2,7
Promedio	120	200	400	25	25	10,39	48093	23197	68480	**1,4**	**3,0**

Informe de ensayos NTE INEN 3066	Identificación de la muestra	AG2M-15									
	Fecha de ensayo	23/03/2021									
Espécimen No.	Ancho (a)	Altura (h)	Longitud (l)	Espesor		Masa tal como se recibe (m)	Área		Carga máxima P(máx)	Resistencia a compresión	
				Cara (Ep)	Tabique (Et)		Bruta (Ag)	Neta (An)		Bruta	Neta
	mm	mm	mm	mm	mm	kg	mm²	mm²	N	MPa	MPa
1	120	201	401	26	26	10,71	48120	23224	43790	0,9	1,9
2	120	200	400	25	24	10,43	48000	23104	54934	1,1	2,4
3	120	200	401	24	25	10,61	48120	23224	47521	1,0	2,0
Promedio	120	200	401	25	25	10,58	48080	23184	48748	**1,0**	**2,1**

ANEXO D

ENSAYOS DE LAS MUESTRAS CONTROL SIN AGREGADO DE CAUCHO

Informe de ensayos NTE INEN 3066	Identificación de la muestra	SAB-0									
	Fecha de ensayo	22/03/2021									
Espécimen No.	Ancho (a)	Altura (h)	Longitud (l)	Espesor		Masa tal como se recibe (m)	Área		Carga máxima P(máx)	Resistencia a compresión	
				Cara (Ep)	Tabique (Et)		Bruta (Ag)	Neta (An)		Bruta	Neta
	mm	mm	mm	mm	mm	kg	mm²	mm²	N	MPa	MPa
1	120	200	400	25	25	9,47	48000	23104	107170	2,2	4,6
2	120	200	399	25	25	9,29	47880	22984	113678	2,4	4,9
3	119	199	400	24	25	9,55	47600	22704	111765	2,3	4,9
Promedio	120	200	400	25	25	9,44	47827	22931	110871	**2,3**	**4,8**

Informe de ensayos NTE INEN 3066	Identificación de la muestra	SAM-0									
	Fecha de ensayo	22/03/2021									
Espécimen No.	Ancho (a)	Altura (h)	Longitud (l)	Espesor		Masa tal como se recibe (m)	Área		Carga máxima P(máx)	Resistencia a compresión	
				Cara (Ep)	Tabique (Et)		Bruta (Ag)	Neta (An)		Bruta	Neta
	mm	mm	mm	mm	mm	kg	mm²	mm²	N	MPa	MPa
1	120	200	400	26	25	9,59	48000	23104	111867	2,3	4,8
2	119	201	401	25	24	10,01	47719	22823	110546	2,3	4,8
3	119	199	401	25	25	9,47	47719	22823	117456	2,5	5,1
Promedio	119	200	401	25	25	9,69	47813	22917	113290	**2,4**	**4,9**

Informe de ensayos NTE INEN 3066	Identificación de la muestra	SAM-0									
	Fecha de ensayo	22/03/2021									
Espécimen No.	Ancho (a)	Altura (h)	Longitud (l)	Espesor		Masa tal como se recibe (m)	Área		Carga máxima P(máx)	Resistencia a compresión	
				Cara (Ep)	Tabique (Et)		Bruta (Ag)	Neta (An)		Bruta	Neta
	mm	mm	mm	mm	mm	kg	mm²	mm²	N	MPa	MPa
1	120	199	400	25	24	9,97	48000	23104	116867	2,4	5,1
2	120	200	400	25	26	10,01	48000	23104	111564	2,3	4,8
3	120	200	399	26	24	9,91	47880	22984	113543	2,4	4,9
Promedio	120	200	400	25	25	9,96	47960	23064	113991	**2,4**	**4,9**

ANEXO E

ENSAYOS DE LOS EXPERIMENTOS ELEGIDOS CON AGREGADO DE CAUCHO ESTANDARIZADO

Informe de ensayos NTE INEN 3066	Identificación de la muestra	AFB-5
	Fecha de ensayo	28/07/2021

Espécimen No.	Ancho (a)	Altura (h)	Longitud (l)	Espesor		Masa tal como se recibe (m)	Área		Carga máxima P(máx)	Resistencia a compresión	
				Cara (Ep)	Tabique (Et)		Bruta (Ag)	Neta (An)		Bruta	Neta
	mm	mm	mm	mm	mm	kg	mm²	mm²	N	MPa	MPa
1	120	201	400	26	25	9,54	48000	23104	124109	2,6	5,4
2	121	200	400	26	25	9,88	48400	23504	103452	2,1	4,4
3	120	200	400	26	24	9,91	48000	23104	112709	2,3	4,9
4	120	200	401	26	24	9,74	48120	23224	107655	2,2	4,6
5	120	199	401	27	25	9,85	48120	23224	111351	2,3	4,8
Promedio	120	200	400	26	25	9,78	48128	23232	111855	**2,3**	**4,8**

Informe de ensayos NTE INEN 3066	Identificación de la muestra	AFM-10
	Fecha de ensayo	27/07/2021

Espécimen No.	Ancho (a)	Altura (h)	Longitud (l)	Espesor		Masa tal como se recibe (m)	Área		Carga máxima P(máx)	Resistencia a compresión	
				Cara (Ep)	Tabique (Et)		Bruta (Ag)	Neta (An)		Bruta	Neta
	mm	mm	mm	mm	mm	kg	mm²	mm²	N	MPa	MPa
1	120	201	401	25	25	9,78	48120	23224	94991	2,0	4,1
2	120	200	400	25	24	9,86	48000	23104	87371	1,8	3,8
3	121	200	400	26	25	10,01	48400	23504	89428	1,8	3,8
4	121	200	400	26	25	10,02	48400	23504	93546	1,9	4,0
5	120	200	400	26	24	9,96	48000	23104	95544	2,0	4,1
Promedio	120	200	400	26	25	9,93	48184	23288	92176	**1,9**	**4,0**

Informe de ensayos NTE INEN 3066	Identificación de la muestra	AG1M-5
	Fecha de ensayo	27/07/2021

Espécimen No.	Ancho (a)	Altura (h)	Longitud (l)	Espesor		Masa tal como se recibe (m)	Área		Carga máxima P(máx)	Resistencia a compresión	
				Cara (Ep)	Tabique (Et)		Bruta (Ag)	Neta (An)		Bruta	Neta
	mm	mm	mm	mm	mm	kg	mm²	mm²	N	MPa	MPa
1	121	199	400	26	25	9,52	48400	23504	88687	1,8	3,8
2	121	200	400	26	25	9,72	48400	23504	96660	2,0	4,1
3	120	201	400	25	25	9,45	48000	23104	102158	2,1	4,4
4	121	200	400	25	25	9,89	48400	23504	93621	1,9	4,0
5	120	201	400	26	24	9,67	48000	23104	104108	2,2	4,5
Promedio	121	200	400	26	25	9,65	48240	23344	97047	**2,0**	**4,2**

Informe de ensayos NTE INEN 3066	Identificación de la muestra	AG1A-10
	Fecha de ensayo	27/07/2021

Espécimen No.	Ancho (a)	Altura (h)	Longitud (l)	Espesor		Masa tal como se recibe (m)	Área		Carga máxima P(máx)	Resistencia a compresión	
				Cara (Ep)	Tabique (Et)		Bruta (Ag)	Neta (An)		Bruta	Neta
	mm	mm	mm	mm	mm	kg	mm²	mm²	N	MPa	MPa
1	120	201	400	26	25	10,16	48000	23104	75610	1,6	3,3
2	120	200	401	26	25	10,01	48120	23224	75197	1,6	3,2
3	121	200	400	26	25	9,98	48400	23504	76383	1,6	3,2
4	120	200	400	26	25	10,01	48000	23104	75610	1,6	3,3
5	120	200	400	26	24	9,84	48000	23104	80432	1,7	3,5
Promedio	120	200	400	26	25	10,00	48104	23208	76646	**1,6**	**3,3**