

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y
AGROINDUSTRIA**

**DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA FABRICACIÓN DE PANELES
DE YESO CON LA ADICIÓN DE PIEDRA PÓMEZ Y
POLIPROPILENO COMO MATERIALES ALTERNATIVOS**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
QUÍMICO**

LUIS ENRIQUE TAPIA BATALLAS
(luistapia562@yahoo.com)

DIRECTOR: ING. ERNESTO DE LA TORRE PhD.
(ernesto.delatorre@epn.edu.ec)

Quito, julio 2015

© Escuela Politécnica Nacional (2015)
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Luis Enrique Tapia Batallas, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Luis Enrique Tapia Batallas

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Luis Enrique Tapia Batallas, bajo mi supervisión.

Ing. Ernesto de la Torre Chauvin PhD.

DIRECTOR DEL PROYECTO

AUSPICIO

La presente investigación contó con el auspicio financiero del proyecto (DEMEX-PIS 01-10), que se ejecutó en el Departamento de Metalurgia Extractiva.

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser mi guía, mi fortaleza, mi soporte, mi refugio en tiempos difíciles, gracias Dios por permitir alcanzar un logro más en mi vida.

A mis padres Juan y Mónica, a mis hermanas Stefy y Liz, que siempre estuvieron ahí cuando me sentía perdido, gracias porque siempre me brindaron su cariño incondicional hacia mí, gracias por ser mi inspiración para salir adelante, gracias por no perder la fe en mí, en definitiva gracias por todo lo que son conmigo. Este también es su logro.

A mi amor Guisele, gracias por ser el apoyo infalible cuando más lo necesite, gracias por permitirme ser parte de tu vida, gracias por siempre tener la palabra, gesto perfecto para levantarme el ánimo, gracias por ser la persona que me da el empuje para salir adelante, gracias por comprenderme y apoyarme. Te agradezco por compartir mi alegría de este y muchos éxitos que vendrán juntos

A Ernesto, Alicia, por permitirme ser parte de esta linda familia DEMEX, por compartir conmigo sus conocimientos, y guiarme para lograr esta meta tan anhelada.

A mi querido DEMEX, por abrirme las puertas de su laboratorio para poder realizar los ensayos de este proyecto, y gracias a cada uno de los integrantes del Demex, Verito, Eve, Pauly, Kleber, Ely, Dianita, Isaac, Ale, Anilu, Wilmer que de una u otra manera me han ayudado cuando lo necesite.

A mis queridos amigos que me brindó la Poli, Caro, Andre, Chula, Miguicho, Chango, Paco, Chiky, Ricky, Acvd, Ale, Kary, Rommel, Susy, Marlon, Ñato, Lucho, Javy, Karlita, Iván y todos los compañeros de clase con los que tuvimos la oportunidad de pasar gratos momentos que quedaran grabados como lindos recuerdos de esta etapa que llega a su fin.

A mis amigos del MH, los MIJINES (Gato, Lucho, Negro, Washo, Peter, Andrés) que han sido más que amigos han sido como hermanos para mí, que siempre estuvieron ahí cuando lo necesite, gracias hermanos. De igual manera a mis otros amigos del MH Andrés, Kchi, Chino, Chumo, Santy, Cristian, John.

A mi tío Chalo por ser el causante de seguir esta carrera, gracias de corazón porque con tu impulso me ayudaste a encontrar la carrera perfecta para mí, que ahora puedo decir que disfruto lo que hago.

A mi mome, que con su llegada trajo mucha luz y dicha a la familia, que con su inocencia saca sonrisas sin parar, gracias por alegrarme la vida con tus locuras y hacer que los problemas sean más llevaderos.

DEDICATORIA

A Dios, a mi familia, a Guisele y a mis amigos que siempre han sido incondicionales para mí en todo momento.

Este trabajo tiene una dedicatoria especial para Fernando Layedra (+), sé que desde arriba disfrutarás este logro igual o más que yo. Para ti mi hermano.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	X
INTRODUCCIÓN	XII
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 Propiedades del yeso, piedra pómez y polipropileno	1
1.1.1 Propiedades del yeso	1
1.1.1.1 Tiempo de fraguado	3
1.1.1.2 Resistencia a la compresión	4
1.1.1.3 Clasificación del yeso	5
1.1.2 Propiedades de la piedra pómez	7
1.1.2.1 La porosidad	8
1.1.3 Propiedades del polipropileno	8
1.2 Procesos de elaboración de paneles prefabricados	11
1.2.1 Bloques de adobe de tierra cruda	12
1.2.2 Losas prefabricadas de concreto de alta resistencia	13
1.2.3 Tableros aglomerados de cáscara de arroz	13
1.2.4 Paredes armadas de poliestireno para paredes portantes	14
1.2.5 Paneles de cemento	14
1.2.6 Paneles prefabricados de yeso laminado	15
1.2.7 Prefabricados de Hormigón	16
1.2.8 Paneles de cerámica armada	17
1.2.9 Paneles prefabricados con material reciclado	17
1.3 Propiedades de paneles prefabricados	18
1.3.1 Ventajas y desventajas de los paneles prefabricados	21
1.3.1.1 Ventajas de los paneles prefabricados	21
1.3.1.2 Desventajas de los paneles prefabricados	22
2. PARTE EXPERIMENTAL	23
2.1 Caracterización física y química de la materia prima a utilizar y un panel comercial de yeso	25
2.1.1 Procedimiento de muestreo de materia prima	25
2.1.2 Caracterización física de la materia prima	25
2.1.2.1 Densidad aparente	25
2.1.2.2 Densidad real	26
2.1.2.3 Determinación del tamaño de partícula	27
2.1.2.4 Ensayos de tracción-deformación del polipropileno	28
2.1.3 Caracterización química de la materia prima	28
2.1.3.1 Determinación del potencial Hidrógeno (pH)	29
2.1.3.2 Determinación del contenido de elementos	29
2.1.3.3 Determinación de la humedad	29

2.1.3.4	Microscopia electrónica de barrido (MEB)	30
2.1.4	Caracterización mineralógica de la materia prima	30
2.2	Evaluación de la influencia de la adición de distintos porcentajes de piedra pómez sobre la resistencia a la compresión que presenta el panel	30
2.2.1	Ensayos para la evaluación de la resistencia a la compresión	32
2.2.2	Determinación del tiempo de fraguado	33
2.3	Evaluación de la influencia de la adición de polipropileno sobre la resistencia del panel yeso-piedra pómez	35
2.3.1	Adición del polipropileno en forma laminar	35
2.3.2	Adición del polipropileno en forma de fragmentos	36
2.4	Diagrama de flujo del proceso de fabricación de paneles yeso-piedra pómez-polipropileno y dimensionamiento de equipos	37
2.4.1	Diagrama de flujo del proceso de fabricación de paneles yeso-piedra pómez-polipropileno	37
2.4.2	Dimensionamiento de equipos	38
	2.4.2.1 Tanque de agua	38
	2.4.2.2 Silos de alimentación	38
2.5	Análisis de la pre factibilidad económica para la instalación de la planta	39
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
3.1	Resultados caracterización física y química de la materia prima a utilizar y un panel comercial de yeso	40
3.1.1	Resultados de la caracterización física de la materia prima	40
	3.1.1.1 Resultados de la determinación de la densidad real y aparente	40
	3.1.1.2 Resultados de la determinación del tamaño de partícula	41
	3.1.1.3 Resultados de los ensayos de tracción y deformación del polipropileno	43
3.1.2	Resultados de la caracterización química de la materia prima	44
	3.1.2.1 Resultados de la determinación del potencial Hidrogeno (pH)	44
	3.1.2.2 Resultados de la determinación del contenido de elementos por absorción atómica	45
	3.1.2.3 Resultados de la determinación de la humedad	47
3.1.3	Resultados de la caracterización mineralógica de la materia prima	48
	3.1.3.1 Difracción de rayos X	48
	3.1.3.2 Microscopia electrónica de barrido	49
3.2	Resultados de la evaluación de la influencia de la adición de distintos porcentajes de piedra pómez sobre la resistencia a la compresión que presenta el panel	50
3.2.1	Resultados de los ensayos para la evaluación de la resistencia a la compresión	58

3.2.2	Resultados de la determinación del tiempo de fraguado	61
3.3	Resultados de la evaluación de la influencia de la adición de polipropileno sobre la resistencia del panel de yeso-piedra pómez	62
3.4	Definición del diagrama de flujo del proceso de fabricación de paneles yeso-piedra pómez-polipropileno y dimensionamiento de equipos	63
3.4.1	Determinación del diagrama de flujo	63
3.4.2	Dimensionamiento de equipos	68
3.4.3	Distribución de equipos en planta	69
3.5	Resultados del análisis de la pre factibilidad económica para instalación de la planta	71
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
4.1	Conclusiones	78
4.2	Recomendaciones	80
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
	ANEXOS	87

ÍNDICE DE TABLAS

		PÁGINA
Tabla 1.1.	Composición química del yeso	1
Tabla 1.2.	Tipos de impurezas del yeso	2
Tabla 1.3.	Factores que influyen en el tiempo de fraguado	4
Tabla 1.4.	Propiedades para Yesos especiales	6
Tabla 1.5.	Clasificación de los yesos	6
Tabla 1.6.	Tipos de prefabricación	11
Tabla 1.7.	Composición de tierra para elaboración de abobes	12
Tabla 1.8.	Dimensiones de la loza prefabricada	13
Tabla 1.9.	Dimensiones de los paneles de cemento	15
Tabla 1.10.	Clasificación de paneles prefabricados	18
Tabla 2.1.	Composiciones para los paneles yeso-piedra pómez	32
Tabla 3.1.	Resultados de las densidades reales y aparentes	40
Tabla 3.2.	Resultados de los ensayos de tracción y deformación del polipropileno	43
Tabla 3.3.	Resultados de los ensayos de determinación de potencial Hidrógeno (pH) de las materias primas	45
Tabla 3.4.	Resultados del contenido de elementos por absorción atómica	46
Tabla 3.5.	Resultados de la determinación de la humedad	47
Tabla 3.6.	Resultados de difracción de rayos x	48
Tabla 3.7.	Observaciones de los paneles elaborados	53
Tabla 3.8.	Resistencia a la compresión de probetas con PP	62
Tabla 3.9.	Características de un panel elaborado	64
Tabla 3.10.	Condiciones de operación del tanque homogeneizador	64
Tabla 3.11.	Condiciones operativas de la agitación de mezclado	65

Tabla 3.12.	Condiciones operativas de la estufa en el área de secado	65
Tabla 3.13.	Costos por consumo de energía	65
Tabla 3.14.	Cantidades semanales de materias primas para producción	68
Tabla 3.15.	Dimensionamiento del tanque de agua	68
Tabla 3.16.	Dimensionamiento del tanque de homogeneizador	69
Tabla 3.17.	Dimensionamiento de los silos de alimentación	69
Tabla 3.18.	Maquinarias y Equipos	71
Tabla 3.19.	Herramientas menor	71
Tabla 3.20.	Activos Fijos	72
Tabla 3.21.	Insumos	72
Tabla 3.22.	Remuneraciones	73
Tabla 3.23.	Gastos	74
Tabla 3.24.	Capital de Trabajo	74
Tabla 3.25.	Ingresos y Egresos	75
Tabla 3.26.	Tasa mínima aceptable de retorno	76
Tabla 3.27.	TIR y VAN	77
Tabla AI. 1.	Ensayo de determinación relación Agua/Yeso	88
Tabla AI. 2.	Ensayo de escalado de la relación agua/yeso	89
Tabla AI. 3.	Ensayo de determinación de la densidad real de la materia prima	90
Tabla AI. 4.	Ensayo de determinación de la densidad aparente	90
Tabla AI. 5.	Ensayo de tiempo de fraguado para un panel de composición 90/10	91
Tabla AI. 6.	Ensayo de tiempo de fraguado para un panel de composición 80/20	92
Tabla AI. 7.	Ensayo de tiempo de fraguado para un panel de composición 70/30	93

Tabla AI. 8.	Ensayo de tiempo de fraguado para un panel de composición 60/40	94
Tabla AI. 9.	Ensayo de tiempo de fraguado para un panel de composición 50/50	95
Tabla AI. 10.	Ensayo de tiempo de fraguado en función de la temperatura	96
Tabla AI. 11.	Ensayo de elongación y carga a la rotura del polipropileno	97
Tabla AII. 1.	Análisis granulométrico de la piedra pómez	98
Tabla AIV. 1.	Características de catálogo de tanque de agitación	101
Tabla AIV. 2.	Características de catálogo del agitador	102
Tabla AIV. 3.	Características de la banda transportadora	103
Tabla AIV. 4.	Características de catálogo de la prensa hidráulica	104
Tabla AIV. 5.	Características de catálogo de la estufa	105

ÍNDICE DE FIGURAS

		PÁGINA
Figura 1.1.	Relación de compresión con densidad y agua de amasado	5
Figura 1.2.	Tipos de polipropileno	9
Figura 1.3.	Diagrama esfuerzo real- deformación del polipropileno	10
Figura 2.1.	Esquema de la metodología experimental seguida para la elaboración del panel	24
Figura 2.2.	Tamiz vibratorio con sistema de tamices	28
Figura 2.3.	Esquema de elaboración de los paneles	31
Figura 2.4.	Ensayo de compresión	33
Figura 2.5.	Etapas del tiempo del fraguado	35
Figura 2.6.	Panel con polipropileno laminar	36
Figura 2.7.	Panel con polipropileno en fragmentos	37
Figura 3.1.	Curva granulométrica del yeso	42
Figura 3.2.	Curva granulométrica de la piedra pómez	43
Figura 3.3.	Fotografía en MEB del yeso	49
Figura 3.4.	Fotografía en MEB de piedra pómez	50
Figura 3.5.	Panel yeso-piedra pómez con una composición 50/50	51
Figura 3.6.	Panel yeso-piedra pómez con una composición 70/30	52
Figura 3.7.	Resistencia a la compresión en función de la composición del panel	55
Figura 3.8.	Elaboración del panel yeso-piedra pómez con granulometría de 710 μm	56
Figura 3.9.	Resistencia a la compresión en función de la abertura de tamiz	57
Figura 3.10.	Probetas para ensayos de resistencia a la compresión	58

Figura 3.11.	Resistencia a la compresión con respecto a la composición del panel	59
Figura 3.12.	Resistencia a la compresión con respecto a la abertura de tamiz para la piedra pómez	60
Figura 3.13.	Resistencia a la compresión con respecto a la temperatura del agua	61
Figura 3.14.	Diagrama de bloques del proceso de fabricación de un panel de yeso-piedra pómez-polipropileno	66
Figura 3.15.	Diagrama PFD de la planta para la fabricación de paneles de yeso-piedra pómez-polipropileno	67
Figura 3.16.	Vista interior de una planta para la fabricación de paneles de yeso-piedra pómez-polipropileno	70
Figura AIII. 1.	Difractograma del yeso	100
Figura AIII. 2.	Difractograma de la piedra pómez	100
Figura AIV. 1.	Tanque con agitación mecánica	101
Figura AIV. 2.	Agitador con aspas	102
Figura AIV. 3.	Banda transportadora	103
Figura AIV. 4.	Prensa Hidráulica	104
Figura AIV. 5.	Estufa con aire forzado	105
Figura AV. 1.	Tanque de agua	106
Figura AV. 2.	Tanque homogeneizador	106
Figura AV. 3.	Silo de alimentación piedra pómez	107

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO I Fichas técnicas de caracterización.	88
ANEXO II Determinación de la granulometría de la piedra pómez y el yeso.	98
ANEXO III Difractogramas del yeso y piedra pómez.	100
ANEXO IV Características y catálogos de los equipos	101
ANEXO V Dimensionamiento de equipos	106

RESUMEN

La prefabricación como método alternativo de construcción es una de las soluciones a los problemas de vivienda que se presentan a nivel mundial. Los paneles prefabricados brindan muchas ventajas tanto al cliente como al constructor. Su principal beneficio es el bajo costo de producción en función de la cantidad de paneles elaborados y material empleado.

En el presente trabajo se busca encontrar las mejores condiciones para elaborar paneles de yeso, con la variación de incorporar materiales alternativos como la piedra pómez y el polipropileno para reducir los costos de producción sin perder las propiedades del panel, con este objetivo se realizaron varios ensayos.

La primera parte del trabajo consistió en la caracterización de la materia prima, se logró determinar granulometrías del yeso y piedra pómez, pH, porcentaje de humedad, para el caso del polipropileno se caracterizó mediante un ensayo tracción-deformación, con el fin de demostrar su influencia en las propiedades del panel elaborado con estos materiales.

A partir de la caracterización de las materias primas, se elaboraron paneles, en los cuales se evaluaron parámetros como: adición de piedra pómez, granulometría de la piedra pómez, temperatura del agua y forma de la adición de polipropileno. Las mejores condiciones encontradas de estos parámetros son contenido de yeso de un 70 % y de piedra pómez de un 30 %, tamaño de partícula de la piedra pómez de 355 μm , temperatura del agua de 20 ° C, forma laminar del polipropileno que permiten elaborar un panel que cumpla con los estándares de la norma que los rige ASTM 1396.

Para la evaluación del cumplimiento del panel con la norma se realizaron ensayos de compresión a probetas de 5 cm de arista elaboradas con las mejores condiciones encontradas. La resistencia a la compresión que presenta el panel es de 350.75 KPa.

Posteriormente, seleccionada la formulación para la elaboración de los paneles yeso-piedra pómez-polipropileno, se diseñó un diagrama de flujo y la distribución de equipos con el fin de implementar una planta de fabricación de paneles con una capacidad de 100 kg/día. La inversión inicial del proyecto es de \$ 72 371,67 que de acuerdo a los indicadores económicos (TIR = 11,60 % y VAN = \$ 23 185), indican que el proyecto es viable y produce ganancias, en función del capital de trabajo inicial.

INTRODUCCIÓN

El yeso ha sido empleado como material para la construcción desde el siglo XVII, el cual se empleaba como elemento ornamental para la decoración de edificaciones. A finales del siglo XIX, el yeso fue incorporado en la arquitectura civil como elemento para la decoración de interiores debido a la producción de placas de yeso laminado.

Para la albañilería interior y decoración, los paneles de yeso laminado se han convertido en material indispensable gracias a las ventajas que presenta como la rapidez de instalación, ligereza y versatilidad. (Merino, 2004, p. 53).

El uso del yeso en las diferentes industrias, como las actividades de la construcción, requiere una granulometría ultra fina en especial cuando se emplea como suplemento en la cementación. (Deniz, 2011, p. 447).

La zona sur del país, en el sector de Malacatos y Bramaderos de la Provincia de Loja se encuentra la mayor explotación de yeso del país, lo que cubre parcialmente las necesidades de la industria cementera y la construcción (Calvo, Gajardo, Maya, Proaño y Jarrín, 2000, p. 280).

Chile, Brasil, China, México, Estados Unidos son países de los cuales Ecuador requiere importar yeso fraguable para la elaboración de sus productos. Ecuador importó 47 101,34 t de yeso fraguable desde el año 2009 hasta el año 2012, con un costo total de 5 813 780 USD, en el año 2012 disminuyó la importación en un 7 % respecto al año 2011, pero su costo aumento en un 2 % (Banco Central Del Ecuador, 2012).

La composición de un panel de yeso comercial generalmente consiste de 70 % de su volumen en aire y 30 % de este volumen son las burbujas de aire que se incorporan al panel, por lo que se produce una disminución en la resistencia del mismo. Para compensar esta incorporación de burbujas de aire se debe adicionar elementos livianos como agentes aligerantes (González, 2005, p. 108).

La piedra pómez es considerada como un agregado natural ligero, que puede ser mezclado con el yeso para la elaboración de paneles de yeso laminado que presentan mejoras en sus propiedades térmicas, acústicas y de ligereza (Şahin y Karaman, 2012, p. 52).

Ecuador posee una de las diez reservas más grandes del mundo de piedra pómez que se encuentran ubicadas a lo largo del callejón interandino. La piedra pómez que se localiza en su mayor parte en la Provincia de Cotopaxi, presenta una estructura porosa, por lo que se emplea para aliviar bloques. La piedra pómez debe ser utilizada en una mayor cantidad para la producción de hormigones y paneles, como solución al problema de vivienda que presenta el país (Paladines, 2005, pp. 148 -149).

El aligeramiento de un panel se produce al incrementar la porosidad del material, pero también se puede aligerar la placa mediante la adición de fibras de polipropileno. Las fibras de polipropileno incrementan la resistencia a la flexión del panel, que tiene un efecto favorable en el riesgo de roturas de la placa (García, 2009, pp. 106,107).

El presente trabajo busca aportar con una nueva composición para la elaboración de paneles de yeso-piedra pómez-polipropileno, con el principal objetivo de incorporar la piedra pómez y el polipropileno en la composición del panel. Este estudio pretende mantener y mejorar las características de los paneles de yeso que actualmente se encuentran en el mercado.

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En este capítulo se describen las propiedades de las materias primas que se emplean para la elaboración de los paneles de yeso-piedra pómez-polipropileno obtenidas de la investigación bibliográfica. Adicionalmente se menciona sobre procesos empleados para la elaboración de paneles prefabricados.

1.1 PROPIEDADES DEL YESO, PIEDRA PÓMEZ Y POLIPROPILENO

1.1.1 PROPIEDADES DEL YESO

El sulfato de calcio (CaSO_4) se encuentra en la naturaleza bajo dos formas principales: sulfato de calcio bihidratado, piedra de yeso o algez ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y el sulfato de calcio anhidro o anhidrita (CaSO_4) (Llistosella, Borrell, López y Martorell, 2004, vol. 20, p.15 905).

En la Tabla 1.1, se presenta la composición química del yeso.

Tabla 1.1. Composición química del yeso

Compuesto Químico	Fórmula	Porcentaje (%)
Oxido de Calcio	CaO	32,6
Anhidrido Sulfurico	SO ₃	46,5
Agua	H ₂ O	20,9

(Llistosella et al, 2004, vol. 20, p.15905)

La anhidrita tiene una dureza de 3 a 3,5 Mohs y estructura compacta, viene acompañada de algez. Su color es blanco dependiendo su color de la cantidad de impurezas. Expuesta a la intemperie se transforma en algez, y adquiere rápidamente $\frac{1}{4}$ de su peso de agua (Yilmaz y Civelekoglu, 2009, p. 168).

El algez o piedra de yeso es más ligero y menos duro, tiene poca cohesión, el yeso comercial corresponde a una mezcla seca de conglomerante y conglomerado por lo que solo presenta en un 50 a 60 % de sulfato puro de calcio semihidratado, y el resto corresponde a las materias inertes. Debido a la presencia de materias inertes para conformar una mezcla solo se necesita de agua.

El yeso más comúnmente se utiliza en la industria de la construcción es el yeso que corresponde al sulfato de calcio semihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) que se obtiene mediante la deshidratación parcial al fuego del algez o piedra de yeso, también es conocido como yeso industrial (Garg y Jain, 2010, p. 1 633)

Por lo general, el yeso se encuentra acompañado de compuestos de carbonato de calcio (CaCO_3), arena, pirita (FeS_2), óxido de hierro (Fe_2O_3), la presencia de estas impurezas no tienen efectos negativos en sus propiedades como en tiempo de fraguado siempre y cuando no alcancen altos niveles (Llistosella et al, 2004, vol. 20, p.15 906).

En su gran mayoría los depósitos o minas de yeso tienen mayoritariamente la presencia de yeso y anhidrita, pero también hay presencia de impurezas variadas que por lo general son arcillas, cuarzos, calcitas, algunos boratos, celestita, en función de las impurezas se les puede clasificar según se indica en la Tabla 1.2 (Ponce y Torres, 2004, p. 451).

Tabla 1.2. Tipos de impurezas del yeso

Tipo de Impureza	Ejemplos
Insolubles o relativamente solubles	Calizas, Dolomita, arcillas
Minerales evaporíticos solubles	Halita, Silvita, Mirabilita, Epsomita
Hidratados	Arcillas montmorilloníticas

(Ponce y Torres, 2004, p. 451)

La calidad y las propiedades de los yesos dependen de muchas variables, de las cuales se puede mencionar:

- Pureza en su composición
- El grado de selección
- Condiciones de temperatura y tiempo de cocción

El yeso debe cumplir con el 70 % de la pureza para que se pueda emplear en la fabricación de paneles (Norma INEN NTE 1 685, 2010, p.1).

Se debe considerar ciertas propiedades de los yesos como las siguientes:

- Material conglomerante
- Buena adherencia
- Fraguado rápido y modificable
- Propiedades aislantes
- Baja transferencia de calor
- Bajo peso
- Bajo costo de producción
- Elemento poroso de baja conductividad

Dentro de este tipo de propiedades se considera de vital importancia el tiempo de fraguado, debido a que es un parametro que controla la calidad del yeso.

1.1.1.1 Tiempo de fraguado

Un parámetro importante del yeso que se debe considerar para la selección es el tiempo de fraguado, por sus variaciones en función del tipo y pureza del mismo. El fraguado es el endurecimiento por cristalización de la pasta maleable formada de yeso con agua, cuya velocidad depende de la cantidad de agua y tiempo de mezclado (Retallack y Storer, 2012, p. 8).

El tiempo de fraguado depende directamente de la relación agua/yeso, la misma que influye sobre la distribución granulométrica de los cristales, para la formación

de morfologías planas y determinar la capacidad de fraguado (Sanz y Villanueva, 2004, p.48).

El tamaño de partícula, tipo de yeso, relación agua/yeso, temperatura son factores que afectan directamente al tiempo de fraguado, las afectaciones se presentan en la Tabla 1.3 (Manias, Storer, y Retallack, 2002, p. 7).

Tabla 1.3. Factores que influyen en el tiempo de fraguado

Factor	Afectación
Tamaño de partícula	A menor tamaño de partícula, el tiempo de fraguado disminuye
Tipo de yeso	El yeso que no ha sido calcinado totalmente, por la presencia de dihidratos, disminuye el tiempo de fraguado
Temperatura del agua	A mayor temperatura del agua el polvo yeso tiende a deshidratarse, por lo que se considera un rango de 20 a 37 °C, para disminuir el tiempo de fraguado
Relación agua/yeso	A mayor cantidad de agua, el tiempo de fraguado aumenta

(Manias, Storer, y Retallack, 2002, p. 8)

1.1.1.2 Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión está relacionada con algunas propiedades del yeso como: composición, finura, naturaleza, relación agua/yeso, que se puede afectar en función de la incorporación de aditivos o nuevos materiales. (Llaurado, 2011, p. 24).

La resistencia a la compresión se relaciona directamente con la densidad de la masa fraguada. Por otra parte, la relación agua/yeso tiene una relación inversa, el mantener relaciones directas e inversas de propiedades que involucran al agua de preparación de las probetas, puede generar errores en la determinación de la resistencia a la compresión (Cáceres, 2000, p. 18).

En la Figura 1.1 se muestra las curvas de relación entre la compresión con la densidad, agua de amasado.

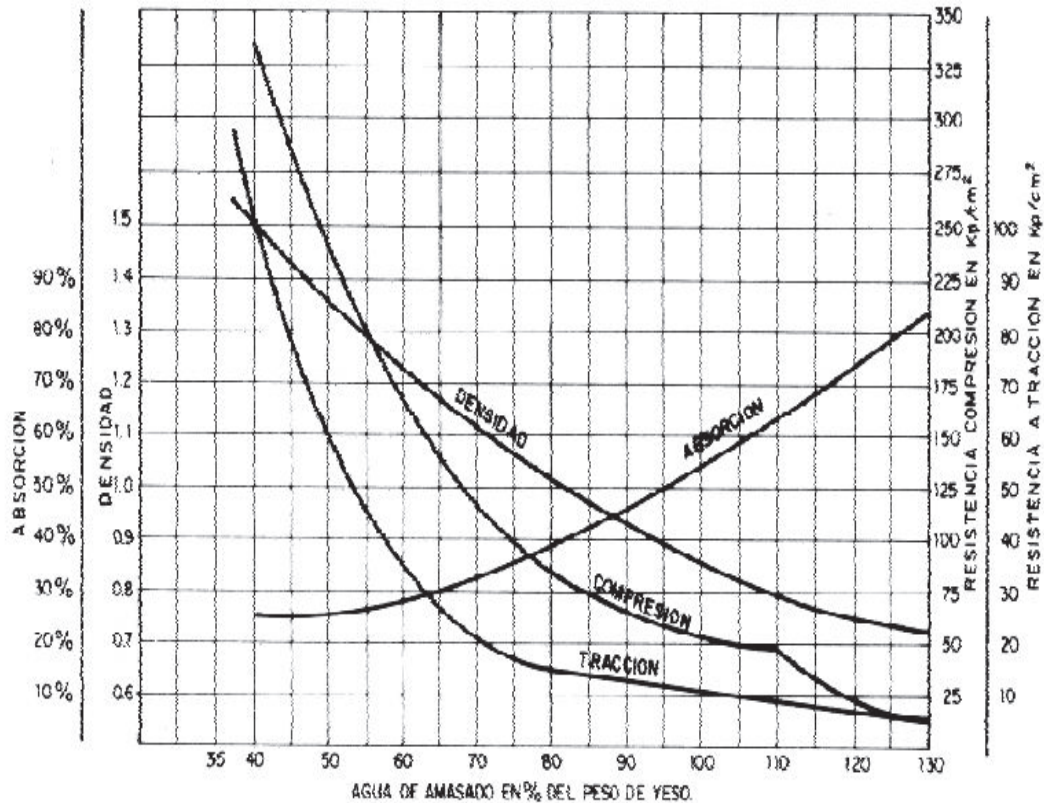


Figura 1.1. Relación de compresión con densidad y agua de amasado (Cáceres, 2000, p. 19).

1.1.1.3 Clasificación del yeso

El yeso puede presentar varias clasificaciones de acuerdo a su aplicación, que se pueden considerar como yesos especiales a los yesos aligerados (YA), yesos de alta dureza (YD), yesos de terminación (YE/T), yeso de construcción de proyección mecánica (YPM), yeso de proyección mecánica de alta dureza (YPM/D), yeso de proyección mecánica aligerado (YPM/A), las características de estos yesos se muestran en la Tabla 1.4 (González, 2005, p. 102).

Tabla 1.4. Propiedades para Yesos especiales

Designación	YA	YD	YE/T	YPM	YPM/D	YPM/A
Índice de pureza (%)	> 50	> 50	> 50	> 50	> 50	> 50
Tiempo de principio de fraguado (min)	> 20	> 20	> 50	> 50	> 50	> 50
pH	> 6	> 6	> 6	> 6	> 6	> 6
Densidad aparente (kg/m³)	< 800	> 800	--	> 800	> 800	< 800

(González, 2005, p. 102).

Se tiene otras clasificaciones para el yeso que presentan otro tipo de catalogación o designación del yeso, en la Tabla 1.5 se muestra la clasificación que pueden tener los yesos según la norma UNE EN 13279-1:2009

Tabla 1.5. Clasificación de los yesos

Designación	Identificación
Conglomerante a base de yeso	A
<ul style="list-style-type: none"> • Para uso directo o para su transformación • Empleo directo en la obra • Transformación en paneles de yeso laminado 	A1 A2 A3
Yeso para la construcción	B
Yeso de construcción	B1
Mortero de yeso	B2
Yeso de construcción aligerado	B4
Mortero aligerado de yeso	B5
Yeso para aplicaciones especiales	C
Yeso para trabajos con staff	C1
Yeso para morteros de agarre	C2

(Norma UNE EN 13279-1:2009, 2009, p.7)

1.1.2 PROPIEDADES DE LA PIEDRA PÓMEZ

La piedra pómez tiene un origen volcánico (piroclastos), en el cual, existe una presencia mayoritaria de sílice y alumina en su composición, con porcentajes de SiO₂ de 70 % y Al₂O₂ de 13 %. La piedra pómez es un mineral poroso por lo que su densidad se encuentra entre 0,4 y 0,9 g/cm³ (Llistosella et al, 2004, vol. 20, p.12146).

La piedra pómez se considera como un mineral no metálico de bajo costo, razón por la cual se emplea en la elaboración de cemento, además se utiliza como un agregado natural ligero, que contribuye con un mejoramiento de las propiedades térmicas, acústicas y de ligereza (Şahin y Karaman, 2012, p.52)

El empleo de la piedra pómez como agregado en materiales de construcción es una alternativa de solución al problema de vivienda que presenta el país, debido a las reservas de piedra pómez que posee el Ecuador ubicadas principalmente en el región de la Sierra central. La piedra pómez puede ser empleada para aliviar los materiales(United States Geological Survey, 2011, p. 11,3).

El país presenta una baja exportación de piedra pómez, y tiene como destino únicamente países latinoamericanos como Chile, Colombia, Uruguay, que no tiene una incidencia mayoritaria en comparación con las cantidades que se importan y exportan a nivel mundial (PROECUADOR, 2012, p. 7).

El uso de la piedra pómez como sustituto en los materiales de construcción se ha incrementado en los últimos tiempos gracias a las ventajas que presenta como la reducción de costos, incremento de la resistencia química y reducción de la emisión de CO₂, pero también presenta una desventaja que es disminución de la resistencia mecánica del panel, por lo que se debe encontrar la dosificación adecuada en función del tipo del panel que se va a elaborar, para que las características del producto final no sean alteradas y poder tener una buena aceptación en el mercado (Tapan, Depci, Özvan, Tugba, y Oyan, 2013, p. 1695).

La piedra pómez posee características como la porosidad que influye directamente en la resistencia a la compresión, densidad.

1.1.2.1 La porosidad

La porosidad de la piedra pómez es un limitante al comparar su resistencia con otros agregados convencionales como ceniza de cascarilla de arroz, poliestireno expandido para aligerar los materiales, se considera que una masa porosa posee menores resistencias mecánicas comparada con una masa compacta, además que se relaciona directamente con el tiempo de fraguado. De esta manera, a mayor porosidad de la piedra pómez, se tiene menor compacidad, densidad y resistencia (Arce Pezo, 2000, p.25).

De acuerdo a la porosidad que presenta la piedra pómez varían ciertas propiedades, a consecuencia que la granulometría y el tamaño de poro es muy variable, por lo que las propiedades mecánicas cambian notablemente de un yacimiento a otro (Ismail, Elmaghraby, y Mekky, 2013, p. 1469).

1.1.3 PROPIEDADES DEL POLIPROPILENO

El polipropileno es un polímero termoplástico de cadena literal perteneciente al grupo olefínico, de manera general este grupo se basa en la polimerización del etileno ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$), en la Figura 1.2, se indican los tipos de polipropileno que se pueden formar (Llistosella et al, 2004, p. 12381).

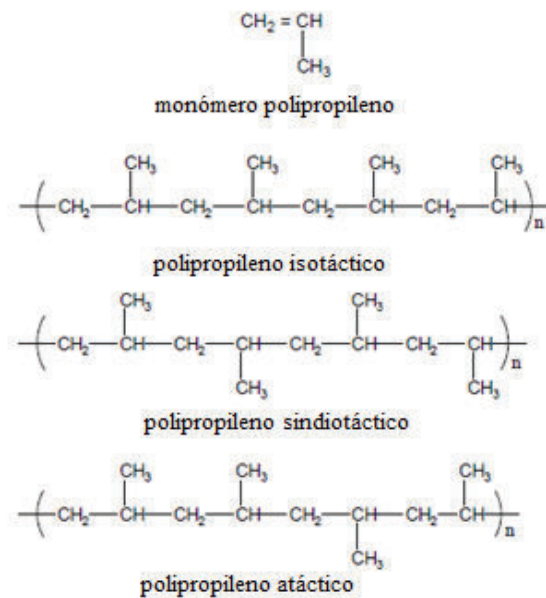


Figura 1.2. Tipos de polipropileno

El polipropileno es uno de los plásticos nuevos que se producen en grandes cantidades, debido a que es un polímero ligero y su excelente cristalinidad. El costo de producción respecto a otros polímeros como el polietileno de alta densidad (HDPE) es más costoso pero se justifica debido a la facilidad de procesamiento por lo que presenta una alta dureza, fuerza tensil y rigidez (Karian, 2003, p. 265).

Por su cristalización que presenta el polipropileno, en un 65 % del polímero se forman zonas cristalinas y ocasiona una pérdida de movilidad molecular que favorece una mejora en las condiciones de tenacidad y resistencia, además estas zonas permiten que las temperaturas de trabajo del polipropileno se encuentren en el orden de los 100 ° C, el encontrarse en este orden beneficia las propiedades termoplásticas y tenacidad por la formación de zonas amorfas (Oliver, 2009, p. 112).

En función del aumento del peso molecular del polímero, la cohesión es mayor, por tal motivo la resistencia al impacto que presenta el polipropileno es mayor (Aghazadeh, Sangghaleh, Nazari, y Purjavad, 2011, p. 1621)

El aligeramiento de un panel se produce con un incremento de la porosidad el material, con el fin de optimizar la porosidad del material, y a su vez tener una placa ligera se adiciona fibras de polipropileno, las fibras de polipropileno mejoran la resistencia a la flexión del panel, que tiene un efecto favorable en el riesgo de roturas de placa.

El mantener una optimización tanto de la porosidad como la resistencia a la flexión del panel, se refleja notablemente en el costo de producción del panel, además que las condiciones de los paneles comerciales se mantienen (Serhat y Kahraman, 2011, p. 3329).

Las fibras de polipropileno agregadas a una mezcla de yeso, mejora las propiedades mecánicas, porque se genera un refuerzo entre la matriz y la fibra durante la fractura. El efecto más importante que genera la adición de polipropileno a una mezcla de yeso es la acción de las fibras como ligamentos de las partículas, lo que ocasiona que la energía a emplear para la rotura aumente (Gencel, del Coz, Sutcu, y Koksak, 2014, p. 138).

En la Figura 1.3, se muestran las curvas del esfuerzo real y deformación de los diferentes tipos de polipropileno.

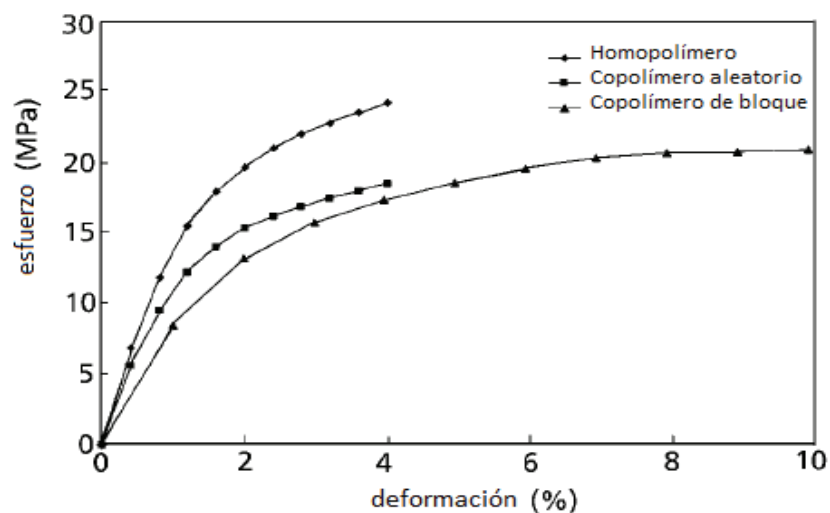


Figura 1.3. Diagrama esfuerzo real- deformación del polipropileno

1.2 PROCESOS DE ELABORACIÓN DE PANELES PREFABRICADOS

En la actualidad existen modernos métodos de construcción que brindan un manejo rápido del material y se tiene como resultados un producto eficiente, uno de los métodos que más se emplea es la prefabricación.

Los tipos de prefabricación se pueden clasificar con consideraciones de uso, distribución y montaje, esta clasificación se presenta en la Tabla 1.6 (Pérez y Ochoa, 2006, p. 37).

Tabla 1.6. Tipos de prefabricación

	Ligera	Mediana	Pesada
Uso	decorativo y arquitectónico	Aplicaciones estructurales y decorativas	Aplicaciones en superestructuras
Distribución	Camionetas	Camiones	Transporte especializado
Montaje	Manual	Requieren de 4 personas	Montaje especializado industrial

(Pérez y Ochoa, 2006, p. 37).

La prefabricación es un proceso de manufactura que presenta una facilidad para unir varios materiales y generar un componente para una instalación final. En el ámbito de la construcción, la prefabricación se considera como el primer nivel de la industrialización, luego aparecen la mecanización, automatización, robotización (Li, Shen, y Xue, 2014, p. 241).

La prefabricación basa su desarrollo en procesos de tipo industrial para asegurar las ventajas en sus productos finales que con otros métodos no es posible alcanzar como son bajo costo general y de mantenimiento, calidad en los acabados y una gran rapidez de construcción, todo lo cual permite una eficiente y pronta optimización del capital que se invierte en este tipo de construcción (Pérez y Ochoa, 2006, p. 36).

Los paneles prefabricados reemplazan a la construcción convencional de concreto in-situ, el empleo de paneles prefabricados alivia los adversos que se presentan con la construcción convencional (Li et al., 2014, p. 243).

Existen varios tipos de formas de elaborar un panel prefabricado, depende del material con el que se va a trabajar, lo que implica productos con diferentes calidades.

A continuación se describen algunos tipos de procesos para la elaboración de paneles prefabricados.

1.2.1 BLOQUES DE ADOBE DE TIERRA CRUDA

Son bloques que se forman con cantidades de tierra, agua y cemento que se someten a una prensa, para una mejor compactación. El secado de este tipo de materiales se da al aire libre, hasta que el bloque se endurezca. Es un proceso de bajo costo tanto en producción como en transporte, no requiere de consumo de energía en el proceso y la materia prima es de fácil acceso, pero tiene como restricción que antes de su instalación se debe tomar en cuenta el tipo de clima del sector (Colavidas, Oteiza, y Salas, 2006, p. 264). Para una mejor calidad del bloque es conveniente que la tierra que se ocupa como materia prima se ajuste a la composición que se muestra en la Tabla 1.7.

Tabla 1.7. Composición de tierra para elaboración de abobes

Elemento	Porcentaje (%)
Arcilla	10 - 20
Sílice	10 - 20
Arena	50 - 70

(Colavidas et al., 2006, p. 264).

1.2.2 LOSAS PREFABRICADAS DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

Uno de los principales requerimientos que debe tener el terreno es una arquitectura regular para poder aplicar este tipo de paneles prefabricados.

Son losas horizontales prefabricadas de concreto y columnas de concreto reforzado con una sección de 13x13 cm, con varias tipo de longitudes de 2,70, 3,30 y 3,80 m. Las columnas tienen canales donde las losas se colocan para formar la pared, se puede emplear para formar duchas, realizar cableados eléctricos. Las dimensiones de la losa se presentan en la Tabla 1.8 (Lascano y Salazar, 2002, p. 29).

Tabla 1.8. Dimensiones de la losa prefabricada

	Ancho (m)	Largo(m)
Losas prefabricadas de concreto de alta resistencia	0,5	0,5
		0,75
		1
		1,25
		1,5
		1,75
		2

(Lascano y Salazar, 2002, p. 29).

1.2.3 TABLEROS AGLOMERADOS DE CÁSCARA DE ARROZ

Son tableros constructivos contruidos con materiales reciclados, en los que se agregan desechos orgánicos procedentes de la industria alimenticia como la cáscara de arroz.

La materia prima que se emplea para este tipo de paneles se puede conseguir de manera gratuita o a bajo precio por motivo que son considerados como desechos para otras industrias. Estos paneles elaborados con materiales reciclados hacen que sean livianos y de alta porosidad, lo que da como resultado un panel de bajo costo de producción. La técnica que se utiliza es sencilla, fácilmente reproducible por personal que no tenga el conocimiento técnico del proceso (Caicedo y Parra, 2010, p. 7).

1.2.4 PAREDES ARMADAS DE POLIESTIRENO PARA PAREDES PORTANTES

Para la elaboración de estos paneles se utiliza dos mallas de alambre de acero que contienen placas de poliestireno expandido de alta densidad, que brinda propiedades de aislamiento térmico y acústico. Durante la instalación se debe aplicar una capa de mortero de cemento y arena con una relación de 1:3.

Las dimensiones de estas paredes se pueden ajustar de acuerdo a los requerimientos del proyecto, y se puede emplear en losas, techos o como refuerzos de acuerdo al proyecto (Lascano y Salazar, 2002, p. 30).

1.2.5 PANELES DE CEMENTO

Los paneles de cemento se utilizan en la construcción para dar una base con mayor resistencia e incrementar la impermeabilidad de los azulejos, de la misma manera, se emplean para recubrimientos de piedra en baños. Su composición permite que el panel se emplee como sustrato resistente al fuego, por lo que son una buena alternativa para la construcción gracias a la facilidad de aplicación (Leavitt, Johnstone, Lieske y Shaeffer, 2000, p. 147).

Los paneles de cemento están compuestos de un núcleo de cemento portland, que es resistente a la penetración de agua, y están recubiertos por dos mallas de fibra de vidrio polimerizada (Leavitt et al, 2000, p. 148).

Los paneles se fabrican en varias dimensiones para facilitar el manejo y evitar varios cortes durante la instalación, como se indican en la Tabla 1.9

Tabla 1.9. Dimensiones de los paneles de cemento

Tipo	Espesor (cm)	Ancho (cm)	Longitud (cm)
Panel de Cemento	1,27	81,28	152,40
		91,44	121,92
			152,40
			182,88
			243,84
Panel de cemento para exteriores	1,27	121,92	243,84
	1,59		243,84
Base para pisos	0,79	121,92	121,92
		91,44	152,40

(Leavitt et al, 2000, p. 149)

1.2.6 PANELES PREFABRICADOS DE YESO LAMINADO

Los paneles de yeso son utilizados en construcciones residenciales, comerciales e industriales, así como también se emplean para la división de interiores como paneles de partición (Aghazadeh et al., 2011, p. 1619).

El empleo mayoritario actualmente de este tipo de paneles es por sus características que presenta como:

- Ligereza del panel
- Bajo costo
- Fuente amplia de obtención de paneles
- Facilidad de aplicación.

El panel de yeso comúnmente se constituye de una mezcla entre una solución de yeso calcinado (conocido también como stucco), agua y aditivos en una pequeña cantidad. Como resultado de la reacción de esta mezcla se obtiene el panel de yeso, que se somete a un proceso de secado para eliminar el exceso de agua del panel de yeso (Mirza, 2000).

La fabricación de los paneles de yeso laminado se compone de varias etapas, que modifican las propiedades óptimas del yeso, las etapas son:

- Reducción de tamaño del yeso
- Calcinación
- Elaboración de paneles

En la etapa de elaboración de paneles, se agregan los aditivos para mejorar o retomar las propiedades del yeso, una vez que se genera la mezcla pastosa, se coloca en los moldes para dar inicio al fraguado, depende de los aditivos que se incorpora en la mezcla, el tiempo de fraguado será mayor o menor. Para asegurar un retiro de toda la cantidad de agua es común que los paneles se sometan a un proceso de secado, y logra favorecer las propiedades mecánicas del panel (Merino, 2004, p. 175).

Los paneles de yeso presentan como principal ventaja que se pueden realizar trabajar en seco, con una mayor versatilidad para detalles en el interior de las construcciones. El proceso de secado le permite al panel obtener propiedades mecánicas estables (Placo, 2013, p 46,48).

1.2.7 PREFABRICADOS DE HORMIGÓN

Para la elaboración de estos paneles se utilizan moldes de metal con el fin de que su uso sea intensivo y de larga duración. Estos moldes son de fácil transportación, almacenamiento en pilas y de peso ligero. El material que se emplea para estos paneles son: cemento, áridos y armadura.

Son paneles de fácil instalación que con conocimientos básicos de albañilería el usuario puede realizar sin mayor dificultad y de manera rápida, una de las ventajas que presenta es el que no requieren de mucho mantenimiento, debido a que el hormigón no es propenso a presentar corrosión en su superficie (Colavidas et al., 2006, p. 266).

Una variante a este tipo de paneles prefabricados de hormigón son paneles aligerados de hormigón, el mismo que utiliza una losa hueca multitubular pretensada. La producción de estos paneles prefabricados se realiza en pistas planas, con dimensiones entre 2,60 a 2,80 m de ancho y hasta de 8 m de largo. Para su instalación son necesarias colocar vigas para mejorar su soporte y facilitar el montaje (Colavidas et al., 2006, p. 276).

1.2.8 PANELES DE CERÁMICA ARMADA

Uno de los componentes principales de este tipo de sistema constructivos son los paneles de cerámica armada, las mismas que son elaboradas con una capa doble de ladrillos, el espacio que se genera entre las capas se rellena con una plancha de poliestireno que brinda al panel propiedades de aislamiento térmico.

Su sistema constructivo se relaciona con la elaboración de placas, que pueden ser producidas en el lugar de la instalación como en un taller para una posterior instalación. Su uso principalmente se da en construcciones básicas de proyectos de habitabilidad (Colavidas et al., 2006, p. 277).

1.2.9 PANELES PREFABRICADOS CON MATERIAL RECICLADO

Esta clase de paneles incluyen en su construcción tabiques con estructuras metálicas que determinan una facilidad de manejo y transporte del panel. La velocidad de instalación se prioriza entre 3 y 4 veces que la instalación de un ladrillo convencional. Los paneles presentan son fáciles de lijar, moldurar,

perforar y lijar, además hay la posibilidad de generar piezas especiales de acuerdo a los requerimientos de la construcción.

Las principales características que presentan estos paneles son:

- Livianos
- Resistentes al fuego
- Aislantes acústicos
- Solidez
- Versatilidad
- Adhesivos de capa delgada

Al tratarse de paneles elaborados con materiales reciclados disminuyen la carga sobre la estructura y los cimientos por que mejoran las condiciones sísmicas del producto final, adicionalmente disminuyen los costos de transporte y almacenaje que consecuentemente presentan un aumento en la productividad de este tipo de paneles (Colavidas et al., 2006, p. 278).

1.3 PROPIEDADES DE PANELES PREFABRICADOS

Los paneles prefabricados se tienen de varios tipos por lo que previo a determinar las propiedades y ventajas que presentan los paneles, se debe realizar una clasificación como se indica en la Tabla 1.10 (Novas, 2010, p. 22-25). Para poder generalizar las ventajas y desventajas que presentan los paneles.

Tabla 1.10. Clasificación de paneles prefabricados

Clasificación según:	Panel prefabricado
Grado de prefabricación	<ul style="list-style-type: none"> • Total • Parcial
Uso	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Resistente ✓ Cerramiento ✓ Ornamental

(Novas, 2010, p. 22-25)

Tabla 1.10. Clasificación de paneles prefabricados (continuación)

Tamaño	<ul style="list-style-type: none"> • Liviano • Pesado
Forma	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Lineales ✓ Bloques ✓ Superficiales
Grado de tipificación	<ul style="list-style-type: none"> • Normalizados • Tipificados • Individuales
Método de Ejecución	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Industrial a gran escala ✓ En taller ✓ Artesanal

(Novas, 2010, p. 22-25)

El mejoramiento de las propiedades térmicas, de protección contra el fuego y acústicas, durabilidad de los elementos a consecuencia de los distintos procesos de prefabricación, permiten que los paneles prefabricados se consideren como tecnología de gran peso en el futuro.

La prefabricación es un proceso de manufactura que se especializa en unir varios materiales con facilidad, que logra como resultado final un panel con varias ventajas, que se puede considerar como un tipo de construcción de primer nivel tanto como la construcción tradicional.

Los métodos de prefabricación constan de 4 niveles en función del grado de prefabricación utilizado para el producto final, estas etapas son:

- La manufactura del componente y su sub ensamblaje, realiza su elaboración en un taller sin considerar el sitio de construcción.
- El pre ensamblado no volumétrico, no utiliza todos los espacios disponibles en el sitio de aplicación.
- El pre ensamblado volumétrico, por el contrario utiliza espacio disponibles en su totalidad, sin embargo no se toman en cuenta en las estructuras de los edificios.

- Edificios modulares, emplea unidades volumétricas pre ensambladas de acuerdo a la forma de estructura y los requerimientos del sitio en el que se van a instalar los paneles.

La prefabricación se utiliza como un moderno método de construcción en reemplazo al método tradicional de construcción con concreto in situ. En varios países el empleo de la construcción prefabricada se utiliza más debido a que presenta una tecnología inherente superior a otros métodos (Azman, Ahamad, y Hussin, 2012, p. 49).

Para aligerar el peso del panel se pueden hacer mezclas con espuma o lechadas de detergente con el fin de atrapar aire en la mezcla de yeso y tener una densidad menor. En efecto, la densidad del panel disminuye considerablemente pero de la misma manera presenta una pérdida de solidez y fuerza por lo que genera mayores inconvenientes en la instalación.

El empleo de espuma presenta interferencia durante el tiempo de fraguado del panel debido a que los agentes espumantes tienen una relación directa con la propiedad de hidratación del yeso (Mirza, 2000).

Para el empleo de paneles prefabricados provoca el tener presentes aspectos que se ven afectados directamente por los paneles. De esta forma los aspectos a considerar son:

- Aspectos ambientales, en los mismos que se debe tener en cuenta indicadores que permitan evaluar el impacto, como:
 - ✓ Uso de energía operacional
 - ✓ Energía incorporada
 - ✓ Energía de transporte
 - ✓ Agua
 - ✓ Residuos
- Aspectos económicos, generan una buena sustentabilidad, debido al potencial que tiene la producción de paneles prefabricados.

- Aspectos sociales, las personas que utilizan estos paneles tienen como principal beneficio tener construcciones con buena calidad y a bajo costo, lo que provoca en los beneficiarios una inclusión social.

Uno de los principales retos del empleo de métodos de construcción prefabricados es satisfacer con los requerimientos en todos los campos y áreas de la construcción y lograr ser un método competitivo en comparación a los métodos actuales de construcción (Wasket, 2003, p. 18).

1.3.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS PANELES PREFABRICADOS

1.3.1.1 Ventajas de los paneles prefabricados

Los paneles prefabricados presentan grandes ventajas dentro de las cuales se puede considerar un importante ahorro en transporte, costos financieros, tiempo de construcción, limpieza (Lascano y Salazar, 2002, p. 25).

Los beneficios o ventajas ambientales de la prefabricación son numerosos en función de los indicadores que se tiene para su evaluación, de esta manera se describe que el principal beneficio ambiental es el mejoramiento de la calidad de construcción con una disminución de la generación de residuos, que a su vez motiva para el uso de materiales reciclados.

Las principales ventajas de la elaboración y empleo de los paneles prefabricados se consideran:

- Reducción de mano de obra control de calidad.
- Facilidad de instalación y estandarización.
- Menor costo de producción.
- Producción simultánea de paneles.
- Reducción de la producción de desperdicios de construcción.
- Reducción del ruido y el polvo.
- Altos estándares de salud y seguridad

Otra principal ventaja que tienen los paneles prefabricados es la posibilidad de elaborar paneles de distintas dimensiones requeridas y adaptables a los sistemas constructivos (Li et al., 2014, p. 241).

1.3.1.2 Desventajas de los paneles prefabricados

De la misma manera el trabajar con paneles prefabricados, genera inconvenientes o desventajas respecto a las uniones que se emplean entre paneles, deben tener la misma calidad de los paneles.

Uno de los principales inconvenientes o desventajas que se presentan ciertos paneles prefabricados se atribuye al peso del panel que no es manejable de manera vertical, por tal motivo presenta un grado de complejidad el transporte de este tipo de paneles y se refleja en que el tiempo de transporte es mayor que el tiempo de instalación.

Por otra parte, la mala elección de los sitios a instalar los paneles produce que estos no presenten el máximo rendimiento porque se ven afectados por factores ambientales debido a la exposición de sus superficies.

Una desventaja que se debe considerar de acuerdo al tipo de material que se desea emplear para la fabricación del panel prefabricado, se debe considerar el tipo de equipos a utilizar, de esta manera se afirma que no todos los paneles prefabricados son de fácil elaboración (Li et al., 2014, p. 242).

Otro inconveniente que se presenta en los paneles prefabricados que no son reutilizados hasta cumplir su ciclo de vida (Santa Cruz, 2002, p.119), adicionalmente se puede mencionar estas desventajas:

- Limitaciones de diseño.
- Requerimientos mínimos de obra.
- Volumen de producción.

2. PARTE EXPERIMENTAL

En el presente trabajo de investigación se desarrolló el diseño de una planta para la fabricación de paneles de yeso con la adición de piedra pómez y polipropileno como materiales alternativos, con base a los resultados de los ensayos a nivel laboratorio, tanto de la caracterización de las materias, como de la caracterización de los paneles.

Para la elaboración de los paneles se realizó primeramente un muestreo de la materia prima disponible tanto del yeso como de la piedra pómez, luego se caracterizó física, química y mineralógicamente a las muestras tomadas, para lo cual se evaluaron propiedades como densidad real y aparente, pH, humedad, granulometría, contenido de elementos, difracción de rayos x. Y para el caso del polipropileno se realizó un ensayo de tracción-deformación.

Durante la elaboración de los paneles se estableció parámetros constantes tales como la cantidad de agua que se mantiene en una relación 1:1 (ver Anexo I), densidad aparente del yeso y piedra pómez de 1,2 y 0,9 g/cm³ respectivamente, pH de 7.

Por otra parte los parámetros variables durante la elaboración de los paneles de ensayo son: temperatura del agua (10, 20, 30 y 50 °C), la composición del panel con adición de piedra pómez (0, 10, 20, 30, 40 y 50 %), la granulometría de la piedra pómez (tamaño de partícula 355, 425, 500, 600 y 710 µm) y forma del polipropileno (laminar y fragmentos) que permitieron determinar las condiciones para obtener un panel de yeso-piedra pómez-polipropileno.

Finalmente se realizaron probetas de 5 cm de arista para evaluar la resistencia a la compresión de las composiciones de los paneles elaborados, en la Figura 2.1 se presenta un esquema de la metodología experimental utilizada para la elaboración de paneles de yeso-piedra pómez-polipropileno.

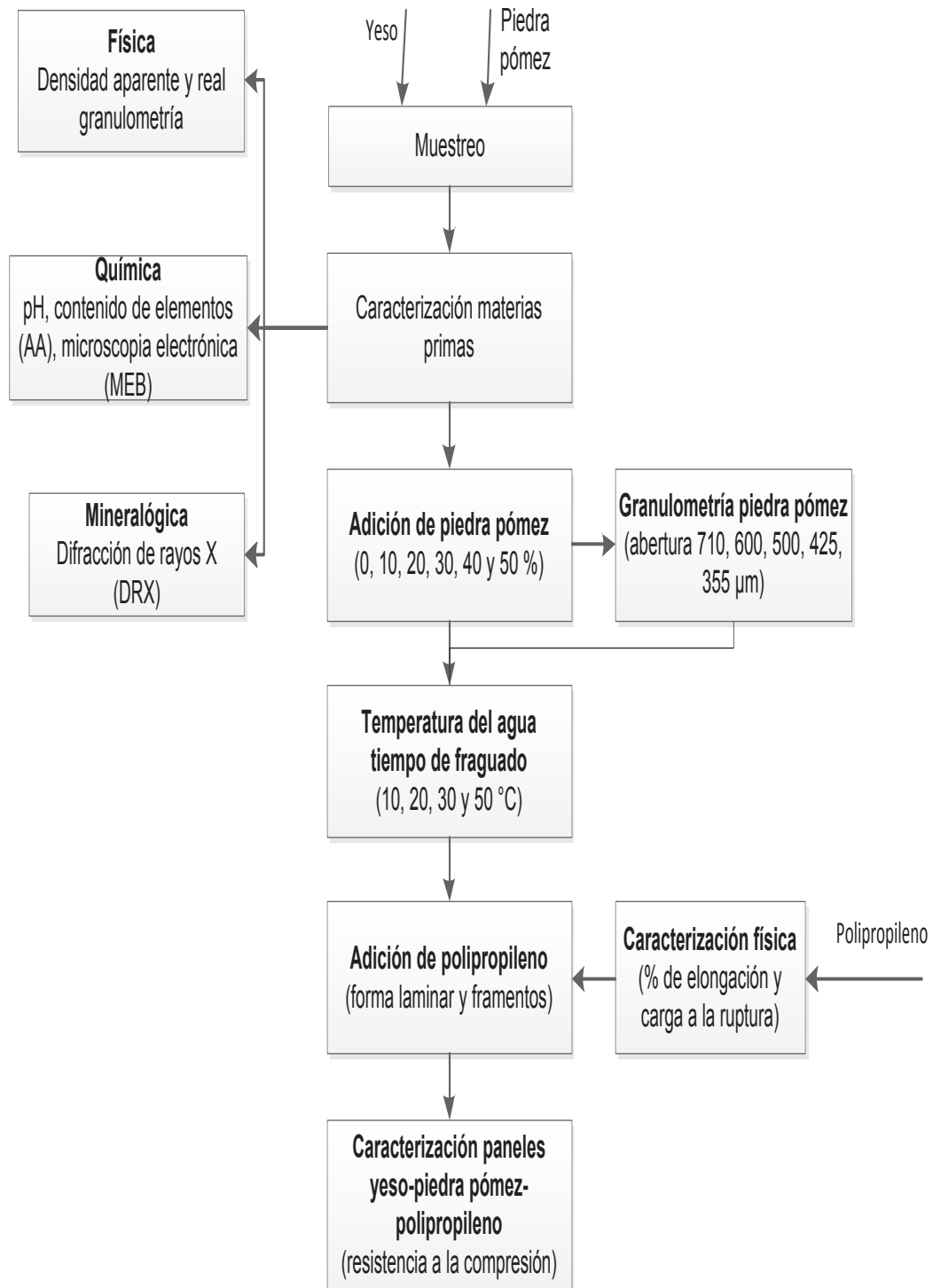


Figura 2.1. Esquema de la metodología experimental seguida para la elaboración del panel

2.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LA MATERIA PRIMA A UTILIZAR Y UN PANEL COMERCIAL DE YESO

2.1.1 PROCEDIMIENTO DE MUESTREO DE MATERIA PRIMA

El yeso que se utilizó para la caracterización y para la elaboración de los paneles es un yeso comercial que se puede adquirir en los distribuidores ferreteros del país, para el presente estudio el yeso es de la casa comercial Disensa.

La piedra pómez es proveniente de una donación por parte de las canteras explotadores al Departamento de Metalurgia Extractiva, para el caso de la caracterización y la adición en la elaboración de los paneles, se realizó un muestreo del stock de piedra pómez que se encuentra en el laboratorio.

El polipropileno que se empleó en la elaboración de los paneles corresponde al polipropileno comercial que se emplea para realizar cercamientos en la construcción, elaboración de costales.

2.1.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA MATERIA PRIMA

Durante la caracterización física se determinaron la densidad aparente, densidad real, el tamaño de partícula tanto del yeso, de la piedra pómez y panel comercial. Para el polipropileno se analizó la tracción y deformación. Los distintos procesos se especifican a continuación:

2.1.2.1 Densidad aparente

Las mediciones de la densidad aparente se realizaron por la técnica de la probeta.

- Se utilizó una probeta graduada de 50 ml, la misma que se lavó con metanol absoluto y se sometió a un secado con corriente de aire hasta lograr un peso constante y se registró el peso de la probeta vacía.

- Se colocó en la probeta el yeso hasta su máxima capacidad y se registró el peso de la probeta con la muestra.
- Se realizó el mismo procedimiento para la piedra pómez y panel comercial de yeso.

Se calculó la densidad aparente mediante la ecuación 2.1:

$$D_a = \frac{W_{pm} - W_p}{100 \text{ ml}} \left[\frac{\text{g}}{\text{ml}} \right] \quad [2.1]$$

Dónde:

D_a : Densidad aparente (g/ml)

W_{pm} : Peso de la probeta con la muestra (g).

W_p : Peso de la probeta vacía (g).

2.1.2.2 Densidad real

Para la medición de la densidad real se utilizó la técnica del picnómetro.

- Se usó un picnómetro Boeco de Gay Lussac con tapón capilar, con capacidad de 25 ml, el mismo que se pesó en una balanza analítica marca SARTORIUS modelo TE 124S con capacidad de 120 g.
- Se pulverizó la muestra de yeso y se pesó 1 g, que se agregó al picnómetro y se registró el peso del picnómetro con la muestra.
- Se adicionó agua destilada hasta llenar el picnómetro, se eliminó el exceso de agua que emergió al colocar el tapón capilar del mismo. Se registró el peso del picnómetro con la muestra y agua.
- El picnómetro se lavó con agua destilada y se secó la parte de afuera del mismo, luego se llenó con agua destilada y se eliminó el exceso de agua que emergió al colocar el tapón capilar y se registró el peso del picnómetro con agua.
- Se realizó el mismo procedimiento para la piedra pómez y panel comercial de yeso.

El cálculo de la densidad real se efectuó mediante la Ecuación 2.2:

$$D_r = \frac{d_w(W_s - W_a)}{(W_s - W_a) - (W_{sw} - W_w)} \left[\frac{g}{ml} \right] \quad [2.2]$$

Dónde:

D_r : Densidad real (g/ml)

d_w : Densidad del agua a 4 °C (1,00 g/ml)

W_s : Peso del picnómetro con muestra (g)

W_a : Peso del picnómetro vacío (g)

W_{sw} : Peso del picnómetro con muestra y agua (g)

W_w : Peso del picnómetro con agua (g)

2.1.2.3 Determinación del tamaño de partícula

La determinación del tamaño de partícula del yeso se realizó mediante el equipo analizador láser de distribución de tamaño de partícula marca Horiba modelo LA-950.

Para la determinación del tamaño de partícula (d_{80}) de la piedra pómez se empleó un sistema de tamices Tyler y un agitador Rot-Tap con capacidad de 12 tamices y un recipiente que se emplea como fondo del sistema.

Se colocaron 250 g de piedra pómez en el sistema de tamices de las siguientes mallas #20 (850 μm), #25 (710 μm), #30 (600 μm), #35 (500 μm), #40 (425 μm), #45 (355 μm), #50 (300 μm), #60 (250 μm), #70 (212 μm), #80 (180 μm), #100 (150 μm) y #150 (104 μm), cuyo esquema se muestra en la Figura 2.2. La duración del tamizado fue de 10 min, después de lo cual se pesó el material retenido en cada tamiz.

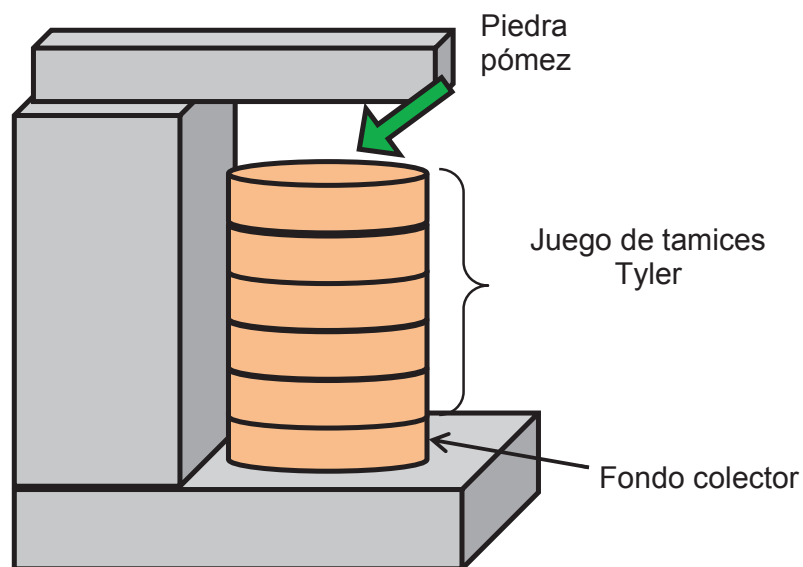


Figura 2.2. Tamiz vibratorio con sistema de tamices

2.1.2.4 Ensayos de tracción-deformación del polipropileno

Los ensayos de tracción-deformación del polipropileno se realizaron en el Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros (CIAP), de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Se cortaron probetas de polipropileno de manera longitudinal con referencia a la norma ASTM D882.
- Se realizaron las pruebas en la máquina universal de ensayos modelo 1011 marca Instron Corporation y se registraron los datos de carga a la rotura y porcentaje de elongación.

2.1.3 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA MATERIA PRIMA

Dentro de las características químicas se determinaron el potencial Hidrógeno (pH), contenido de elementos, humedad, las mismas que se detallan a continuación:

2.1.3.1 Determinación del potencial Hidrógeno (pH)

- Se preparó una solución con relación agua/yeso de 2, como se indica en la norma UNE-EN 13279-2:2004.
- Se agitó por 3 minutos a una agitación constante.
- Se dejó reposar la solución por 2 minutos.
- Se tomó mediciones de soluciones buffer de pH igual a 4, 7 y 10.
- Se procedió a registrar 3 lecturas del pHmetro.
- Se realizó el mismo procedimiento para la piedra pómez.

2.1.3.2 Determinación del contenido de elementos

Para la determinación del contenido de elementos se realizó por espectrofotometría por absorción atómica con el equipo AAnalyst 300, para lo cual se realizó una disgregación ácida previa de las muestras, se realizaron lecturas de elementos como Al, Ca, Na, K, Mg y Fe.

2.1.3.3 Determinación de la humedad

- Sobre una luna de reloj tarada se pesaron 5 g de yeso.
- La muestra se colocó en la estufa a una temperatura de 45 °C por un tiempo de 2 h, de acuerdo a como se indica en la norma NTE INEN 1987, luego se enfrió en un desecador y se pesó nuevamente.
- Para la piedra pómez se procedió de la misma manera, con la temperatura de la estufa de 110 °C.

Los resultados se obtuvieron mediante una diferencia de pesos, con el empleo de la Ecuación 2.3:

$$\%H = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100 \quad [2.3]$$

Dónde:

W_i : peso muestra inicial (g)

W_f : peso muestra final (g)

2.1.3.4 Microscopia electrónica de barrido (MEB)

Para el ensayo de microscopia electrónica de barrido se colocaron las muestras de yeso y piedra pómez en la cámara del microscopio electrónico marca Tescan-Vega con microanalizador de rayos X Bruker y con ayuda del programa Espirit 1.8 se tomaron fotos a distintos aumentos (500, 1000).

2.1.4 CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LA MATERIA PRIMA

La caracterización mineralógica del yeso y la piedra pómez se realizó por difracción de rayos X (DRX), a continuación se describe el equipo de difracción por rayos X (DRX), se utilizó el equipo modelo D8 Advance marca Bruker, con la ayuda de los programas EVAS y TOPAS.

2.2 EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA ADICION DE DISTINTOS PORCENTAJES DE PIEDRA PÓMEZ SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN QUE PRESENTA EL PANEL

Una vez que se caracterizó la materia prima tanto física, química y mineralógicamente se procedió a elaborar los paneles con el fin de evaluar la influencia de la piedra pómez en la composición del panel, para lo cual se procedió de la siguiente manera:

- Se realizaron mezclas de yeso y piedra pómez con variación del porcentaje de adición de la piedra pómez (0, 10, 20, 30, 40 y 50 %)
- Se adicionó 700 ml de agua destilada, en proporción 1:1, hasta conseguir una pasta maleable.
- Se formaron paneles de 21x30x1 cm como se indica en la Figura 2.3.
- Se realizó una evaluación previa mediante un esfuerzo mecánico manual (ruptura).
- El esfuerzo mecánico manual consiste en sostener el panel elaborado con las dos manos y aplicar una ligera presión sobre el panel hasta su ruptura.

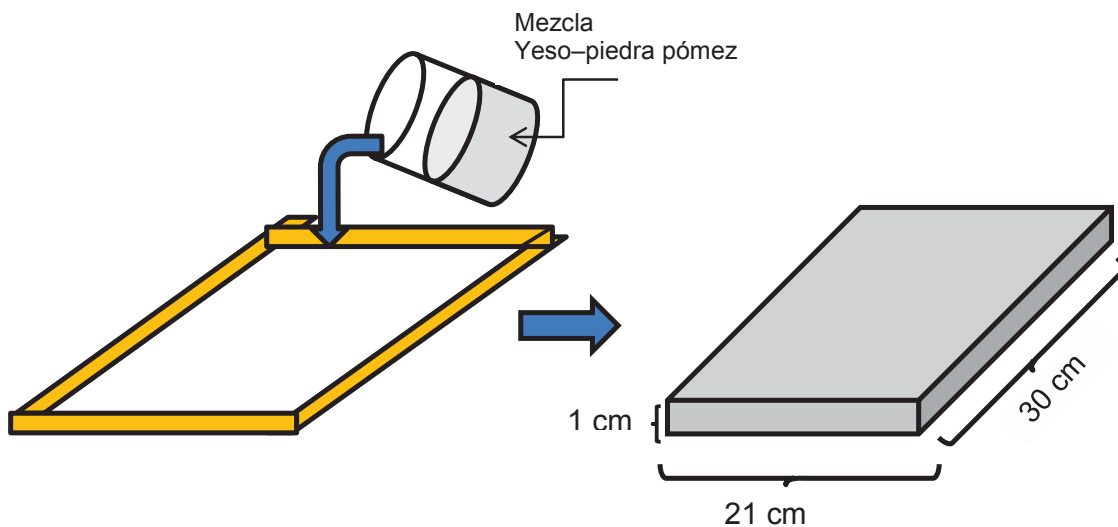


Figura 2.3. Esquema de elaboración de los paneles

Una vez que se encontró la composición para la elaboración del panel, se realizaron ensayos con una variación de la granulometría de la piedra pómez, se tomó en cuenta las mallas No. 25 (710 μm), 30 (600 μm), 35 (500 μm), 40 (425 μm) y 45 (355 μm), las mismas que fueron evaluadas con un esfuerzo mecánico manual.

Adicionalmente, se realizaron ensayos previos para evaluar la resistencia a la compresión en la maquina universal de ensayos Tinius Olsen H25KS, con una aplicación de diferentes cargas (100, 125, 150 y 200 N). Para los ensayos se

elaboraron paneles yeso-piedra pómez con la composición que se detalla en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Composiciones para los paneles yeso-piedra pómez

Panel	1	2	3	4	5	6
% yeso	100	90	80	70	60	50
% piedra pómez	0	10	20	30	40	50

2.2.1 ENSAYOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Los siguientes ensayos tuvieron como objetivo evaluar la resistencia a la compresión de los paneles, para lo cual se trabajó de acuerdo como se indica la norma NTE INEN 1 688.

- Se elaboraron probetas cúbicas de 5 cm de arista según a las diferentes composiciones de los paneles en función del porcentaje de piedra pómez (0, 10, 20, 30, 40, 50 %).
- Se midieron las dimensiones de la cara a ensayar de la probeta, las mismas que se utilizaron para determinar el área de ensayo.
- Se colocó la probeta en la máquina universal de ensayos marca Tinius Holsen modelo H25KS y se procedió a aplicar la carga hasta llegar a la ruptura de la probeta y se registró el dato de la fuerza aplicada.
- Se repitió el proceso para cada probeta.

Para la determinación de la resistencia a la compresión se realizó mediante la ecuación 2.4:

$$R_c = \frac{F_C}{A_C} \quad [2.4]$$

Dónde:

R_c : Resistencia a la compresión (N/m^2)

F_c : Carga máxima en la rotura (N)

A_c : Área de la probeta (m^2)

Después que se determinó la composición (70 % yeso y 30 % piedra pómez) para la elaboración del panel yeso-piedra pómez, que cumple con los ensayos preliminares se fijó esta composición como parámetro constante.

En la Figura 2.4 se muestra un esquema simplificado de la elaboración de las probetas y el equipo que se utilizó para el ensayo de compresión.

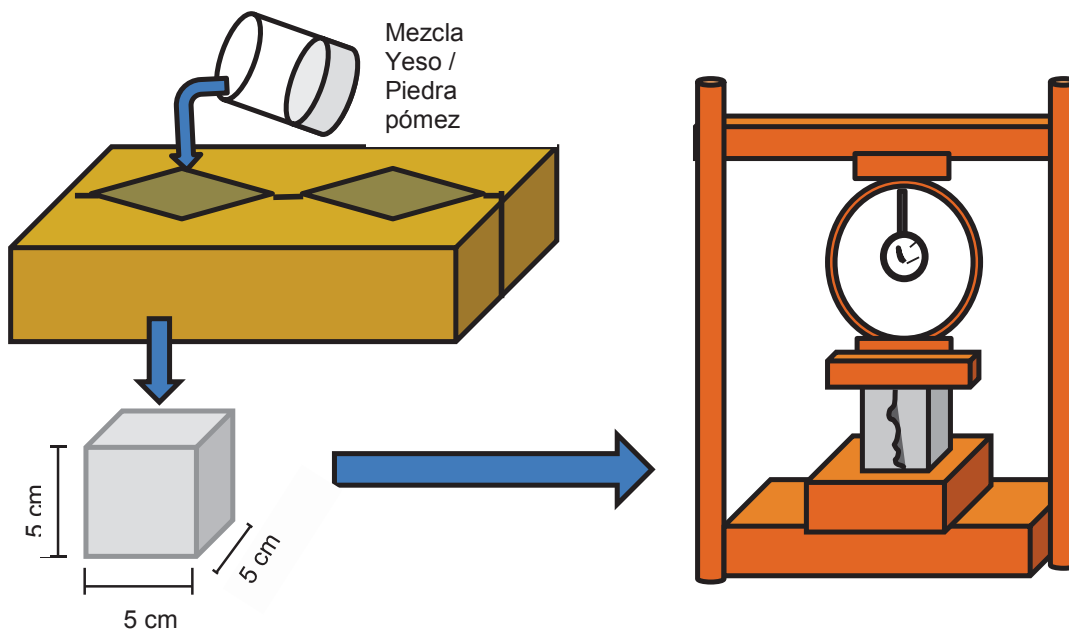


Figura 2.4. Ensayo de compresión

2.2.2 DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO

Los ensayos para la determinación del tiempo de fraguado se realizaron por el método del cuchillo, como indica la norma UNE-EN 13279.2:2006.

- Se pesaron 50 g de mezcla
- Se mezclaron los 50 g de mezcla con 25 ml de agua destilada y se agitaron durante un minuto, se registró el tiempo al cual se añade el agua.
- Se separó la mezcla en 3 tortas de 10 a 12 cm de diámetro aproximadamente en una superficie lisa.
- Se realizaron cortes con el cuchillo en la torta cada 30 segundos hasta que el cuchillo separó en dos partes a la torta y se registró el tiempo de inicio del fraguado.
- Se realizaron presiones con el dedo cada 30 segundos hasta que no se marca la huella dactilar sobre la torta y se registró el tiempo de finalización del fraguado.
- Se repitió el procedimiento con variación de la temperatura del agua destilada (50, 30, 20 y 10 °C).

La determinación del tiempo de inicio de fraguado se efectuó mediante la Ecuación 2.5:

$$T_i = t_1 - t_0 \quad [2.5]$$

Dónde:

T_i : tiempo de inicio del fraguado (min)

t_0 : tiempo cuando el yeso se puso en contacto con el agua (min)

t_1 : tiempo cuando el cuchillo separó en dos partes a la torta (min)

De igual manera la determinación del tiempo de finalización del fraguado se efectuó mediante la Ecuación 2.6:

$$T_f = t_2 - t_1 \quad [2.6]$$

Dónde:

- T_f : tiempo de finalización del fraguado (min)
 t_1 : tiempo cuando el cuchillo separó en dos partes a la torta (min)
 t_2 : tiempo cuando no se marcó la huella dactilar sobre la torta (min)

En la Figura 2.5 se indica las etapas del proceso de determinación del tiempo de fraguado.

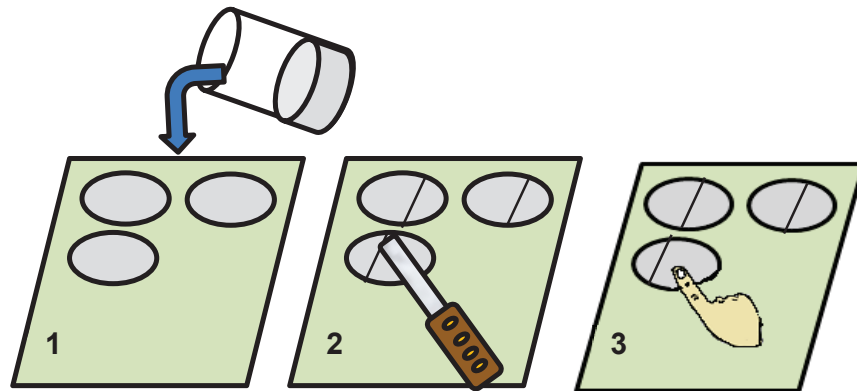


Figura 2.5. Etapas del tiempo del fraguado
 1) Distribución 2) Inicio de fraguado 3) Fin de fraguado

2.3 EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE POLIPROPILENO SOBRE LA RESISTENCIA DEL PANEL YESO-PIEDRA PÓMEZ

Para la evaluación de la influencia del polipropileno sobre la resistencia se utilizaron dos formas del polipropileno, estos fueron: forma laminar y forma de fragmentos (tamaño < 5 cm).

2.3.1 ADICIÓN DEL POLIPROPILENO EN FORMA LAMINAR

- Se elaboró un panel de yeso-piedra pómez con las siguientes dimensiones 21x30x0,5 cm

- Se colocó una lámina de polipropileno de 21x30 cm de 0.2 mm de espesor sobre el panel.
- Se incorporó sobre la lámina otro panel de yeso-piedra pómez de 21x30x0,5 cm, para cumplir con el espesor de la norma ASTM 1396.

El esquema de la manera como se adicionó el polipropileno laminar se muestra en la Figura 2.6.

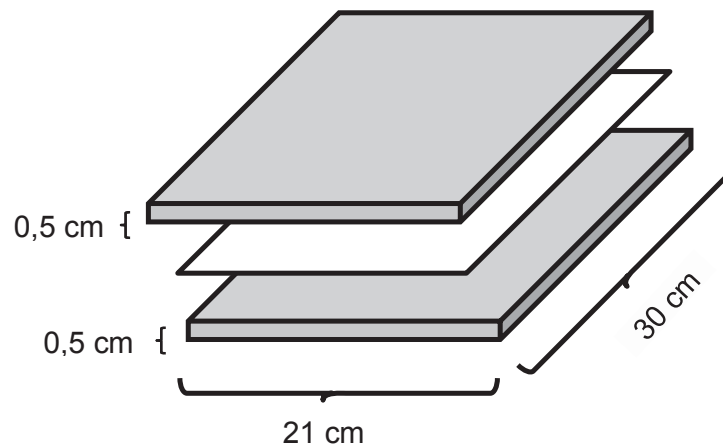


Figura 2.6. Panel con polipropileno laminar

2.3.2 ADICIÓN DEL POLIPROPILENO EN FORMA DE FRAGMENTOS

- Se elaboró una mezcla entre el yeso, piedra pómez y agua destilada hasta obtener una consistencia maleable.
- Se adicionó los fragmentos de polipropileno (tamaño < 5 cm) a la mezcla, los fragmentos fueron cortados de manera longitudinal, en función de la caracterización realizada en la sección 2.1.2.4.
- Se fabricó un panel de yeso-piedra pómez-polipropileno de 21x30x1 cm como se indica en la Figura 2.7.

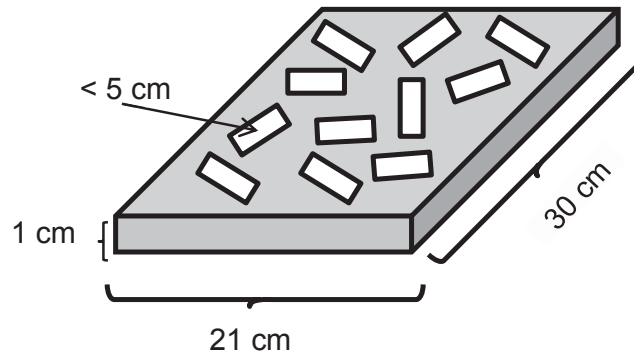


Figura 2.7. Panel con polipropileno en fragmentos

Luego que se elaboró los paneles con la incorporación del polipropileno en su composición, se realizaron probetas de 5 cm de arista para el análisis de la resistencia a la compresión según el procedimiento descrito en la sección 2.2.2.

2.4 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PANELES YESO-PIEDRA PÓMEZ-POLIPROPILENO Y DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

Se realizó una comparación entre los resultados obtenidos durante la experimentación de acuerdo a las secciones 2.1., 2.2, y 2.3, que permitieron desarrollar el diagrama de flujo de una planta para la fabricación de paneles yeso-piedra pómez-polipropileno. La capacidad de producción considerada para el diseño fue de 100 kg/día.

2.4.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PANELES YESO-PIEDRA PÓMEZ-POLIPROPILENO

Para la determinación del diagrama de flujo del proceso se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

- Capacidad de producción de la planta
- Características de la materia prima

- Requerimiento de equipos e infraestructura
- Características del producto final

2.4.2 DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

Una vez establecido el diagrama de flujo se realizó el dimensionamiento de equipos requeridos por el proceso, en función de los catálogos que se presentan en el Anexo III, para el dimensionamiento se consideraron los siguientes criterios:

- Balances de masa y energía por etapas del proceso
- Capacidad de procesamiento de cada equipo
- Costo y disponibilidad de los equipos
- Características de las corrientes de alimentación y salida de los equipos y procesos

2.4.2.1 Tanque de agua

El tanque de agua se dimensionó con base en la cantidad de agua requerida por el proceso para una producción semanal. De acuerdo a esta cantidad, se determinó el volumen y sus dimensiones de altura y diámetro. Los cálculos del dimensionamiento se muestran en el Anexo IV.

2.4.2.2 Silos de alimentación

Los silos de alimentación de yeso y piedra pómez fueron diseñados con base en la cantidad de materia prima necesaria para una producción mensual de la planta. La forma considerada para los silos fue de un recipiente cilíndrico con fondo cónico, con un factor de 1,2 entre el diámetro y la altura. Los cálculos del dimensionamiento se muestran en el Anexo IV.

2.5 ANÁLISIS DE LA PRE FACTIBILIDAD ECONÓMICA PARA LA INSTALACIÓN DE LA PLANTA

Para analizar la pre factibilidad económica de la instalación se calcularon el valor actual neto (VAN), con la Ecuación 2.7, que se muestra a continuación.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad [2.7]$$

Dónde:

<i>VAN</i> :	Valor Actual Neto
<i>I₀</i> :	Valor de inversión Inicial
<i>BN_t</i> :	Beneficio neto del periodo
<i>i</i> :	Tasa de retorno del periodo
<i>n</i> :	Número de periodos considerados

La TIR está relacionada directamente con el VAN, puesto que, es la tasa de interés correspondiente a un Valor Actual Neto de 0. Por lo que el TIR se calculó con la Ecuación 2.8.

$$TIR = \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+i)^t} - I_0 = 0 \quad [2.8]$$

Se consideraron el diagrama de flujo del proceso y los principales equipos para realizar el análisis económico complementario, además se realizó una proyección de 5 años para el proyecto.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan los resultados de los ensayos realizados durante la investigación a nivel de laboratorio, Adicionalmente se presenta el diagrama de flujo del proceso de elaboración de paneles yeso-piedra pómez-polipropileno con base en los mejores resultados de la composición del panel, el diseño de una planta con capacidad de procesamiento de 100 kg/día y la pre-factibilidad económica para la producción de estos paneles.

3.1 RESULTADOS CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LA MATERIA PRIMA A UTILIZAR Y UN PANEL COMERCIAL DE YESO

3.1.1 RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA MATERIA PRIMA

3.1.1.1 Resultados de la determinación de la densidad real y aparente

Para la caracterización física se determinaron las densidades reales y aparentes tanto del yeso, de la piedra pómez y del panel comercial de yeso de acuerdo a la metodología descrita en las secciones 2.1.2.1 y 2.1.2.2. Los resultados se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Resultados de las densidades reales y aparentes

	Densidad real (g/cm ³)	Densidad aparente (g/cm ³)
Yeso	2,6	1,2
Piedra Pómez	2,3	0,9
Panel comercial de yeso	2,4	0,7

Se debe considerar que la densidad real no toma en cuenta los espacios que se forman entre partículas, por tal motivo sus valores son mayores comparados con los valores de densidad aparente, sin embargo los valores de la densidad real son muy parecidos entre el yeso, piedra pómez y panel comercial de yeso, sin tener grandes diferencias entre sus valores. Estos valores fueron calculados con el empleo de las ecuaciones 2.1 y 2.2.

Por otro lado, la densidad aparente toma mayor importancia dentro de los resultados porque permite realizar un cálculo del volumen que ocupa la materia prima. Debido a la porosidad que presenta la piedra pómez hace que su densidad aparente sea menor.

Los valores obtenidos de densidad aparente de las materias primas son 1,2 y 0,9 g/cm³ para el yeso y piedra pómez respectivamente, estos valores son ligeramente mayores comparados con la densidad aparente del panel comercial que es de 0,7 g/cm³. No obstante el realizar ensayos con distintas composiciones de las materias primas puede presentar una variación de la densidad aparente del panel sin tener mayor relevancia, por lo que se considera que el comportamiento de la densidad aparente de las materias primas se mantiene en la mezcla para la formación del panel, lo que permite utilizar a la piedra pómez como material alternativo en la elaboración de estos paneles sin presentar grandes variaciones de su densidad respecto a la del panel comercial de yeso.

3.1.1.2 Resultados de la determinación del tamaño de partícula

La determinación del tamaño de partícula tanto para el yeso como para la piedra pómez se realizó de acuerdo como se indica en la sección 2.1.1.3. Los resultados para la elaboración de la curva granulométrica del yeso se muestran en la Figura 3.1, donde se aprecia que el d_{80} del yeso corresponde a 198 μm , que permite considerar que el tamaño de partícula del yeso a emplear en los ensayos corresponde a este tamaño, que se considera como una granulometría fina.

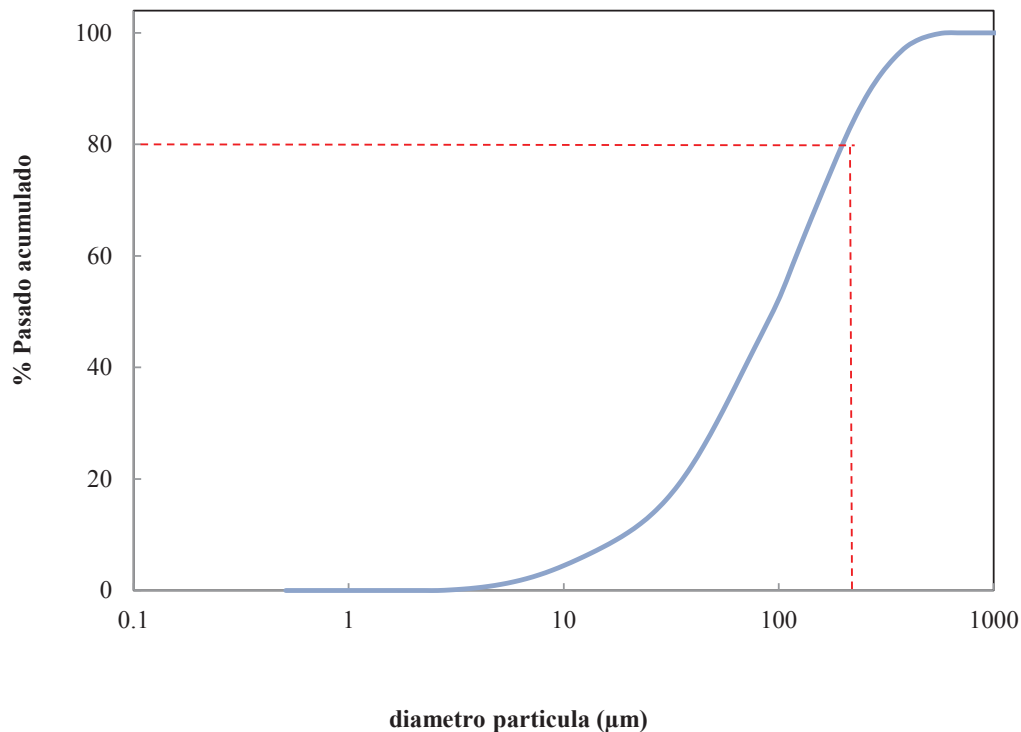


Figura 3.1. Curva granulométrica del yeso

Se debe mencionar que la Figura 3.1, se elaboró en una escala logarítmica debido al rango amplio de distribución del tamaño de partícula del yeso, en el Anexo II se puede observar el reporte del análisis granulométrico nos indica que los diámetros de partículas van desde 3 hasta 600 μm .

Para el caso de la piedra pómez, el análisis granulométrico evidencia que el d_{80} es de 355 μm , lo que permite afirmar que el 80 % del material empleado tiene un tamaño de partícula igual o de menor valor que el señalado anteriormente, como se muestra en la Figura 3.2. Por esta razón se considera que el tamaño de la partícula de la piedra pómez es de 355 μm que corresponde al tamiz de malla no. 45. El tamaño de partícula con la que se elabora los paneles corresponde a una granulometría fina, lo que es ventajoso porque presenta una mayor adherencia y maleabilidad en la mezcla durante la elaboración los paneles.

Para evaluar la influencia de la granulometría de la piedra pómez se toma en cuenta el material retenido en los otros tamices, para lo cual se debe realizar un tamizado varias veces hasta completar la cantidad necesaria de piedra pómez de cada granulometría para elaborar un panel.

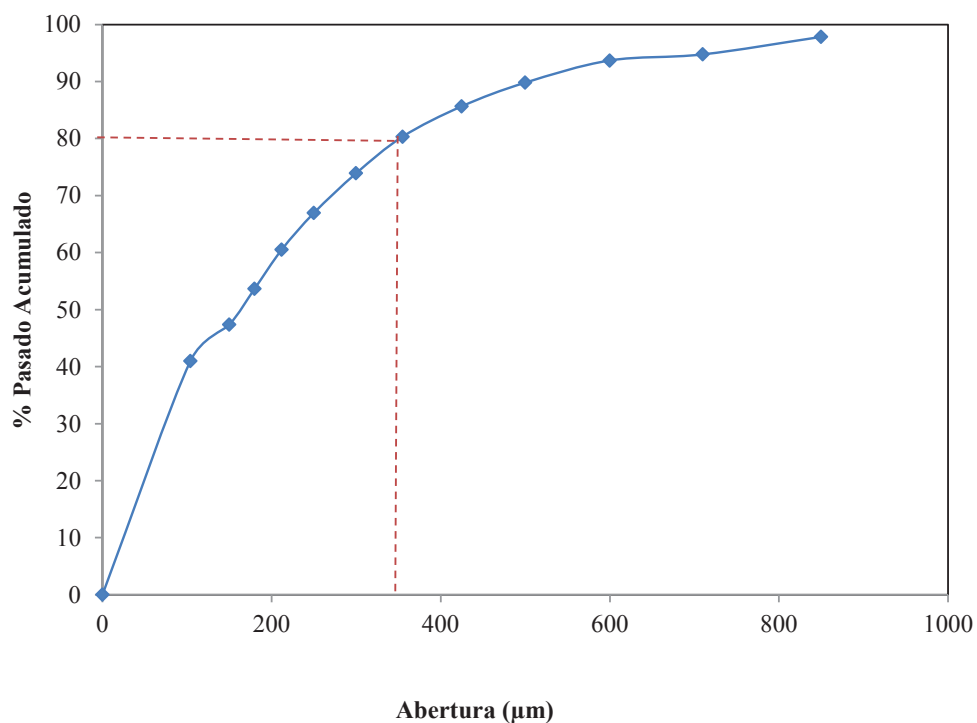


Figura 3.2. Curva granulométrica de la piedra pómez

3.1.1.3 Resultados de los ensayos de tracción y deformación del polipropileno

Los resultados obtenidos de los ensayos de tracción y deformación realizados en el laboratorio del CIAP se indican en la Tabla 3.2

Tabla 3.2. Resultados de los ensayos de tracción y deformación del polipropileno

Muestra	Elongación (%)	Carga a la ruptura (MPa)
Polipropileno	9,7±1,1	18±3,9

Los resultados obtenidos para la caracterización del polipropileno muestra que la carga a la ruptura es de $18 \pm 3,9$ MPa, es un valor elevado comparado con los valores encontrados en bibliografía (Tripathi, 2002, p. 33), que indican que la carga a la rotura promedio del polipropileno es de 10 ± 5 MPa

La desviación estándar que se obtuvo en los ensayos permite que el polipropileno se encuentre en el límite superior de la carga a la rotura promedio encontrado en bibliografía antes mencionada.

El porcentaje de elongación del polipropileno es de $9,7 \pm 1,1$, si bien este parámetro caracteriza y clasifica al polipropileno, de acuerdo a la bibliografía encontrada existen porcentajes de elongación sobre el 100 o 1000 % debido a las propiedades elásticas que presenta el polipropileno (Callister, 2000, p.493). Sin embargo para el motivo de este estudio, el resultado de la elongación no es de influencia en la elaboración de los paneles debido a la gran variabilidad que existe de este parámetro.

Sin embargo los resultados obtenidos permiten afirmar que el polipropileno empleado para la elaboración de los paneles es el apropiado porque incrementan la resistencia a la compresión del panel, más aun cuando la adición se realiza de forma laminar.

3.1.2 RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA MATERIA PRIMA

3.1.2.1 Resultados de la determinación del potencial Hidrogeno (pH)

La cantidad de volátiles fue determinada mediante el proceso de la sección 2.1.2.1 y los resultados son los que se observan en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Resultados de los ensayos de determinación de potencial Hidrógeno (pH) de las materias primas

Medición #	pH yeso	pH piedra pómez
1	6,5	7,3
2	6,8	7,0
3	6,7	7,1
Promedio	6,7	7,1
Des. estándar	0,2	0,2

Los valores que se muestran en la Tabla 3.3 tanto de la piedra pómez como el yeso son valores de pH neutro. El valor de pH de $6,7 \pm 0,2$ del yeso permite asegurar que el yeso que se emplea para la elaboración de los paneles cumple con el requerimiento ($\text{pH} > 6$) para la clasificación como se indica en la Tabla 1.4.

El tener valores de pH de la piedra pómez de $7,1 \pm 0,2$, permite asegurar que al realizar una mezcla entre estos dos materiales presentará un aumento en el pH que se mantendrá sobre el requerimiento mínimo ($\text{pH} > 6$) de la clasificación para la elaboración de paneles.

3.1.2.2 Resultados de la determinación del contenido de elementos por absorción atómica

Para la determinación del contenido de elementos se realizó una previa disgregación ácida de las muestras a analizar, los resultados de la determinación de elementos se presentan en la Tabla 3.4.

Para el yeso de acuerdo a los resultados obtenidos en el ensayo, se observa que el elemento con mayor cantidad que se reporta es el calcio (Ca) con un 28,5 %, lo que tiene concordancia en función a la composición que presenta el yeso como se muestra en la Tabla 1.1, adicionalmente el resto de elementos (Al, Si, Na, K, Mg) analizados por absorción atómica están por debajo del 1 % por lo que no toma relevancia en la caracterización del yeso.

Tabla 3.4. Resultados del contenido de elementos por absorción atómica

Elemento	Yeso (%)	Piedra pómez (%)
Aluminio	0,8	6,3
Silicio	0,9	28,7
Calcio	28,5	2,6
Sodio	0,8	0,4
Potasio	0,3	1,8
Magnesio	0,7	0,6
Hierro	0,4	0,6

Para la piedra pómez, existe una presencia en mayor cantidad de silicio (Si) con un 28,7 %, en comparación con los otros elementos que contiene la piedra pómez. En bibliografía se indica que los compuestos mayoritarios de la piedra pómez son el óxido de silicio y el óxido de aluminio (Llistosella et al, 2004, vol. 20, p.12146), por este motivo se justifica que la cantidad de silicio se reporte en mayor cantidad, por otra parte el aluminio (Al) tiene un 6,31 %, pese a ser bajo se considera su presencia en la piedra pómez porque la formación de óxidos de aluminio en la piedra pómez es característico.

En el caso del contenido de hierro (Fe) tanto del yeso como de la piedra pómez, los valores son 0,4 y 0,6 % para el yeso y piedra pómez respectivamente, en el caso del yeso la presencia de Fe se puede atribuir a que el material presenta una contaminación que no es significativa para el proceso, por lo que no es necesario tener en consideración este valor de Fe para la elaboración del panel. De la misma manera, el valor de Fe presente en la piedra pómez se debe a que en su composición existe la presencia de óxidos de hierro, sin embargo su porcentaje es mínimo comparado con el óxido de silicio y aluminio, por lo que no es de fundamental importancia los valores de Fe para el proceso.

3.1.2.3 Resultados de la determinación de la humedad

Para la determinación de la humedad de los materiales para la caracterización química, se realizaron varios ensayos, en la Tabla 3.5 se muestran los valores promedios y desviación estándar de cada material.

Tabla 3.5. Resultados de la determinación de la humedad

	% humedad del yeso	% humedad piedra pómez
Promedio	8,5	4,1
Desviación estándar	0,2	0,2

El contenido de humedad que presenta el yeso es de 8,5 %, esta humedad es la correspondiente al agua libre que tiene el yeso, es decir el agua que se puede retirar, sin embargo la composición del yeso indica que el sulfato de calcio debe ser dihidratado, lo que significa que existe una cantidad de agua que no se puede retirar, las condiciones de temperatura (45 ° C) que indica la norma NTE INEN 1987 asegura que el agua libre es retirada, sin presentar modificaciones en el tipo de yeso.

El contenido de humedad de la piedra pómez es de 4,1 %, este valor es menor comparado con el yeso, lo cual es entendible por la porosidad que presenta la piedra pómez, es decir la cantidad de agua que se puede retirar del material es menor, a pesar de que la temperatura de trabajo (110 ° C) es mayor que la del yeso.

La desviación estándar en los dos casos es pequeña lo que indica que se puede generar una reproducibilidad de los ensayos, sin tener errores significativos para obtener datos confiables.

3.1.3 RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LA MATERIA PRIMA

3.1.3.1 Difracción de rayos X

Se obtuvieron resultados de los ensayos por difracción de rayos X tanto del yeso como de la piedra pómez, adicionalmente se analizó una muestra de un panel de yeso comercial, con el fin de comparar los resultados de caracterización de las materias primas con los resultados del panel de yeso que se encuentra en el mercado. Los resultados se presentan en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6. Resultados de difracción de rayos x

Compuesto	Fórmula	Yeso (%)	Panel comercial de yeso (%)
Anhidrita	CaSO ₄	3	2
Basanita	CaSO ₄ *0,5H ₂ O	42	-
Cuarzo	SiO ₂	-	3
Calcita	CaCO ₃	-	6
Gypsum	CaSO ₄ *2H ₂ O	55	85
Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	-	4

En el caso del yeso es evidente que su compuesto con mayor porcentaje es gypsum con un 55 % adicionalmente tiene un 42 % de basanita y 3 % de anhidrita, compuestos que contienen sulfato de calcio (CaSO₄), compuesto principal en la formación del yeso. Con base a estos resultados se determina que el yeso que se emplea para la elaboración de los paneles es de alta pureza, ya que no presenta en su composición otras especies que contaminen el material.

Para el caso de la piedra pómez, se trata de un material amorfo con bajo grado de cristalinidad por tal motivo los resultados de la difracción de rayos x no fueron posibles de cuantificar. No obstante en la Figura AIII. 2, se muestra el difractograma de la piedra pómez y se observa que los picos que sobresalen

corresponden al cuarzo, dickita y grupo de plagioclasas pero que no pueden ser cuantificados.

El panel de yeso que se comercializa actualmente, tiene una presencia mayoritaria de gypsum de un 85 %, y de anhidrita de un 2 %, lo que nos permite identificar que los paneles comerciales contienen un 87 % de yeso, que en comparación con el contenido de sulfato de calcio que tiene la materia prima, son similares. De acuerdo a estos resultados, se realizan las diferentes adiciones de piedra pómez para la elaboración de los paneles con una modificación en su composición.

3.1.3.2 Microscopia electrónica de barrido

En la Figura 3.3 se muestra la fotografía obtenida en el equipo de microscopia electrónica de barrido (MEB), de acuerdo a la metodología descrita en la sección 2.1.3.4, en la que se puede observar la existencia de cristales en la muestra de yeso, que permite una clasificación en función de la cristalización que se produce en el yeso. Cabe recalcar que la muestra analizada tiene en su composición mayoritaria un 55 % de gypsum, por lo que se considera que lo que se observa en la fotografía corresponden a los cristales de gypsum.

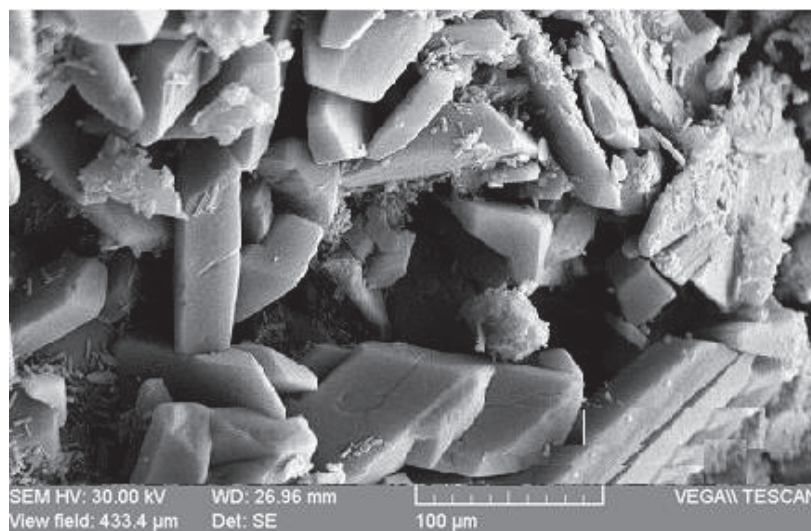


Figura 3.3. Fotografía en MEB del yeso

La Figura 3.4 corresponde a una muestra de piedra pómez, de la materia prima que se emplea para la elaboración de los paneles, en la que se puede observar la cantidad de poros que presenta el material. No presentan un tamaño de poro uniforme que hace que la densidad de la misma sea baja. Sin embargo, para el objetivo de la experimentación, nos permite tener la certeza que incorporar piedra pómez a la composición del panel aligerará al mismo debido a la porosidad que presenta la piedra pómez.

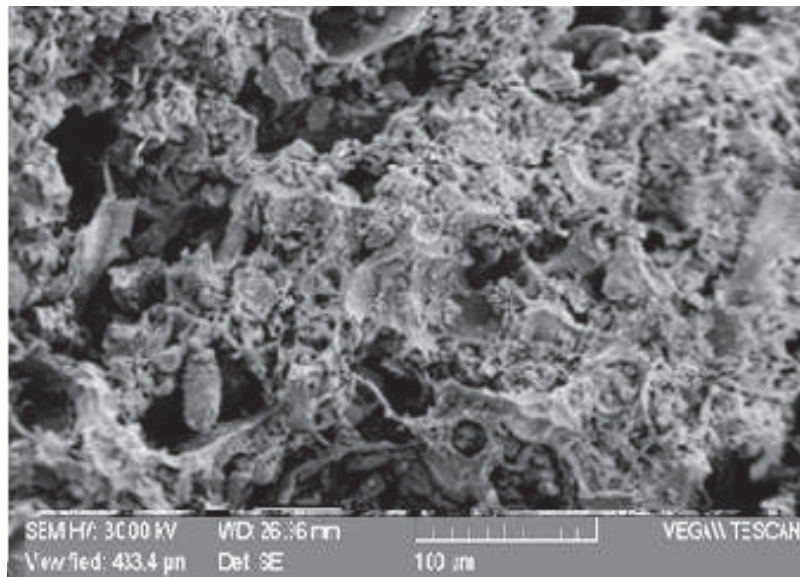


Figura 3.4. Fotografía en MEB de piedra pómez

3.2 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE DISTINTOS PORCENTAJES DE PIEDRA PÓMEZ SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN QUE PRESENTA EL PANEL

A continuación se presentan los resultados de la evaluación de la influencia de la piedra pómez sobre los paneles de yeso, se procedió según esta indicado en la sección 2.2.1.

Las diferentes composiciones sugeridas para el presente estudio, tienen una variación del 10 % tanto de aumento para la piedra pómez, como de descenso en el porcentaje del yeso, respectivamente para cada panel evaluado.

Se considera como límite la composición del panel de 50 % yeso y 50 % piedra pómez, debido a que con esta composición existe una formación considerable de poros en la superficie del panel de 30x21x1 cm, como se indica en la Figura 3.5, y la coloración predominante es gris, por lo que tendría gran diferencia con el panel de yeso comercial que se encuentra actualmente en el mercado. Por otro lado la resistencia a la ruptura que presenta este panel es baja, ya que al mínimo esfuerzo se presentan fisuras y rupturas en la superficie del panel.



Figura 3.5. Panel yeso-piedra pómez con una composición 50/50

Una vez elaborados los paneles fueron sometidos a un esfuerzo mecánico manual con el fin de obtener una evaluación previa de la composición del panel yeso-piedra pómez que cumpla con este ensayo preliminar.

La composición que presentó las condiciones apropiadas luego de la evaluación previa fue el panel con un 70 % de yeso y 30 % de piedra pómez, que presenta una textura uniforme en su superficie, sin perder la coloración blanquecina característica de los paneles de yeso comerciales, como se indican en la Figura 3.6.

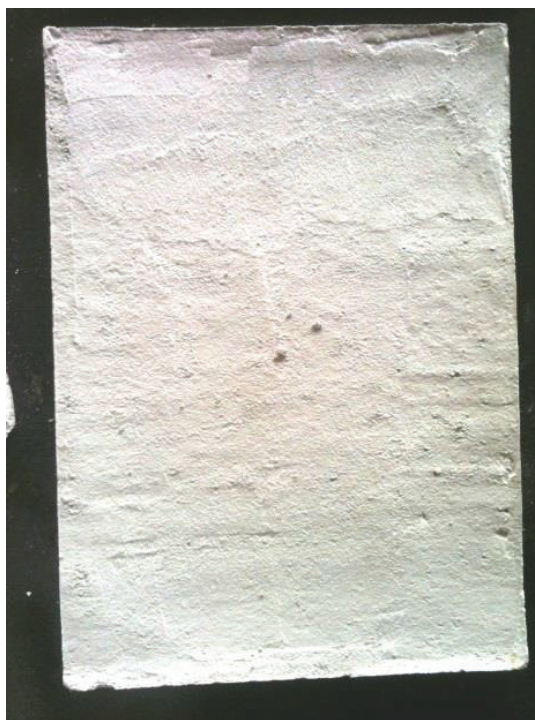


Figura 3.6. Panel yeso-piedra pómez con una composición 70/30

Se debe mencionar que los paneles con un contenido mayor al 70 % de yeso, también presentan buena resistencia al esfuerzo mecánico manual, pero en este caso no se consideran estas composiciones como composiciones apropiadas porque la cantidad de piedra pómez no es representativa en función del objetivo general del estudio.

En la Tabla 3.7 se presentan los paneles elaborados con las distintas composiciones como se indican en la Tabla 2.1 y las observaciones de cada uno.

Tabla 3.7. Observaciones de los paneles elaborados





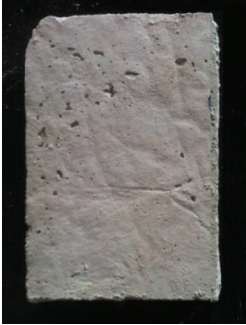


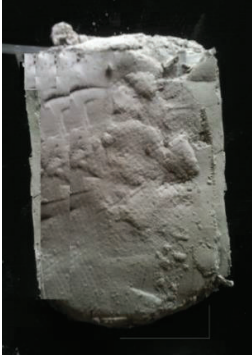
Composición	Foto	Observaciones
100 % yeso		<ul style="list-style-type: none"> • No presenta porosidad • Coloración predominante blanca del yeso • Facilidad de transporte • Resistente a la ruptura manual
90 % yeso 10 % piedra pómez		<ul style="list-style-type: none"> • No presenta porosidad en la superficie • Coloración predominante blanquecina del yeso • Facilidad de transporte • Resistente a la ruptura manual
80 % yeso 20 % piedra pómez		<ul style="list-style-type: none"> • No presenta porosidad en la superficie • Coloración predominante blanquecina del yeso con leves tonos grises de la piedra pómez • Facilidad de transporte • Resistente a la ruptura manual
70 % yeso 30 % piedra pómez		<ul style="list-style-type: none"> • No presenta porosidad en la superficie • Coloración predominante blanquecina del yeso con leves tonos grises de la piedra pómez • Facilidad de transporte • Resistente a la ruptura manual

Tabla 3.7. Observaciones de los paneles elaborados (continuación)

Composición	Foto	Observaciones
<p>60 % yeso 40 piedra pómez</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Presenta mínima porosidad en la superficie • Coloración predominante grisácea de la piedra pómez • Dificultad de transporte • Baja resistencia a la ruptura manual
<p>50 % yeso 50 % piedra pómez</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Alta presencia de poros en la superficie • Coloración predominante grisácea de la piedra pómez • Dificultad de transporte • Baja resistencia a la ruptura manual
<p>70 % yeso 30 % piedra pómez Polipropileno laminar</p>		<ul style="list-style-type: none"> • No existe presencia de poros en la superficie • Coloración predominante blanquecina del yeso con leves tonos grises de la piedra pómez • Facilidad de transporte • Mejora la resistencia a la ruptura manual
<p>70 % yeso 30 % piedra pómez Polipropileno en fragmentos</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Presenta una superficie irregular sin porosidad • Coloración predominante blanquecina del yeso con leves tonos grises de la piedra pómez • Facilidad de transporte • Baja resistencia a la ruptura

Para corroborar la selección de la mejor composición del panel, se realizaron ensayos previos de resistencia a la compresión con variaciones de las composiciones en los paneles, en la máquina universal de ensayos Tinius Olsen H25KS, del laboratorio de materiales compuestos de la EPN. Los resultados obtenidos de los ensayos previos de compresión se presentan en la Figura 3.7.

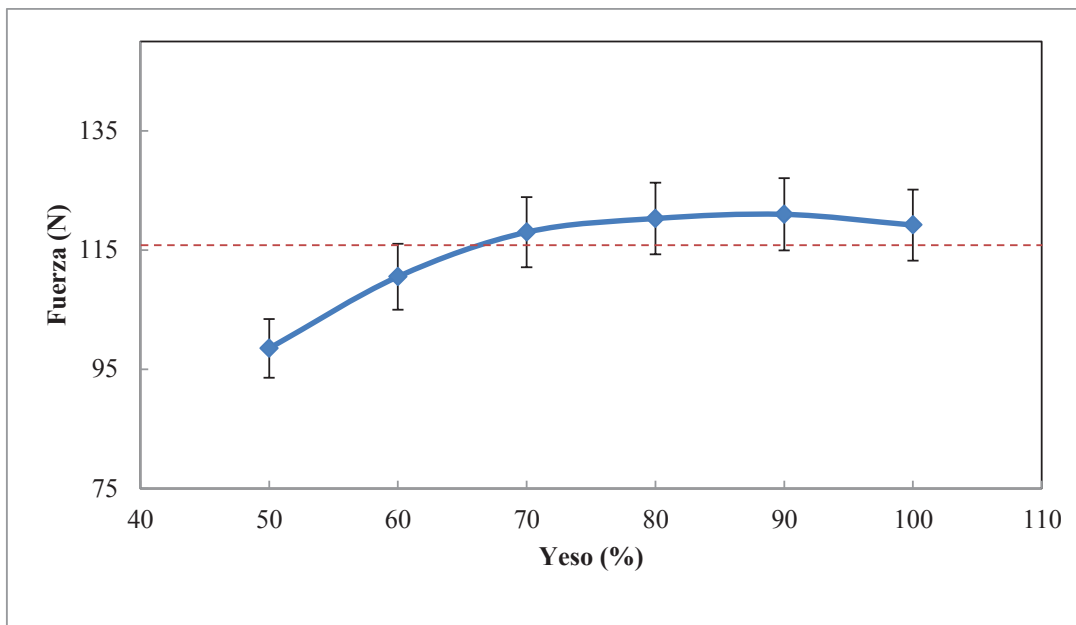


Figura 3.7. Resistencia a la compresión en función de la composición del panel

De acuerdo con la norma ASTM 1396, la resistencia a la compresión que debe presentar debe ser de 116 N, como se puede apreciar en la Figura 3.7, la composición del panel que más se aproxima a la norma es la que contiene 70 % de yeso, con una resistencia de 118 N, con lo que se comprueba que la selección de la composición luego del esfuerzo mecánico manual fue acertado.

La resistencia a la compresión de los paneles con un contenido menor al 70 % de yeso se presenta por debajo de lo requerido en la norma, por lo que se descarta este tipo de composiciones para futuros ensayos para evitar un gasto innecesario de la materia prima disponible.

Adicionalmente, se considera como variable la granulometría de la piedra pómez, por lo que fue necesario realizar paneles yeso-piedra pómez con la composición 70/30, con variaciones de la granulometría de la piedra pómez.

El juego de tamices considerados para este análisis son cinco que corresponden a las mallas No. 25 (710 μm), 30 (600 μm), 35 (500 μm), 40 (425 μm) y 45 (355 μm), para lo que se debió obtener la cantidad necesaria de piedra pómez de cada malla para cumplir con la condición de tener una composición de 70/30.

El material perteneciente a la malla No. 25 presentó complicaciones en la elaboración del panel, por causa del tamaño de partícula que presenta el material es de 710 μm , no permite lograr una buena adherencia entre el yeso y la piedra pómez por lo que es imposible tener una mezcla maleable para formar el panel, como se indica en la Figura 3.8.



Figura 3.8. Elaboración del panel yeso-piedra pómez con granulometría de 710 μm

Se realizaron ensayos de compresión de los paneles que tienen como variable la granulometría de la piedra pómez, y se mantuvo como un parámetro constante la composición del panel de 70/30. Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 3.9

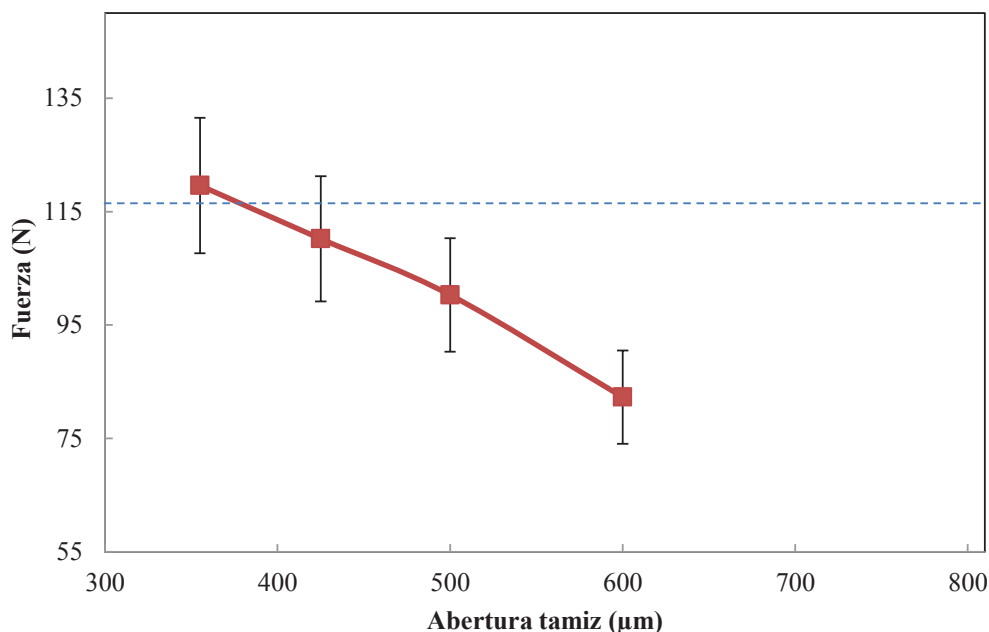


Figura 3.9. Resistencia a la compresión en función de la abertura de tamiz

En la Figura 3.9 se presentan los valores correspondientes a las aberturas de tamiz de 355, 425, 500 y 600 μm , con las cuales fue posible elaborar el panel para la evaluación del mismo.

Se toma como referencia nuevamente la resistencia a la compresión (116 N) que indica la norma ASTM 1396, lo que permite observar que el panel que más se aproxima a la resistencia mencionada en la norma es el panel que se elaboró con piedra pómez de un tamaño de partícula de 355 μm , correspondiente a la malla No. 45, con una resistencia de 119,6 N. Por este motivo esta granulometría se considera para futuros ensayos. Con esta granulometría la piedra pómez presenta una mejor adherencia con el yeso, que permite tener un panel manejable para próximos ensayos y transporte.

Además, estos valores respecto a la granulometría seleccionada para ensayos futuros, es corroborada con el d_{80} que presenta la piedra pómez que es de 355 μm , por esta razón la piedra pómez recibida como materia prima no necesita de ningún proceso adicional de reducción de tamaño.

3.2.1 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Para realizar los ensayos adicionales de la resistencia a la compresión se procedió como se indica en la sección 2.2.1, en la Figura 3.10, se muestran el total de probetas elaboradas para la determinación de la resistencia en la máquina de ensayos universales del laboratorio de materiales compuestos de la Facultad de Ingeniería Civil, de la EPN.



Figura 3.10. Probetas para ensayos de resistencia a la compresión

Las probetas elaboradas corresponden a una variación en la composición de la probeta, por motivos de disponibilidad para realizar los ensayos en el laboratorio también se elaboraron probetas con una composición constante de 70/30 pero con variaciones en otros parámetros como la granulometría de la piedra pómez, temperatura del agua y forma de la adición del polipropileno, estas dos últimas variaciones serán analizadas más adelante.

Los resultados referentes a la resistencia a la compresión con respecto a la composición del panel se presentan en la Figura 3.11.

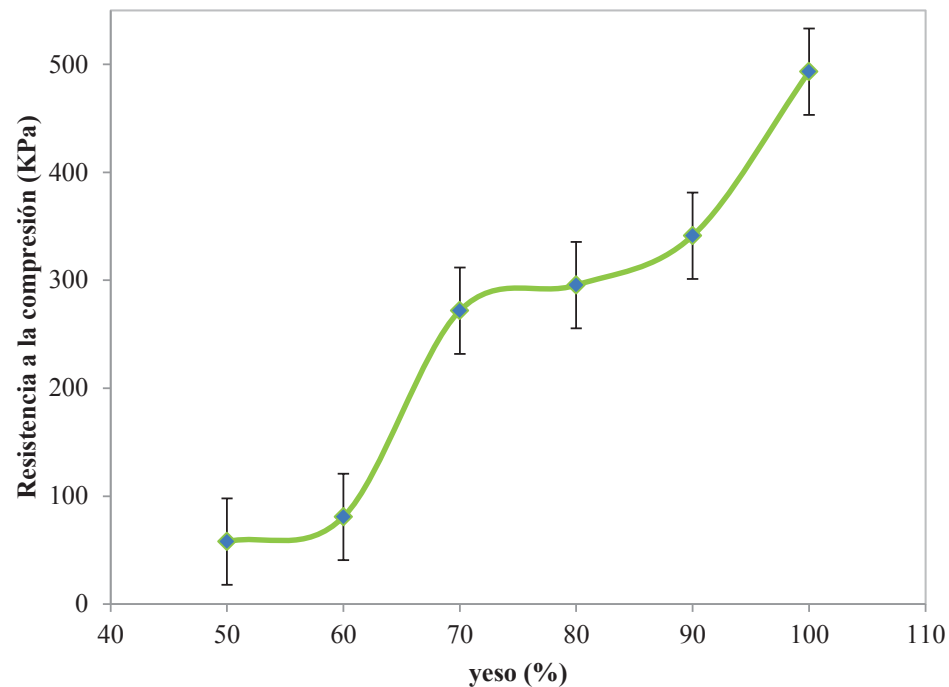


Figura 3.11. Resistencia a la compresión con respecto a la composición del panel

La resistencia a la compresión en este ensayo se evalúa en KPa, lo que permite tener una mejora en la apreciación acerca de la presión que se ejerce sobre la probeta ensayada.

Se puede observar que la resistencia que presentan los paneles con 70 y 80 % de yeso son de 271,91 y 295,56 KPa respectivamente, por lo que se considera como valores similares, que permiten seleccionar cualquiera de estas composiciones para futuros ensayos.

Sin embargo, de acuerdo a los ensayos previos realizados se determinó que la composición idónea para el panel es de 70/30, selección que es ratificada con este ensayo. Además, también indica que los paneles con composiciones menores a 70 % de yeso presentan una baja resistencia a la compresión como se mostró anteriormente en la Figura 3.7.

En la Figura 3.12, se muestran los resultados de los ensayos de compresión con respecto a la granulometría de la piedra pómez.

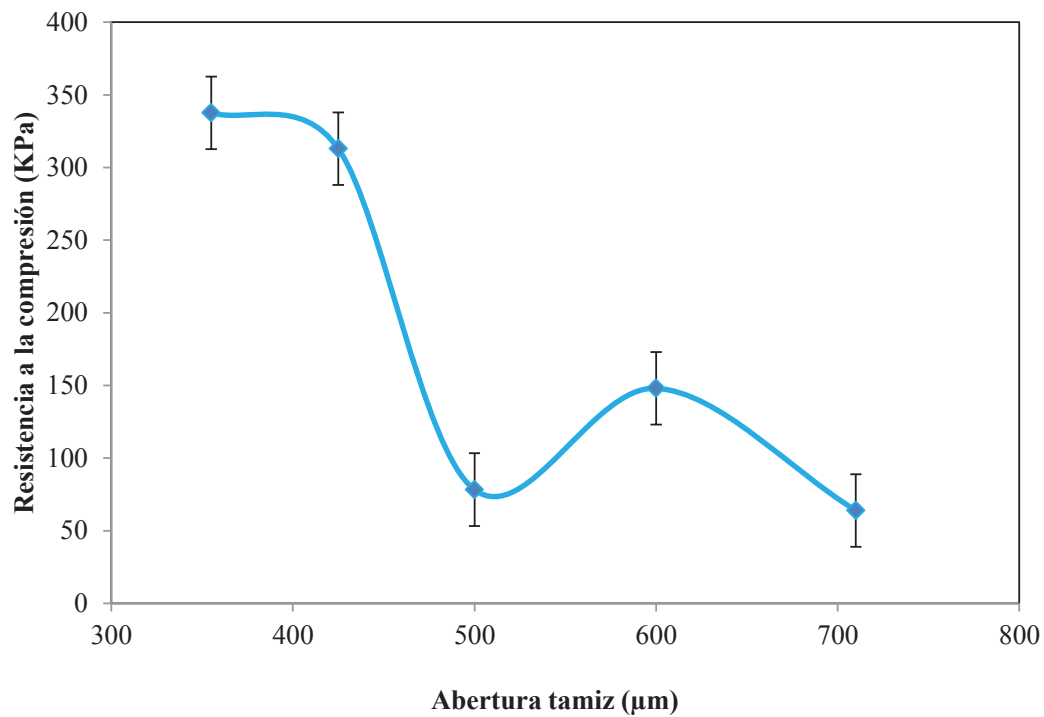


Figura 3.12. Resistencia a la compresión con respecto a la abertura de tamiz para la piedra pómez

Es evidente que los paneles que presentan mayor resistencia a la compresión, son los paneles elaborados con piedra pómez de granulometría más fina, los correspondientes a los tamices con abertura 425 y 355 μm .

No obstante se considera como una granulometría apropiada la piedra pómez con tamaño de partícula de 355 μm , por lo discutido anteriormente referente al d_{80} de la piedra pómez.

El valor de resistencia a la compresión es de 337,65 KPa, lo que indica un aumento en la resistencia comparado con el valor de la resistencia del panel con una composición 70/30 de 271,91 KPa de la Figura 3.11, por esta razón es de mayor beneficio trabajar con granulometría fina, para conseguir una mejor adherencia entre los materiales.

3.2.2 RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO

En la Figura 3.13, se indican los resultados de los ensayos que se tomó como variable la temperatura del agua empleada para la elaboración del panel.

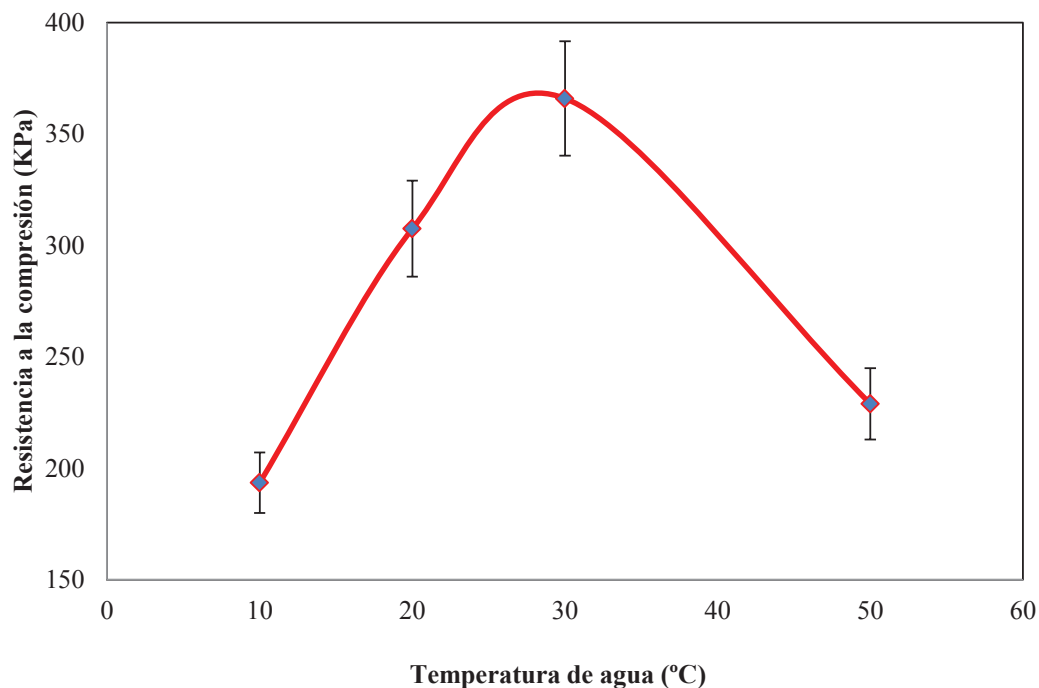


Figura 3.13. Resistencia a la compresión con respecto a la temperatura del agua

Los valores de resistencia a la compresión respecto a la temperatura del agua presentan su máxima resistencia cuando se trabaja con temperatura del agua de 30 °C, pero no debe pasar desapercibido el valor que se obtiene cuando se trabaja a 20 °C, que es de 307,49 KPa, valor que se encuentra entre los valores antes obtenidos tanto de la composición del panel como de la granulometría de la piedra pómez.

Cabe recalcar que un excesivo aumento en la temperatura del agua (50 °C), no favorece a la resistencia a la compresión, porque disminuye la misma, como se observa en la Figura 3.13.

Es de mayor utilidad para el proceso trabajar con agua a una temperatura de 20 °C, porque esta temperatura se considera como temperatura ambiente, por lo que no es necesario someter el agua a un proceso de calentamiento para alcanzar los 30 °C, y mejorar las condiciones de resistencia a la compresión. Por lo que es un gasto innecesario el tener agua a 30 °C.

3.3 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE POLIPROPILENO SOBRE LA RESISTENCIA DEL PANEL DE YESO-PIEDRA PÓMEZ

Para evaluar la influencia de la adición del polipropileno al panel se realizaron ensayos de resistencia a la compresión de probetas que contienen en su composición polipropileno (PP) tanto de forma laminar como en forma de fragmentos, como se indica en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8. Resistencia a la compresión de probetas con PP

	Forma Laminar	Forma de fragmentos
Resistencia (KPa)	350,75	301,47

En la Tabla 3.7, se puede observar la apariencia que tienen los paneles de elaborados con la incorporación de polipropileno, donde se nota claramente que el panel que contiene fragmentos no presenta una buena textura en su superficie en comparación con el panel que contiene en forma laminar. El polipropileno de forma laminar no se observa con facilidad en la superficie del panel, además los resultados de los ensayos de compresión se determina que soporta mayor carga que reporta un valor de 350,8 KPa que es mayor con el valor de la resistencia del panel con una composición 70/30 y granulometría de piedra pómez de 355 µm de 337,65 KPa de la Figura 3.12, por lo que se evidencia una mejoría de la resistencia a la compresión.

3.4 DEFINICIÓN DEL DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PANELES YESO-PIEDRA PÓMEZ-POLIPROPILENO Y DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

Para la determinación del diagrama de flujo y el dimensionamiento de los equipos para el funcionamiento de la planta de fabricación de paneles de yeso-piedra pómez-polipropileno, es necesario tomar en cuenta los resultados obtenidos a nivel de laboratorio de las secciones 3.1, 3.2, y 3.3, con base en estos resultados y la capacidad de la planta de 100 kg/día. Se realizó un diseño conceptual de la planta.

Cabe mencionar que la capacidad de planta se escogió en función de la producción que se da actualmente de paneles de yeso. El tener una capacidad de 100 kg/día de la planta permite mejorar las condiciones de producción de los paneles, que permite catalogar a la producción de la planta como semi artesanal. Si bien la composición es distinta por la adición de los materiales alternativos agregados, el fin del panel es ser competitivo en cuanto a características y precio con el panel de yeso comercial que se encuentra en el mercado.

3.4.1 DETERMINACIÓN DEL DIAGRAMA DE FLUJO

La mejor composición para la elaboración de los paneles consta de una composición de 70 % yeso y 30 % piedra pómez, como se indica en la sección 3.2.

Además, también se consideró la granulometría de la materia prima, en especial la granulometría de la piedra pómez que fue la que presentó mayor variación de tamaño de partícula. Sin embargo con los resultados obtenidos en la sección 3.2.1, indican que el tamaño de partícula para la elaboración de los paneles es de 355 μm , que corresponde al d_{80} de la piedra pómez. La granulometría del yeso es

muy fina, por lo que no se ve la necesidad de tener un tratamiento previo a las materias primas.

La temperatura a emplear en la elaboración de los paneles es de 20 ° C, temperatura que se considera como temperatura ambiente, lo que facilita el disponer agua a esa temperatura.

Para el polipropileno presentó una mejora en la resistencia a la compresión el agregar en forma laminar.

Se consideraron las características del producto, se tomó en cuenta las cantidades empleadas para la elaboración de un panel con dimensiones 100x100x1 cm, que se presentan en la Tabla 3.9

Tabla 3.9. Características de un panel elaborado

Producto	Composición 70% yeso y 30% piedra pómez	
Materia prima	Yeso (kg)	7
	Piedra pómez (kg)	3
Insumos	Agua (l)	10
	Polipropileno (m ²)	1

Con base en los mejores resultados que se mencionaron anteriormente y las características se realiza un diseño conceptual del proceso para la fabricación de paneles yeso-piedra pómez-polipropileno.

A continuación se presentan las condiciones que deben cumplir ciertas etapas del proceso. En la Tabla 3.10 se indican las condiciones de operación del tanque homogeneizador.

Tabla 3.10. Condiciones de operación del tanque homogeneizador

Revoluciones del agitador helicoidal (rpm)	400
Tiempo de agitación (min)	10

En la Tabla 3.11 se muestran las condiciones operativas para la etapa de agitación de la mezcla pastosa de yeso-piedra pómez-agua

Tabla 3.11. Condiciones operativas de la agitación de mezclado

Revoluciones del agitador helicoidal (rpm)	200
Tiempo de agitación (min)	5

La Tabla 3.12, presentan las condiciones operativas de la estufa.

Tabla 3.12. Condiciones operativas de la estufa en el área de secado

Temperatura de secado	70
Tiempo de residencia (min)	30

A partir de las condiciones de operación detalladas en las tablas anteriores se realizaron los balances de masa y energía para la planta.

Para el balance de masa de tomó en cuenta la capacidad de producción diaria de la planta de 100 kg/día, de acuerdo a los resultados obtenidos se elaboraron un diagrama de flujo del proceso, así como también un diagrama PFD de la planta, como se muestra en la Figura 3.14y Figura 3.15 respectivamente.

Para el balance de energía se consideró las potencias de los equipos, la cual se tomó de los catálogos de cada equipo que se muestran en el Anexo IV. La tarifa para los cálculos del consumo de energía es 0,11 USD/kW. En la Tabla 3.13 se indican los consumos de energía.

Tabla 3.13. Costos por consumo de energía

Equipo	Cantidad	Potencia (kW.h)	Horas/día (h/día)	Energía/día (kW)	Costo/día (USD/día)
Tanque de homogeneización	1	2,50	8,0	20	2,20
Banda transportadora	1	0,12	8,0	0,96	0,11

Tabla 3.13. Costos por consumo de energía (continuación)

Equipo	Cantidad	Potencia (kW.h)	Horas/día (h/día)	Energía/día (kW)	Costo/día (USD/día)
Agitador mecánico	1	1,50	8,0	12	1,32
Prensa hidráulica	1	11	8,0	88	9,68
Estufa	1	6,20	8,0	49,6	5,45
TOTAL	170,56	18,76			

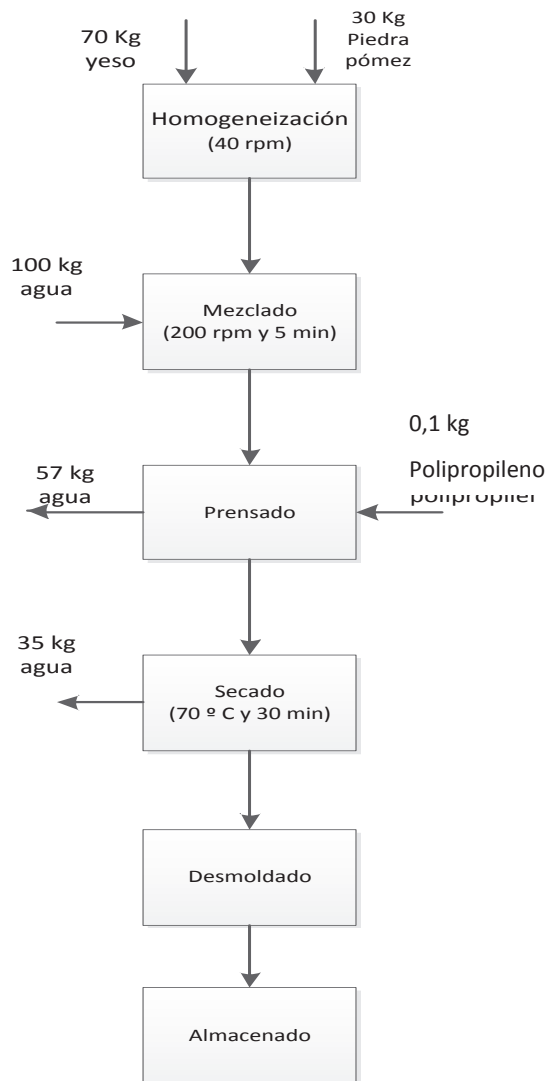
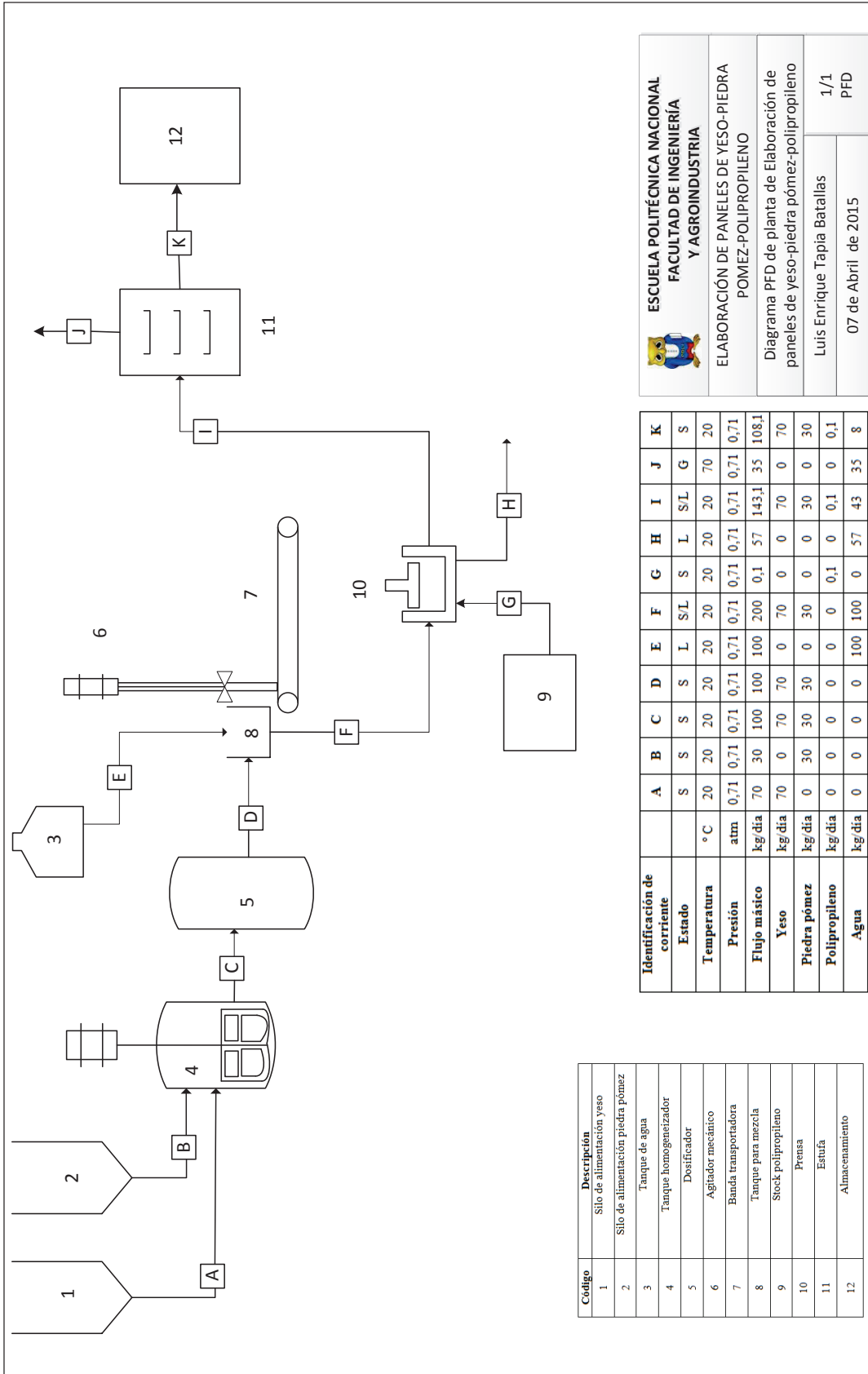



Figura 3.14. Diagrama de bloques del proceso de fabricación de un panel de yeso-piedra pómez-polipropileno



Código	Descripción
1	Silo de alimentación yeso
2	Silo de alimentación piedra pómez
3	Tanque de agua
4	Tanque homogeneizador
5	Dosificador
6	Agitador mecánico
7	Banda transportadora
8	Tanque para mezcla
9	Stock polipropileno
10	Prensa
11	Estufa
12	Almacenamiento

Identificación de corriente	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Estado	S	S	S	S	L	S/L	S	L	S/L	G	S
Temperatura	° C	20	20	20	20	20	20	20	20	70	20
Presión	atm	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
Flujo másico	kg/día	70	30	100	100	200	0,1	57	143,1	35	108,1
Yeso	kg/día	70	0	70	70	0	70	0	70	0	70
Piedra pómez	kg/día	0	30	30	30	0	30	0	30	0	30
Polipropileno	kg/día	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0,1
Agua	kg/día	0	0	0	0	100	100	0	57	43	35


ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
Y AGROINDUSTRIA

ELABORACIÓN DE PANELES DE YESO-PIEDRA PÓMEZ-POLIPROPILENO

Diagrama PFD de planta de Elaboración de paneles de yeso-piedra pómez-polipropileno

Luis Enrique Tapia Batallas
 07 de Abril de 2015

1/1
 PFD

Figura 3.15. Diagrama PFD de la planta para la fabricación de paneles de yeso-piedra pómez-polipropileno

3.4.2 DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

De acuerdo a la maquinaria y equipos que requiere el proceso de fabricación se debe realizar un diseño del tanque de reserva para el agua, el tanque homogeneizador, los silos de alimentación al proceso de yeso y piedra pómez.

A continuación se presentan los dimensionamientos para cada equipo, se toma como factor de seguridad de 1,2, que corresponde al sobredimensionamiento de un 20 %.

Para el dimensionamiento de los equipos se consideró la producción semanal de la planta, es decir, tener una producción semanal de 50 paneles de yeso-piedra pómez-polipropileno (500 kg/semana), las cantidades consideradas para el dimensionamiento se presentan en la Tabla 3.14

Tabla 3.14. Cantidades semanales de materias primas para producción

Material	Capacidad	Capacidad con factor de seguridad de 1.2
Yeso (kg)	350	420
Piedra pómez (kg)	150	180
Agua (m ³)	500	600

Los cálculos de los dimensionamientos de cada equipo se presentan en el Anexo V, en las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos de los dimensionamientos de los equipos.

Tabla 3.15. Dimensionamiento del tanque de agua

Volumen de diseño (m³)	Diámetro (m)	Altura (m)
0,6	1,0	0,76

Tabla 3.16. Dimensionamiento del tanque de homogeneizador

Volumen de diseño (m ³)	Diámetro (m)	Altura (m)
1,1	1,0	1,4

Tabla 3.17. Dimensionamiento de los silos de alimentación

Materia prima	Volumen de diseño (m ³)	Diámetro (m)	Altura (m)
Yeso	0,35	0,80	0,90
Piedra pómez	0,20	0,60	0,84

3.4.3 DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS EN PLANTA

En función de los requerimientos del proceso, los dimensionamientos de los equipos, se realizó una distribución de los equipos en la planta.

Se presenta un Lay Out de la planta, en la Figura 3.16, con una distribución de los equipos de manera que cada equipo cuente con las instalaciones necesarias para su correcto funcionamiento. Adicionalmente los equipos están distribuidos de tal manera que se pueda identificar a la planta por zonas de acuerdo al proceso empleado. Además se encuentra identificada el área de oficinas, baños y vestidores para el personal, es una distribución interna de la planta. El área total del terreno es de 800 m² y el área de construcción de la planta consta de 375 m².

3.5 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA PRE FACTIBILIDAD ECONOMICA PARA INSTALACIÓN DE LA PLANTA

Para realizar el análisis se debe considerar los costos de cada elemento que interviene en la producción de los paneles de yeso-piedra pómez-polipropileno para elaborar el flujo de caja neto anual que permitirá calcular los indicadores financieros TIR y VAN que determinan la viabilidad del proyecto.

En la Tabla 3.18 se indica cada equipo necesario para iniciar la producción de los paneles, y en la Tabla 3.19 se indica los utensilios que se utilizarán para transportar y complementar la elaboración de los paneles de yeso.

Tabla 3.18. Maquinarias y Equipos

MAQUINARIA Y EQUIPO	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	P. UNITARIO	P. TOTAL + INFLACIÓN
Tanque de Agua	unidad	1	\$ 150,00	\$ 150,00
Tanque de Homogenización	unidad	1	\$ 3 500,00	\$ 3 500,00
Dosificador y agitador	unidad	1	\$ 1 000,00	\$ 1 000,00
Agitador mecánico	unidad	1	\$ 800,00	\$ 800,00
Silo de Alimentación	unidad	2	\$ 500,00	\$ 1.000,00
Banda transportadora	unidad	1	\$ 700,00	\$ 700,00
Estufa de secado	unidad	1	\$ 1 000,00	\$ 1 000,00
SUBTOTAL				\$ 8 150,00
Varios e imprevistos, 2%		2%		\$ 163,00
TOTAL				\$ 8 313,00

Tabla 3.19.Herramientas menor

CLASE	UNIDAD MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Tanques para mezclas	unidad	10	\$ 20,00	\$ 200,00
Prensas	unidad	5	\$ 200,00	\$ 1 000,00
SUBTOTAL				\$ 1 200,00
Varios e imprevistos, 2%		2%		\$ 24,00
TOTAL				\$ 1 224,00

Se toma en cuenta que es una planta de producción pequeña, no se necesita variedad de personal que controle el funcionamiento de la misma, es así, que solo se considerará un operario y un gerente los mismos que tendrán funciones compartidas al momento de producir los paneles, como se muestra en la Tabla 3.22.

Tabla 3.22. Remuneraciones

MANO DE OBRA DIRECTA	1	2	3	4	5
Operario	1	1	1	1	1
Sueldo unificado	400	400	400	400	400
Décimo tercero	33,33	33,33	33,33	33,33	33,33
Décimo cuarto	59,00	59,00	59,00	59,00	59,00
Vacaciones	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67
Aportes al IESS	48,60	48,60	48,60	48,60	48,60
Fondos de reserva	33,33	33,33	33,33	33,33	33,33
TOTAL REMUNERACION	590,93	590,93	590,93	590,93	590,93
Meses	12	12	12	12	12
TOTAL REMUNERACION ANUAL	7 091,20	7 091,20	7 091,20	7 091,20	7 091,20
TOTAL MANO DE OBRA DIRECTA	7 091,20	7 091,20	7 091,20	7 091,20	7 091,20
GASTOS ADMIN. Y REMUNERACIONES					
Gerente	1	1	1	1	1
Sueldo unificado	500	500	500	500	500
Décimo tercero	41,67	41,67	41,67	41,67	41,67
Décimo cuarto	59,00	59,00	59,00	59,00	59,00
Vacaciones	20,83	20,83	20,83	20,83	20,83
Aportes al IESS	60,75	60,75	60,75	60,75	60,75
Fondos de reserva	41,67	41,67	41,67	41,67	41,67
TOTAL REMUNERACION	723,92	723,92	723,92	723,92	723,92
Meses	12	12	12	12	12
TOTAL REMUNERACION ANUAL	8 687,00	8 687,00	8 687,00	8 687,00	8 687,00
TOTAL GASTOS ADMIN. Y REMUNERACIONES	8 687	8 687	8 687	8 687	8 687
TOTAL EGRESOS	15 778	15 778	15 778	15 778	15 778

Adicionalmente, se debe considerar gastos que son necesarios, como se indican en la Tabla 3.23.

Tabla 3.23. Gastos

GASTOS ADMINISTRATIVOS	1	2	3	4	5
Suministros y materiales	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
TOTAL GASTOS	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
GASTOS DE VENTAS	1	2	3	4	5
Publicidad	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
TOTAL GASTOS	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
GASTOS DE PRODUCCIÓN	1	2	3	4	5
Herramientas de limpieza	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
Implementos de trabajo (Vestimenta)	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00
TOTAL GASTOS DE PRODUCCIÓN	800,00	800,00	800,00	800,00	800,00
TOTAL GASTOS ADMINISTRATIVOS, VENTAS, PRODUCCIÓN	1 400,00	1 400,00	1 400,00	1 400,00	1 400,00

Para el cálculo del capital de trabajo se incluyen todos los costos y gastos que se incurren en la adecuación de la planta de producción y la producción, como se muestran en la Tabla 3.24 los mismos se conocen también como costos de operación que ayudarán posteriormente a identificar la utilidad.

Tabla 3.24. Capital de Trabajo

CAPITAL DE TRABAJO	
CUENTA	VALOR
Insumos	16 653,74
Mano de obra directa	7 091,20
Gastos de administración y ventas	600,00
Seguro de producción	863,74
Mantenimiento de producción	863,74
Otros gastos de producción	800,00
Total grupo cuentas capital trabajo	26 872,42
Imprevistos	537,45
TOTAL CAPITAL DE TRABAJO	27 409,87

En la Tabla 3.25 se puede observar los ingresos y egresos que tiene el proyecto:

Tabla 3.25. Ingresos y Egresos

INGRESOS Y EGRESOS					
PRODUCTOS	1	2	3	4	5
Cantidad producción	2 400	2 400	2 400	2 400	2 400
PRECIOS:					
Precio Venta	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
TOTAL COSTOS INGRESOS	48 000	48 000	48 000	48 000	48 000
INGRESOS POR VENTAS	48 000	48 000	48 000	48 000	48 000
Ingresos operacionales	1	2	3	4	5
Ingreso mensual		4 000	4 000	4 000	4 000
Ingreso operacional	48 000	44 000	44 000	44 000	44 000
Tabla de ingresos y egresos	1	2	3	4	5
INGRESOS					
Ventas	48 000	48 000	48 000	48 000	48 000
TOTAL DE INGRESOS	48 000	48 000	48 000	48 000	48 000
EGRESOS					
Costo de producción					
Insumos	16 654	16 654	16 654	16 654	16 654
Mano de obra	7 091	7 091	7 091	7 091	7 091
TOTAL COSTOS DE PRODUCCIÓN	23 745	23 745	23 745	23 745	23 745
Gastos de producción	1	2	3	4	5
Mantenimiento activos productivos	864	864	864	864	864
Seguros activos productivos	864	864	864	864	864
Depreciaciones activos productivos	2 740	2 740	2 740	2 536	2 536
Otros gastos de producción	800	800	800	800	800
TOTAL GASTOS DE PRODUCCIÓN	5 268	5 268	5 268	5 064	5 064
Gastos de administración y ventas	1	2	3	4	5
Remuneraciones	8 687	8 687	8 687	8 687	8 687
Gastos de ventas	300	300	300	300	300
Depreciaciones activos administrativos	1 776	1 776	1 776	1 776	1 776

Tabla 3.25. Ingresos y egresos (continuación)

PRODUCTOS	1	2	3	4	5
Seguros activos administrativos	11	11	11	11	11
Mantenimiento activos administrativos	11	11	11	11	11
Amortización activos diferidos	80	80	80	80	80
Otros gastos de administrativos	300	300	300	300	300
TOTAL GASTOS DE ADMINISTRACIÓN Y VENTAS	11 165	11 165	11 165	11 165	11 165
COSTOS TOTALES	16 433	16 433	16 433	16 229	16 229
TOTAL COSTOS	40 178	40 178	40 178	39 974	39 974

Para terminar la evaluación de la factibilidad del proyecto se calcula la Tasa Mínima de Descuento TMAR y a partir de esta el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), cuyos resultados se presentan a continuación, en la Tabla 3.26

Tabla 3.26. Tasa mínima aceptable de retorno

ACCIONISTAS	% APORTACIÓN	RENDIMIENTO PEDIDO	PROMEDIO PONDERADO
Inversionistas	20%	0,077	0,0154
Institución financiera	80%	0,116	0,0924
TMAR MIXTA DE LA EMPRESA:			10,78%

Para el cálculo del VAN se realiza el flujo de caja neto proyectado a 5 años, que se estima la duración del proyecto.

Al referirse a la TIR se puede mencionar que, si un proyecto tiene una TIR del 10% que invierte en el mercado en activos financieros, puede conseguirse, para el mismo plazo, una rentabilidad del 6%, significa que el proyecto es buena, pues permite obtener una rentabilidad superior a la de la inversión alternativa.

La Tasa Interna de Retorno equivale a la tasa de interés producida por un proyecto de inversión con valores negativos (egresos) y valores positivos (ingresos) que se producen en períodos regulares.

La TIR está relacionada directamente con el VAN, puesto que, es la tasa de interés correspondiente a un Valor Actual Neto 0 (cero).

A continuación se presentan los resultados obtenidos del cálculo de estos indicadores en la Tabla 3.27:

Tabla 3.27. TIR y VAN

Indicador	Valor
VAN (USD)	23 185,00
TIR (%)	11,60

Al finalizar el análisis de los resultados de los indicadores se puede observar que los dos son positivos por lo que el proyecto es rentable. La TIR es mayor al interés del mercado que está reflejado en el 10%; mientras el VAN hará que el capital de trabajo inicial que fue de \$72 371,67 se incremente en \$23 185.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Para la elaboración de los paneles de yeso-piedra pómez-polipropileno se debe de disponer de materia prima caracterizada física, química y mineralógicamente, con el fin de determinar los parámetros que pueden afectar o no al proceso, en este caso el pH se descarta como variable porque tanto el yeso como la piedra pómez tienen un pH neutro.
- La densidad con la que se trabajó para la elaboración de paneles es la densidad aparente que para el yeso es de $1,2 \text{ g/cm}^3$ y para la piedra pómez de $0,8 \text{ g/cm}^3$, debido a que se dispone de materia prima a granel y en el caso de la piedra pómez posee poros que afectan directamente a la densidad real.
- La influencia que presenta la granulometría de la piedra pómez es significativa porque cuando se tiene granulometría gruesa no permite tener una adherencia entre el yeso y la piedra pómez, por este motivo se trabaja con un d_{80} de $355 \mu\text{m}$, que corresponde al tamiz de malla # 45.
- El polipropileno es agregado en pequeñas cantidades comparado con la composición del panel. Sin embargo la presencia de polipropileno en el panel mejora la resistencia a la compresión del panel, cuando se le agrega de forma laminar y además permite evitar la fisura del mismo.
- El tener un incremento de temperatura en el agua implica costo de recursos, no obstante durante el proceso no presenta grandes variaciones en sus propiedades el utilizar agua a temperaturas mayores que la ambiente. Por tal motivo la temperatura del agua del proceso es de $20 \text{ }^\circ\text{C}$, considerada como temperatura ambiente.

- Con la finalidad de tener una adición representativa de piedra pómez en la composición del panel sin perder sus propiedades, se tiene que la mejor dosificación es el panel que contiene un 70 % de yeso y un 30 % de piedra pómez, el mismo que mantiene las propiedades exigidas por la norma.
- El diagrama de flujo obtenido tiene cuatro etapas que son acondicionamiento, prensado, secado y almacenado, este diagrama es el más viable para la elaboración de los paneles porque permite tener una buena distribución de los equipos a emplear, adicionalmente se ahorra en la contratación de personal para la planta.
- Los equipos que se utilizan en el proceso de la elaboración de los paneles son de fácil construcción, por lo que se los puede construir de acuerdo a la capacidad de producción, o por otra parte se puede adquirir construidos, puesto que si existen equipos en el mercado con las capacidades que necesita en planta.
- La distribución de los equipos en planta se realiza de una manera simple y sencilla para optimizar el proceso y el espacio, con el fin de evitar que el transporte de la materia prima como del producto entre las etapas del proceso sea largo, por lo que la infraestructura de la planta requiere de un espacio de 800 m².
- El análisis de pre factibilidad indica que el proyecto es viable, porque presenta indicadores económicos como el TIR y el VAN con valores positivos con un análisis para 5 años de funcionamiento de 11,60 % y 23 185 USD, respectivamente, con una producción mensual de 2000 kg con los que se elaboran 200 paneles de yeso-piedra pómez-polipropileno.

4.2 RECOMENDACIONES

- Realizar pruebas a nivel piloto de moldeo de paneles de yeso con dimensiones mayores a las analizadas en esta investigación, debido a los nuevos requerimientos que exige el mercado de la comercialización de este tipo de paneles.
- Probar la posibilidad de elaborar los paneles prefabricados con yeso de desecho obtenido del moldeo de sanitarios.
- Se recomienda investigar la influencia de la incorporación de agregados orgánicos tales como el aserrín o la cascara de arroz, a los paneles, con el fin de encontrar nuevos materiales alternativos para la elaboración de los paneles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aghazadeh, J., Sangghaleh, A., Nazari, A., y Purjavad, N. (2011). Analytical modeling of strength in randomly oriented PP and PPTA short fiber reinforced gypsum composites. *Computational Materials Science*, 50(5), 1 619-1 624.
2. Arce Pezo, X. (2000). *Hormigones Livianos*. Escuela Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
3. Azman, M., Ahamad, M., y Hussin, W. (2012). Comparative study on prefabrication construction process. *International Surveying Research Journal*, 2(1), 45-58.
4. Cáceres, F. (2000). *Pruebas de resistencia a la compresión y calidad de superficie del yeso piedra y yeso piedra mejorado en distintas proporciones*. Universidad Francisco Marroquin, Guatemala, Guatemala.
5. Caicedo, U., y Parra, A. (2010). Ecomateriales, Una solución de vivienda. *Investigation*(1), 5-23.
6. Callister, W. (2000). *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales*. Barcelona: Reverté.
7. Calvo, B., Gajardo, A., Maya, M., Proaño, G., y Jarrín, J. (2000). *Rocas y Minerales Industriales de Iberoamérica*. Madrid: Instituto Tecnológico Geominero de España.
8. Colavidas, F., Oteiza, I., y Salas, J. (2006). *Hacia una manualística universal de habitabilidad básica. Catalogo de componente, servicios e instalaciones de muy bajo costo*. Madrid, España: Maireia Libros.

9. Deniz, V. (2011). Investigation of the breakage parameters of gypsum as dependent on interstitial filling in a laboratory ball mill. *Granular Matter*, 13(4), 447.
10. García Santos, A. (2009). Escayola reforzada con fibras de polipropileno y aligerada. *Materiales de Construcción*, 59(293), 105-124.
11. Garg, M., y Jain, N. (2010). Waste gypsum from intermediate dye industries for production of building materials. *Construction and Building Materials*, 24(9), 1 632-1 637.
12. Gencil, O., del Coz, J., Sutcu, M., y Koksall, F. (2014). Properties of gypsum composites containing vermiculite and polypropylene fibers. *Energy and Buildings*, 70, 135-144.
13. González, F. (2005). *Caracterización de mezclas de residuos de poliestireno expandido conglomerados con yeso o escayola, su uso en la construcción*. Universidad Politecnica de Catanlunya, Barcelona, España.
14. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 687*.
15. Ismail, A., Elmaghraby, M., y Mekky, H. (2013). Engineering Properties, Microstructure and Strength development of lightweight concrete containing pumice aggregates. *Geotechnical and Geological Engineering*, 31(5), 1 465-1 476.
16. Karian, H. (2003). *Handbook of polypropylene and polypropylene composites*. Michigan: Marcel Dekker Inc.

17. Lascano, E., y Salazar, L. (2002). *Beneficios del uso de paneles prefabricados en la construcción de paredes de división de interiores*. (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil no publicado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
18. Leavitt, W., Johnstone, J., Lieske, J., y Shaeffer, P. (2000). *Manual de la Construcción con Yeso*. Chicago, Estados Unidos.
19. Li, Z., Shen, G., y Xue, X. (2014). Critical review of the research on the management of prefabricated construction. *Habitat International*, 43, 240-249.
20. Llaurado, N. (2011). Vaciados de escayola y corridos de terraja en obras de restauración. *Tesis de maestría en técnica y sistemas de edificación*. Madrid, España.
21. Llistosella, T., Borrell, A., López, A., y Martorell, C. (2004). *La Enciclopedia* (Vol. 20). Madrid, España: Salvat.
22. Manias, C., Storer, P., y Retallack, D. (2002). A new on stream XRD technology for measurement and control of gypsum dehydration/setting times. *World Cement*, 7.
23. Merino, M. d. (2004). Aplicaciones del yeso y la escayola en la edificación. Nuevas aplicaciones. *Informes de la Construcción*, 56(493), 53.
24. Mirza, B. (2000). *Lightweight gypsum board*. Recuperado el noviembre de 2014, de <http://pdfpiw.uspto.gov/piw?PageNum=0ydocid=05922447yIDKey=BFA176E4FECC%0D%0AyHomeUrl=http%3A%2F%2Fpatft.uspto.gov>

25. Novas, J. (2010). *Sistemas constructivos prefabricados aplicables a la construcción de edificaciones en países en desarrollo*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
26. Oliver Ramirez, A., Garcia Santos, A., y Neila Gonzalez, F. (2011). Caracterización física y mecánica de placas de yeso con materiales de cambio de fase incorporados para almacenamiento de energía térmica mediante calor latente. *Materiales de Construcción*, 61(303), 465-483.
27. Oliver, A. (2009). *Integración de materiales de cambio de fase en placas de yeso reforzadas con fibras de polipropileno*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
28. Paladines, A. (2005). *Los Recursos No Renovables del Ecuador*. Quito: Editorial Universitaria.
29. Pérez, M., y Ochoa, R. (2006). Prefabricación, base del cambio en la construcción. *Construcción y Tecnología*(215), 36-39.
30. Placo. (2013). *Panel de yeso laminado*. Recuperado el Diciembre de 2014, de [http://www.placo.es/Portals/0/Documentacion/ Documentacion%20Descargas/Soluciones%20Constructivas/Manual_completo_05-12.pdf](http://www.placo.es/Portals/0/Documentacion/Documentacion%20Descargas/Soluciones%20Constructivas/Manual_completo_05-12.pdf)
31. Ponce, M., y Torres, M. (2004). Yeso. *Fertilizantes*, 450-455.
32. PROECUADOR. (2012). *Informe de primer nivel piedra pómez*. Quito: PROECUADOR.
33. Retallack, D., y Storer, P. (2012). A new on stream XRD tchnology for measurement and control of gypsum de hydration/setting times. 8.

34. Şahin, S., y Karaman, S. (2012). The Properties of Expanded Polystyrene - Pumice - Gypsum Blocks as a Building Material. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 9(1), 51.
35. Santa Cruz, J. (2002). *Innovación en materiales y sistemas constructivos*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
36. Sanz, D., y Villanueva, L. (2004). Albarracín y el yeso rojo. *Informes de la construcción*, 56(493), 47-52.
37. Serhat, M., y Kahraman, E. (2011). Modifications in the properties of gypsum construction element via addition of expanded macroporous silica granules. *Construction and Building Materials*, 25(8), 3 327-3 333.
38. Tapan, M., Depci, T., Özvan, A., Tugba, E., y Oyan, V. (2013). Effect of physical, chemical and electro-kinetic properties of pumice on strength developments of pumice blended cements. *Materials and Structures*(46), 1 695-1 706.
39. Tripathi, D. (2002). *Practical Guide of Polypropylene*. Shawbury, United Kingdom: Rapra Technology Limited.
40. United States Geological Survey. (2011). The mineral industry of Ecuador. En S. Wacaster (Ed.), *Minerals Yearbook 2011* (págs. 11.1-11.7). United States: USGS
41. Wasket, P. (2003). Current practice and potential uses of prefabrication. *Building research establishment*, 1-20.
42. Yilmaz, I., y Civelekoglu, B. (2009). Gypsum: an additive for stabilization of swelling clay soils. *Applied Clay Science*, 44(1), 166-172.

43. Yu, Q., y Brouwers, H. (2012). Development of a self-compacting gypsum-based lightweight composite. *Cement and concrete*, 34(9), 1 033-1 043.

ANEXOS

ANEXO I

FICHAS TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN

Ficha Técnica N° 1

Muestra: Yeso

Ensayo No: 1

Objetivo: Determinar la relación Agua/Yeso

Parámetros:

Masa de agua: 100 g

Masa de Yeso: 100 g

Condiciones:

Tabla AI. 1. Ensayo de determinación relación Agua/Yeso

Peso de agua (g)	Peso de vaso + agua (g)	Peso de la muestra (g)	Peso vaso +muestra +agua (g)	Relación Agua/Yeso
100	220,5	99,9	320,4	1
100	219,3	100,1	319,4	1
100	221,8	100	321,8	1
100	220,3	99,8	320,1	1
100	219,8	100,1	319,9	1
Promedio				1

Resultados:

Después de la decantación del yeso, la fase de agua que se observa es muy pequeña, menor a 1 cm, por lo que se considera que la relación agua/yeso de 1:1 es la apropiada para los ensayos.

Ficha Técnica N° 2

Muestra: Yeso

Ensayo No: 2

Objetivo: Escalar la relación Agua/Yeso

Parámetros:

Masa de agua: 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 g

Masa de Yeso: 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 g

Condiciones:

Tabla AI. 2. Ensayo de escalado de la relación agua/yeso

Peso de agua (g)	Peso de vaso + agua (g)	Peso de la muestra (g)	Peso vaso +muestra +agua (g)	Relación Agua/Yeso
100	220	100	320	1
200	319,3	200,1	519,4	1
300	421,8	300,0	721,8	1
400	570,3	399,9	970,2	1
500	650,4	500,1	1150,5	1
600	780,2	600	1380,2	1
700	910,3	699,9	1610,2	1
Promedio				1

Resultados:

Luego que se decanta el yeso en cada experimento, se observa que la dimensión de la fase de agua es pequeña, menor a 1 cm, y se mantiene en la misma proporción independientemente de la cantidad de yeso y agua empleados, lo que nos permite emplear la relación agua/yeso 1:1 en futuros ensayos con mayor cantidad de materia prima

Ficha Técnica N° 3

Muestra: Yeso y piedra pómez

Ensayo No: 1

Objetivo: Determinar la densidad real, densidad aparente de la materia prima.

Tabla AI. 3. Ensayo de determinación de la densidad real de la materia prima

Muestra	Peso de la muestra (g)	Peso picnómetro +muestra+agua (g)	Peso picnómetro +agua (g)	Densidad real (g/cm ³)
Yeso	1,0005	49,42	24,98	2,56
Piedra pómez	1,0024	49,36	24,99	2,36

Tabla AI. 4. Ensayo de determinación de la densidad aparente

Muestra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Densidad aparente (g/cm ³)
Yeso	28	148	1,2
Piedra pómez	28	114	0,8

*Volumen= 100 cm³

Ficha Técnica N° 4

Muestra: Yeso – Piedra pómez

Ensayo No: 4

Objetivo: Determinar tiempo de fraguado del panel con composición 90/10

Parámetros:

Masa de agua: 700 g

Masa de Yeso: 630 g

Masa de piedra pómez: 70 g

Condiciones:

Tabla AI. 5. Ensayo de tiempo de fraguado para un panel de composición 90/10

Peso de agua (g)	Peso de yeso (g)	Peso de piedra pómez (g)	Tiempo de fraguado (min)
700	630	70	60
700	630	70	50
700	630	70	58
700	630	70	55
700	630	70	53
700	630	70	59
700	630	70	57
Promedio			56

Resultados:

El tiempo de fraguado para el panel con composición de yeso/piedra pómez de 90/10, es de 56 min, tiempo que se considera apropiado para el fraguado, sin embargo el porcentaje de piedra pómez presente en el panel es bajo, por lo que es representativo con el objetivo de la investigación.

Ficha Técnica N° 5

Muestra: Yeso – Piedra pómez

Ensayo No: 5

Objetivo: Determinar tiempo de fraguado del panel con composición 80/20

Parámetros:

Masa de agua: 700 g

Masa de Yeso: 560 g

Masa de piedra pómez: 140 g

Condiciones:

Tabla AI. 6. Ensayo de tiempo de fraguado para un panel de composición 80/20

Peso de agua (g)	Peso de yeso (g)	Peso de piedra pómez (g)	Tiempo de fraguado (min)
700	560	140	78
700	560	140	65
700	560	140	75
700	560	140	72
700	560	140	69
700	560	140	77
700	560	140	74
Promedio			73

Resultados:

El tiempo de fraguado para esta composición del panel es de 73 min, no obstante la presencia de piedra pómez es baja, y el tiempo de fraguado es mayor que el panel con composición 90/10.

Ficha Técnica N° 6

Muestra: Yeso – Piedra pómez

Ensayo No: 6

Objetivo: Determinar tiempo de fraguado del panel con composición 70/30

Parámetros:

Masa de agua: 700 g

Masa de Yeso: 490 g

Masa de piedra pómez: 210 g

Condiciones:

Tabla AI. 7. Ensayo de tiempo de fraguado para un panel de composición 70/30

Peso de agua (g)	Peso de yeso (g)	Peso de piedra pómez (g)	Tiempo de fraguado (min)
700	490	210	50
700	490	210	42
700	490	210	49
700	490	210	46
700	490	210	45
700	490	210	50
700	490	210	48
Promedio			47

Resultados:

El tiempo de fraguado promedio para esta composición 70/30 es de 47 min, tiempo menor que el tiempo de los paneles elaborados anteriormente. La presencia de piedra pómez en el panel se considera aceptable.

Ficha Técnica N° 7

Muestra: Yeso – Piedra pómez

Ensayo No: 7

Objetivo: Determinar tiempo de fraguado del panel con composición 60/40

Parámetros:

Masa de agua: 700 g

Masa de Yeso: 420 g

Masa de piedra pómez: 280 g

Resultados:

Tabla AI. 8. Ensayo de tiempo de fraguado para un panel de composición 60/40

Peso de agua (g)	Peso de yeso (g)	Peso de piedra pómez (g)	Tiempo de fraguado (min)
700	420	280	90
700	420	280	75
700	420	280	87
700	420	280	83
700	420	280	80
700	420	280	89
700	420	280	86
Promedio			84

Resultados:

El tiempo de fraguado para este panel con composición 60/40 es de 84 min, sin embargo la apariencia del panel toma un color grisáceo, y presenta fisuras en su superficie.

Ficha Técnica N° 8

Muestra: Yeso – Piedra pómez

Ensayo No: 8

Objetivo: Determinar tiempo de fraguado del panel con composición 50/50

Parámetros:

Masa de agua: 700 g

Masa de Yeso: 350 g

Masa de piedra pómez: 350 g

Resultados:

Tabla AI. 9. Ensayo de tiempo de fraguado para un panel de composición 50/50

Peso de agua (g)	Peso de yeso (g)	Peso de piedra pómez (g)	Tiempo de fraguado (min)
700	350	350	144
700	350	350	120
700	350	350	139
700	350	350	132
700	350	350	127
700	350	350	142
700	350	350	137
Promedio			134

Resultados:

El tiempo de fraguado para este panel es de 134 min, el mismo que se considera que presenta un fraguado muy lento, cabe señalar que la superficie del panel presenta fisuras y rupturas, es de difícil transporte el panel y al mínimo esfuerzo manual se rompe.

Ficha Técnica N° 9

Muestra: Yeso – Piedra pómez

Ensayo No: 8

Objetivo: Determinar tiempo de fraguado del panel con composición 70/30 en función de la temperatura.

Parámetros:

Masa de agua: 700 g

Masa de Yeso: 490 g

Masa de piedra pómez: 210 g

Temperatura: 10, 20, 30, 50 °C

Resultados:

Tabla AI. 10. Ensayo de tiempo de fraguado en función de la temperatura

Peso de agua (g)	Peso de yeso (g)	Peso de piedra pómez (g)	Temperatura (° C)	Tiempo de fraguado (min)
700	490	210	10	45
700	490	210	20	43
700	490	210	30	44
700	490	210	50	41
Promedio				43

Resultados:

Los tiempos de fraguado entre los paneles con variación de temperatura del agua son similares, por lo que se selecciona la temperatura óptima para el proceso la de 20 °C, y se evita tener un proceso de calentamiento del agua.

Ficha Técnica N° 10

Muestra: Polipropileno

Ensayo No: 10

Objetivo: Determinar la elongación y carga a la rotura del polipropileno

Parámetros:

Espesor de la probeta: 0,2 mm

Longitud de la probeta: 200 mm

Ancho de la probeta: 10 mm

Resultados:

Tabla AI. 11. Ensayo de elongación y carga a la rotura del polipropileno

Ensayo	Elongación (%)	Carga a la Rotura (Mpa)
1	5.88	18.45
2	9.103	19.44
3	6.552	19.18
4	9.441	15.76
5	9.269	21.34
6	9.1	24.3
7	9.101	19.34
8	9.096	11.36
9	9.099	17.36
10	16.02	23.54
11	3.507	5.663
15	6.879	12.98
Promedio	9.6807	18.03
Desv. Stand.	1.07	3.91

ANEXO II
DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE LA PIEDRA
PÓMEZ Y YESO

Determinación de granulometría para la piedra pómez

Método: Análisis granulométrico en un juego de tamices.

Objetivo: Determinar el d₈₀ de la piedra pómez y tamaño de partícula

Resultados:

Tabla AII. 1. Análisis granulométrico de la piedra pómez

Malla #	Abertura tamiz (µm)	Peso Retenido Piedra pómez (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasado Acumulado
20	850	5,3	2,17	2,17	97,83
25	710	7,5	3,07	5,24	94,76
30	600	2,6	1,07	6,31	93,69
35	500	9,5	3,89	10,20	89,80
40	425	10,1	4,14	14,34	85,66
45	355	13,0	5,33	19,66	80,34
50	300	15,7	6,43	26,09	73,91
60	250	17,0	6,96	33,06	66,94
70	212	15,7	6,43	39,49	60,51
80	180	16,7	6,84	46,33	53,67
100	150	15,4	6,31	52,64	47,36
150	104	15,6	6,39	59,03	40,97
-150		100,03	40,97	100,00	0,00
Peso total retenido		244,13	100,0		
d₈₀		355 µm			

Determinación granulometría del yeso

Método: Análisis láser de distribución de tamaño de partícula.

Objetivo: Determinar el d80 del yeso y tamaño de partícula.

Resultados:

HORIBA Laser Scattering Particle Size Distribution Analyzer LA-950

Sample Name : RM-6369 Luis Tapia
 ID# : 201506151614266
 Data Name : RM-6369 yeso LT (Promedio)
 Transmittance(R) : 90.2(%)
 Transmittance(B) : 88.2(%)
 Circulation Speed : 3
 Agitation Speed : 4
 Ultra Sonic : 02:44 (5)
 Form of Distribution : Auto
 Distribution Base : Volume
 Refractive Index (R) : Yeso+Agua[Yeso+Agua(1.522 - 0.000i),Water(1.333)]
 Refractive Index (B) : Yeso+Agua[Yeso+Agua(1.522 - 0.000i),Water(1.333)]
 Material : CaSO4.2H2O
 Source : Luis Tapia
 Lot Number :
 Test or Assay. Number :

Median Size	: 93.80598(μm)	Cumulative % on Diameter	: (9)90.00 (%) - 269.3738(μm)
Mean Size	: 122.69691(μm)		: (1)300.0 (μm) - 92.693(%)
Std.Dev.	: 103.9882(μm)		: (2)200.0 (μm) - 80.349(%)
Geo.Mean Size	: 80.5421(μm)		: (3)150.0 (μm) - 68.967(%)
Geo.Std.Dev.	: 2.7946(μm)		: (4)100.0 (μm) - 52.218(%)
Mode Size	: 109.8536(μm)		: (5)50.00 (μm) - 29.220(%)
Span	: OFF		: (6)10.00 (μm) - 4.467(%)
Diameter on Cumulative %	: (1)50.00 (%) - 93.8060(μm)		: (7)1.000 (μm) - 0.000(%)
	: (2)10.00 (%) - 19.1770(μm)		: (8)0.500 (μm) - 0.000(%)
	: (6)60.00 (%) - 120.6867(μm)		: (9)0.100 (μm) - 0.000(%)
	: (8)80.00 (%) - 198.2098(μm)		: (10)0.010 (μm) - 0.000(%)

ANEXO III

DIFRACTOGRAMAS DEL YESO Y PIEDRA PÓMEZ

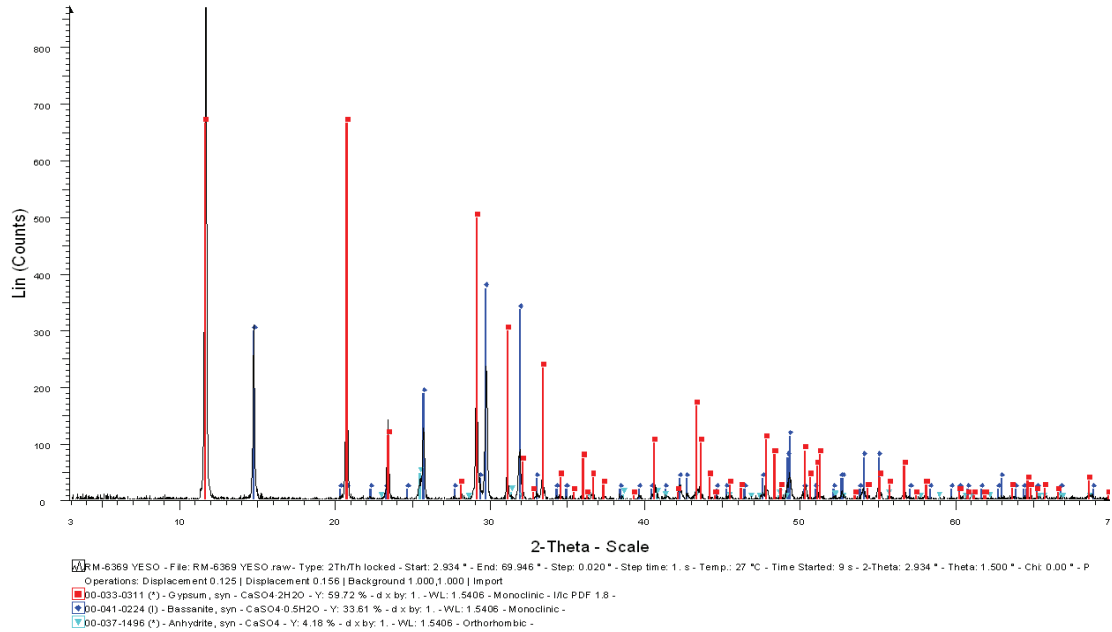


Figura AIII. 1. Difractograma del yeso

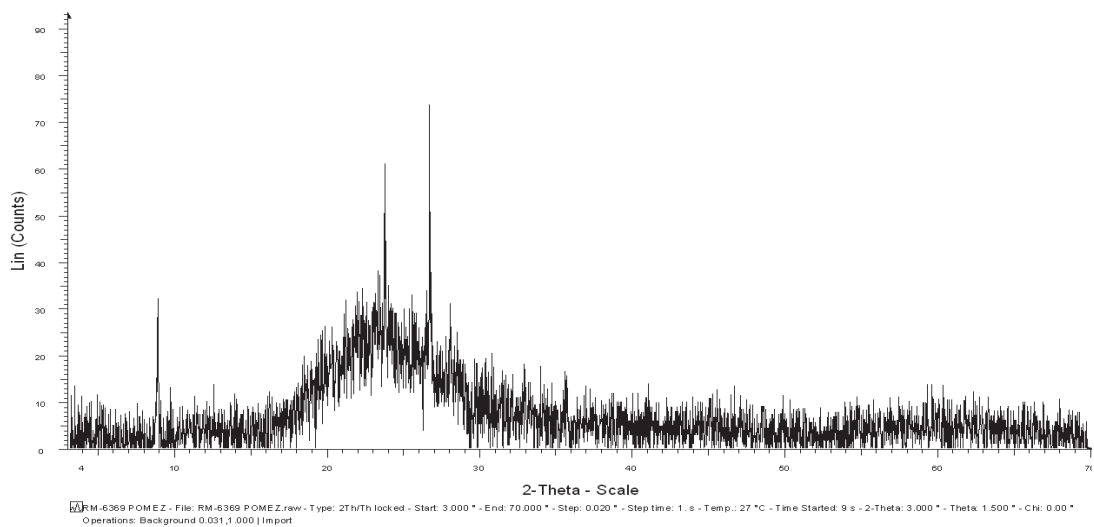


Figura AIII. 2. Difractograma de la piedra pómez

ANEXO IV

CARACTERÍSTICAS Y CATÁLOGOS DE LOS EQUIPOS

TANQUE DE HOMOGENEIZACIÓN

Tipo: Equipo de mezcla con agitación mecánica

Marca: Metalrangos S.A.

Modelo: msa-800

Volumen: 1,1 m³

Diámetro: 1 m

Altura: 1,4 m

Poder del motor: 2,5 kw



Figura AIV. 1. Tanque con agitación mecánica

Tabla AIV. 2. Características de catálogo de tanque de agitación

Modelo	Potencia (kW)	Velocidad (rpm)	Diámetro del eje de (mm)	Longitud (mm)	Diámetro del impulsor (mm)
msa-800	0.75-1.1	8-50	48	1500-2000	800
msa-1200	0.75-1.5	6-20	57	1500-3000	1200
msa-1500	0.75-1.5	5-12	76	2000-3000	1500
msa-2000	1.1-1.5	5-12	89	2000-4000	2000
msa-2500	1.1- 2.2	3-10	108	3000-4500	2500

AGITADOR MECÁNICO

Tipo: Agitador

Marca: Metalrangos S.A.

Modelo: VR2

Volumen: 0,2 m³

Diámetro: 20 cm

Velocidad: 73 a 240 rpm

Poder del motor: 1,5 kw



Figura AIV. 2. Agitador con aspas

Tabla AIV. 3. Características de catálogo del agitador

Modelo serie	Potencia (kW)	Diámetro de aspa (mm)	Velocidad (rpm)	Volumen (m ³)
VD1	1,5	128 -160	900 – 1750	0,5
VR2	1,5	200 - 800	73 - 240	0,2 - 10
VR3	0,18-22	200 – 1800	40 – 335	150
VR4	30	400 – 1500	335	500
VR5	2,2	300 – 3600	70	500
VR6	1,5	300 - 540	100 – 250	1
HR4	11	250 – 600	290	10 - 400

BANDA TRANSPORTADORA

Tipo: Banda transportadora

Marca: MB Conveyors

Altura: 1 m

Longitud: 2 m

Velocidad: 3 m/min

Poder del motor: 0,12 kw



Figura AIV. 3. Banda transportadora

Tabla AIV. 4. Características de la banda transportadora

Potencia	0,12
Altura (mm)	200 - 2000
Longitud (mm)	600 - 60000
Inclinacion (°)	0 - 30
Velocidad (m/min)	3
Temperatura (°C)	0 - 70

PRENSA HIDRAULICA

Tipo: Prensa hidraulica

MODELO: DEP 200X4000

Ancho: 10 m

Longitud: 10 m

Poder del motor: 11 kw



Figura AIV. 4. Prensa Hidráulica

Tabla AIV. 5. Características de catálogo de la prensa hidráulica

MODELO MODEL MODELO		DEP 150x4000	DEP 200x4000	DEP 300x5000
Capacidade Press Power Capacidad	kN	1500	2000	3000
Pressão Máx. Max. Pressure Presión máxima	bar	255	255	280
Curso Stroke Recogido	mm	500	500	800
Motor Motor power Motor	kW	11	11	22
Comprimento Length Largo	mm	6500	6500	7500
Largura Width Ancho	mm	10000	10000	12000
Altura Height Altura	mm	3000	3350	3550
Peso Weight Peso	kg	18000	27480	34000

ESTUFA

Tipo: Estufa por aire forzado

MODELO: 420/300LSN11

Ancho: 1200 mm

Longitud: 930 mm

Altura: 1200 mm

Poder del motor: 6,2 kw

Peso: 155 kg



Figura AIV. 5. Estufa con aire forzado

Tabla AIV. 6. Características de catálogo de la estufa

Características	20/300LSN11	60/300LSN11	120/300LSN11	220/300LSN11	420/300LSN11
Volumen útil	20	60	120	220	420
Grado de Protección	IP20	IP20	IP20	IP20	IP20
Potencia nominal no más de, kW	1	2	2,2	4	6,2
Voltaje, V	230	230	230	230	400
Frecuencia, Hz	50	50	50	50	50
Número de fases	1	1	1	1	3
Temperatura funcionamiento continuo °C	Ambiente +10 - 300	Ambiente +10 - 300	Ambiente +10 - 300	Ambiente +10 - 300	Ambiente +10 - 300
Temperatura máxima °C	300	300	300	300	300
Material cámara	Acero inox.	Acero inox.	Acero inox.	Acero inox.	Acero inox.
Circulación aire cámara	Aire (con ventilador aire caliente, 230V, 50Hz)	Aire (con ventilador aire caliente, 230V, 50Hz)	Aire (con ventilador aire caliente, 230V, 50Hz)	Aire (con ventilador aire caliente, 230V, 50Hz)	Aire (con ventilador aire caliente, 230V, 50Hz)

ANEXO V

DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

Las consideraciones para el dimensionamiento de equipos son en función de tener un stock para la producción de una semana, adicionalmente se considera un factor de sobredimensionamiento de 1,2.

Dimensionamiento del tanque de agua

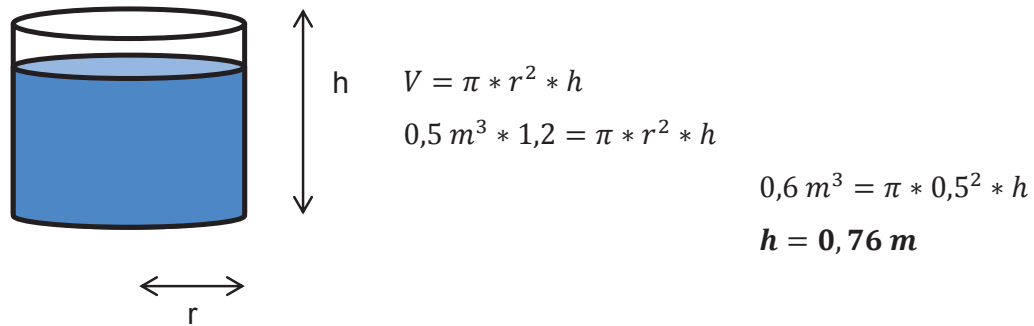


Figura AV. 1. Tanque de agua

Dimensionamiento del tanque homogeneizador

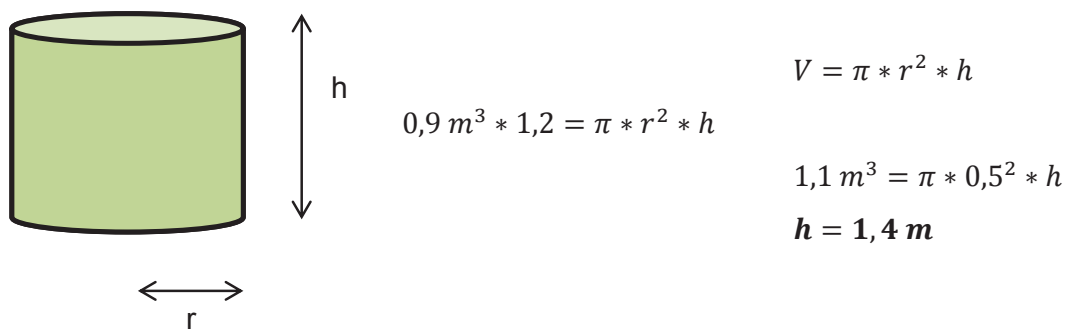


Figura AV. 2. Tanque homogeneizador

Dimensionamiento del silo de alimentación de la piedra pómez

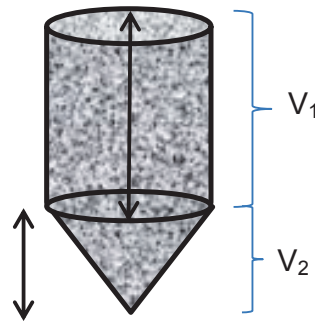


Figura AV. 3. Silo de alimentación piedra pómez

El cálculo de las alturas se realiza diviendo al silo en dos partes, por facilidad de aplicar fórmulas conocidas de volumen. De está manera se tiene que el V_1 se considera como volumen de un cilindro.

$$V_1 + V_2 = 0,29 \text{ m}^3 = V_T$$

$$V_T = 0,29 \text{ m}^3 * 1,2 = 0,35 \text{ m}^3$$

$$V_1 = \pi * r^2 * h = 0,30 \text{ m}^3$$

$$h_1 = \frac{0,30 \text{ m}^3}{\pi * (0,4 \text{ m})^2} = 0,6 \text{ m}$$

El volumen de V_2 , se puede encontrar con la aplicación de la formula correspondiente de una pirámide cónica.

$$V_2 = \frac{\pi * r^2 * h}{3} = 0,05 \text{ m}^3$$

$$h_2 = \frac{0,05 \text{ m}^3 * 3}{\pi * (0,4 \text{ m})^2} = 0,3 \text{ m}$$

La altura del silo es de 0,9 m con un diámetro de 0,8 m.

En el caso del silo del yeso los cálculos son los mismos debido a que la geometría de los silos es la misma.