

UNIVERSIDAD CATOLICA DE TRUJILLO
BENEDICTO XVI
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



DETERMINACION DE LA PROPORCION OPTIMA PARA
ELABORAR PANELES EN BASE A PAPEL BOND RECICLADO
PARA ZONAS DE BAJOS RECURSOS ECONOMICOS
TESIS
PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO
CIVIL

AUTORES

Br. Mirella Jackeline Guerra Ríos

Br. Lesly Sujey Narciso Yraita

LINEA DE INVESTIGACION

Vivienda, saneamiento y transporte

TRUJILLO-PERU

2020

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Monseñor Dr. Héctor Miguel Cabrejos Vidarte, O.F.M.

Fundador y Gran Canciller de la UCT Benedicto XVI

R.P. Dr. Jhon Joseph Lydon McHugh, O.S.A.

Rector

Dra. Silvia Valverde Zavaleta

Vicerrectora Académica

Dr. Carlos Alfredo Cerna Muñoz PhD.

Vicerrector de Investigación

Mg. Carlos Leandro Jave Gutiérrez

Decano de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Mons. Ricardo Exequiel Angulo Bazauri

Gerente de Desarrollo Institucional

Ing. Marco Antonio Dávila Cabrejos

Gerente de Administración y Finanzas

Mg. José Andrés Cruzado Albarrán

Secretario General

APROBACION DEL ASESOR

Yo Mg. Luis Alberto Alva Reyes con DNI N° 42013371 como asesor del trabajo de investigación “Determinación de la proporción óptima para elaborar paneles en base a papel bond reciclado para zonas de bajos recursos económicos” desarrollada por las alumnas Mirella Jackeline Guerra Ríos y Lesly Sujey Narciso Yraita con DNI N°70252165 y DNI N°76342845 respectivamente, egresadas del Programa Profesional de Ingeniería Civil, considero que dicho trabajo de titulación reúne los requisitos tanto técnicos como científicos y corresponden con las normas establecidas en el reglamento de titulación de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI y en normativa para la presentación de trabajos de titulación de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

Por tanto, autorizo la presentación del mismo ante el organismo pertinente para que sea sometido a evaluación por la comisión de la clasificación designado por el Decano de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.



Mg. Luis Alberto Alva Reyes

ASESOR

PAGINA DE JURADO

Mg. Fernando Arístides Saldaña Milla

PRESIDENTE

Mg. Janet Edith Gonzales Valdivia

SECRETARIO

Mg. Luis Alberto Alva Reyes

VOCAL

DEDICATORIA

A mi Señor Jesucristo.

Que siempre me protegió con su amor infinito y a pesar de los obstáculos que se me presentaban a lo largo de mi formación académica me dio fuerza y coraje para no darme por vencida.

A mis padres.

Ya que son mi pilar fundamental y apoyo en mi formación académica, me han educado con valores, principios y sobre todo perseverancia que me han servido para culminar mis estudios satisfactoriamente y ser una persona de bien..

A mis hermanas Deysi y Giovanna.

Quienes han sido mi motivo para culminar esta tesis y así disfrutar un éxito más de muchos que hemos tenido juntas.

Mirella Jackeline Guerra Ríos

Autora

DEDICATORIA

A Dios.

Por darme amor, salud y bondad, por permitirme la oportunidad de lograr uno de mis objetivos y a pesar de los obstáculos me dio fuerza para seguir adelante.

A mis padres.

Por su apoyo incondicional que sin ellos no hubiera logrado terminar una meta más en mi vida. A mi madre Jacoba por estar a mi lado durante esta etapa, apoyándome, dándome fuerzas para seguir. A mi padre Manuel que no está físicamente conmigo, por sus enseñanzas y buenos consejos siempre estará en mi corazón.

A mis hermanos Franklin y Brayan.

Que son el motivo para seguir adelante cumpliendo cada una de mis metas.

Lesly Sujey Narciso Yraita

Autora

AGRADECIMIENTO

*A Dios por habernos guiado, protegido e iluminado a lo largo de
nuestra carrera.*

*A nuestras familias por siempre brindarnos su apoyo en cada momento y así
culminar la carrera satisfactoriamente.*

*A nuestros docentes, por compartir con nosotras sus conocimientos y en
especial a nuestro asesor Luis Alberto Alva Reyes por brindarnos su apoyo y
sus consejos cada vez que hemos necesitado.*

Las Autoras

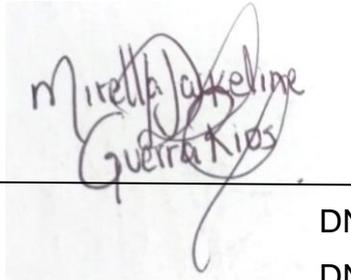
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Nosotras, Mirella Jackeline Guerra Ríos con DNI 70252165 y Lesly Sujey Narciso Yraita con DNI 76342845, egresadas del Programa de Estudios de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI, damos fe que hemos seguido rigurosamente los procedimientos académicos y administrativos emanados por la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, para la elaboración y sustentación del trabajo de investigación titulado: “Determinación de la proporción óptima para elaborar paneles en base a papel bond reciclado para zonas de bajos recursos económicos”, el cual consta de un total de 76 páginas, en las que se incluye 11 tablas y 15 figuras, más un total de 28 páginas en apéndices y/o anexos.

Dejamos constancia de la originalidad y autenticidad de la mencionada investigación y declaramos bajo juramento en razón a los requerimientos éticos, que el contenido de dicho documento corresponde a nuestra autoría respecto a redacción, organización, metodología y diagramación. Asimismo, garantizamos que los fundamentos teóricos están respaldados por el referencial bibliográfico, asumiendo un mínimo porcentaje de omisión involuntaria respecto al tratamiento de cita de autores, lo cual es de nuestra entera responsabilidad.

Se declara también que el porcentaje de similitud o coincidencia es de 22%, el cual es aceptado por la Universidad Católica de Trujillo.

Las autoras



DNI 70252165
DNI 76342845



INDICE DE CONTENIDO

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS	2
APROBACION DEL ASESOR	3
PAGINA DE JURADO	4
DEDICATORIA	5
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTO	7
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD	8
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
CAPITULO I	15
PROBLEMA DE INVESTIGACION	15
1.1.Planteamiento del problema	15
1.2.Formulación del problema	16
1.2.1. Problema General	16
1.2.2. Problemas Específicos	16
1.3.Objetivos	16
1.3.1. Objetivo General	16
1.3.2. Objetivos Específicos	16
1.4.Justificación de la investigación	17
1.4.1. Justificación económica	17
1.4.2. Justificación Tecnológica	17
1.4.3. Justificación social – ambiental	17
CAPITULO II	18
MARCO TEORICO CONCEPTUAL	18
2.1. Antecedentes de la investigación	18
2.2. Bases teórico – científicas	21
2.2.1. Papel Bond	21
2.2.2. Concreto	25
2.2.3. Cemento Portland	29
2.2.4. Arena	34
2.2.5. Agua	36
2.2.6. Papercrete	36
2.2.7. Resistencia a la flexión	39
2.2.8. Optimización	41
2.3.Definición de términos básicos	43
2.4.Formulación de hipótesis	44
2.4.1. Hipótesis general	44
2.4.2. Hipótesis específicas	44
2.5.Operacionalización de variables	45
CAPITULO III	46
METODOLOGIA	46

3.1. Tipo de investigación	46
3.2. Diseño de investigación	46
3.3. Población y muestra	46
3.3.1. Población	46
3.3.2. Muestra	47
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	47
3.5. Métodos y técnicas de recolección de datos	48
3.6. Ética investigativa	50
CAPITULO IV	51
RESULTADOS	51
4.1. Presentación y análisis de resultados	51
4.1.1. Cálculo de la proporción que optimice la resistencia a la flexión de paneles en base a papel bond reciclado	51
4.1.2. Comparación de la resistencia a la flexión de los paneles de papel bond reciclado con la de los paneles comerciales existentes en el mercado	55
4.1.3. Cálculo de la proporción que optimice el costo de los paneles en base a papel bond reciclado	56
4.1.4. Comparación de los costos de un panel elaborado con papel bond reciclado con respecto a la de un panel comercial	60
4.1.5. Determinación de la proporción ideal para elaborar paneles en base a papel bond reciclado para zonas de bajos recursos económicos	61
4.2. Prueba de hipótesis	62
4.2.1. Cálculo de la proporción que optimice la resistencia a la flexión de paneles en base a papel bond reciclado	62
4.2.2. Comparación de la resistencia a la flexión de los paneles de papel bond reciclado con la de los paneles comerciales existentes en el mercado	63
4.2.3. Cálculo de la proporción que optimice el costo de los paneles en base a papel bond reciclado	65
4.2.4. Comparación de los costos de un panel elaborado con papel bond reciclado versus los de los paneles comerciales existentes en el mercado	66
4.2.5. Determinación de la proporción ideal para elaborar paneles en base a papel bond reciclado para zonas de bajos recursos económicos	68
4.3. Discusión de resultados	70
CAPITULO V	72
CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS	72
5.1. Conclusiones	72
5.2. Sugerencias	73
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	74

INDICE DE FIGURAS

Fig. N°01: Resistencias mecánica mínimas del concreto	27
Fig. N°02: Resistencias mecánica máximas del concreto	27
Fig. N°03: Producción mundial de cemento en porcentajes en 2011, de un total de 3600 millones de toneladas	33
Fig. N°04: Deformación a flexión pura de dos vigas	39
Fig. N°05: Distribución de tensiones en flexión esviada	40
Fig. N°06: Diagrama de flujo del proceso	49
Fig. N°07: Optimización de la resistencia a la flexión	53
Fig. N°08: Resultados de la optimización de la resistencia a la flexión	54
Fig. N°09: Resistencia a la flexión vs proporción de mezcla	55
Fig. N°10: Resistencia a la flexión vs proporción de mezcla y placa comercial	56
Fig. N°11: Optimización del costo	58
Fig. N°12: Resultados de la optimización del costo	59
Fig. N°13: Costo de los paneles elaborados	60
Fig. N°14: Costo de los paneles elaborados comparados con el de un panel comercial	61
Fig. N°15: Costos y resistencia a la flexión para las diferentes proporciones de elaboración de paneles	62

INDICE DE TABLAS

Tabla N°01: Proporciones típicas de materiales para producir mezclas de concreto	29
Tabla N°02: Composición química de los cementos (% en masa)	32
Tabla N°03: Operacionalización de variables	45
Tabla N°04: ANOVA para la resistencia a la flexión en kgf/cm ² de paneles en base a papel bond reciclado	63
Tabla N°05: ANOVA para la resistencia a la flexión en kgf/cm ² de paneles en base a papel bond reciclado y una placa comercial	64
Tabla N°06: Prueba de Tukey (medias) para la resistencia a la flexión en kgf/cm ² de paneles en base a papel bond reciclado y una placa comercial	64
Tabla N°07: ANOVA para el costo de paneles en base a papel bond reciclado	66
Tabla N°08: ANOVA para el costo de paneles en base a papel bond reciclado y una placa comercial	67
Tabla N°09: Prueba de Tukey (medias) para el costo de paneles en base a papel bond reciclado y una placa comercial	67
Tabla N°10: Prueba de Tukey (medias) para la resistencia a la flexión en kgf/cm ² de paneles en base a papel bond reciclado	68
Tabla N°11: Prueba de Tukey (medias) para el costo de paneles en base a papel bond reciclado	69

RESUMEN

Esta investigación buscó determinar la proporción óptima para elaborar paneles en base a papel bond reciclado para zonas de bajos recursos económicos, de esta forma se puedan construir viviendas dignas en zonas pobres.

Para poder lograr este objetivo se trabajó con las siguientes proporciones 1:1:1, 1:1:2, 1:1:3, 1:2:2 y 1:2:3 (cemento:arena:papel bond reciclado), se prepararon paneles de 30 cm de lado y 12.7 mm de altura dejándose secar por 28 días, luego de esto se sometieron a flexión con ayuda de una prensa hidráulica modificada.

Pasado este tiempo se procedió a realizar los ensayos respectivos, se procesaron los datos y se realizaron las comparaciones respectivas entre los resultados obtenidos por cada proporción, así mismo se comparó contra la resistencia a la flexión y costo de un panel de yeso (drywall) comercial.

Luego de hacer un análisis estadístico mediante ANOVA y con ayuda de Solver de Ms. Excel se logró concluir que la proporción óptima para elaborar paneles en base a papel bond reciclado para zonas de bajos recursos económicos es la proporción 1:1:1 la cual tuvo una elevada resistencia a la flexión y un bajo costo, estas características hacen que los paneles elaborados con esta proporción sean competitivos con respecto a los paneles comerciales que existen en el mercado.

Palabras clave: papel reciclado, concreto, proporción, resistencia a la flexión, panel

ABSTRACT

This research sought to determine the optimal proportion to make panels based on recycled bond paper for low-income areas, in this way decent homes can be built in poor areas.

In order to achieve this objective, we worked with the following proportions 1: 1: 1, 1: 1: 2, 1: 1: 3, 1: 2: 2 and 1: 2: 3 (cement: sand: recycled bond paper), Panels measuring 30 cm on each side and 12.7 mm in height were prepared, allowing them to dry for 28 days, after which they were subjected to bending with the help of a modified hydraulic press.

After this time, the respective tests were carried out, the data were processed and the respective comparisons were made between the results obtained by each proportion, likewise it was compared against the flexural strength and cost of a commercial plasterboard (drywall)

After doing a statistical analysis using ANOVA and with the help of Ms. Excel's Solver, it was possible to conclude that the optimal proportion to elaborate panels based on recycled bond paper for areas with low economic resources is the 1: 1: 1 proportion, which had a high flexural strength and a low cost, these characteristics make the panels made with this proportion competitive with respect to the commercial panels that exist in the market.

Keywords: recycled paper, concrete, proportion, flexural strength, panel

CAPITULO I

PROBLEMA DE LA INVESTIGACION

1.1. Planteamiento del problema

Una de las prioridades de los seres humanos desde los inicios de los tiempos ha sido obtener un lugar donde vivir, que cubra las diferentes condiciones climáticas a los cuales se enfrentan. Para cubrir estas necesidades es necesario la ayuda de un buen material que cumpla estándares de calidad y a la vez económico. En África, Asia y América Latina, la escasez de recursos para la construcción de infraestructuras y los servicios impide mitigar los riesgos de desastres para la población debido a las fallas de orden institucional y gubernamental. (Alva, Araujo, Guerra, Narciso y Narciso, 2017)

El crecimiento de los asentamientos informales; la falta de infraestructuras adecuadas, la construcción de viviendas en lugares de riesgos debido a deslizamientos de tierra y fuertes vientos, la construcción de viviendas con materiales inflamables; es uno de los factores de riesgo en las ciudades. En la actualidad el problema de acceso a la vivienda está marcado por las brechas sociales que existen, como la pobreza que afecta el nivel de vida de las personas, la familia y las sociedades, por encontrarse éste por dejado de los estándares que rigen en un momento y lugar determinado, poniéndolas en una situación desventajosa, y el crecimiento poblacional que dificulta a las personas acceder a esta necesidad. (Luck, 2015)

Es así que el Perú no es ajeno a esta realidad, ya que hay una gran cantidad de la población que especialmente por factores económicos vive en casas de adobe, tapial, madera, esteras u otro material diferente al ladrillo o bloque de cemento, estos materiales no cumplen con requerimientos para una vivienda segura, que brinde una buena calidad de vida. Una de las alternativas para aportar a la solución de estos problemas es utilizar materiales que reemplacen a algunos de los elementos constructivos y es justamente lo que la presente investigación tuvo como objetivo, reutilizar el papel bond de desecho como reemplazo de los agregados y fabricar paneles de Papercrete. (Alva et al., 2017)

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿Cuál es la proporción óptima para elaborar paneles en base a papel bond reciclado para zonas de bajos recursos económicos?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es la proporción que optimiza la resistencia a la flexión de los paneles en base a papel bond reciclado?
- ¿Cuál es la diferencia entre la resistencia a la flexión de los paneles en base a papel bond reciclado con la de paneles comerciales?
- ¿Cuál es la proporción que optimiza el costo de los paneles en base a papel bond reciclado?
- ¿Cuál es la diferencia entre el costo de los paneles en base a papel bond reciclado con el de paneles comerciales?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Determinar la proporción óptima para elaborar paneles en base a papel bond reciclado para zonas de bajos recursos económicos

1.3.2. Objetivos Específicos

- Calcular la proporción que optimice la resistencia a la flexión de los paneles en base a papel bond reciclado.
- Comparar la resistencia a la flexión de paneles en base a papel bond reciclado con la de paneles comerciales.
- Calcular la proporción que optimice el costo de los paneles en base a papel bond reciclado.
- Comparar los costos de un panel elaborado con papel bond reciclado con la de un panel comercial.

1.4. Justificación de la investigación

1.4.1. Justificación económica

El uso de materiales reciclados dentro de la elaboración de los paneles reduce los costos notablemente, haciendo que el material que se genera pueda ser accesible para las personas de bajos recursos económicos, por otro lado, al ser un material que incluso puede ser fabricado artesanalmente, también reduce costos de equipamientos sofisticados y caros.

1.4.2. Justificación tecnológica

La presente investigación presenta una justificación tecnológica ya que plantea la creación de un nuevo material, con características similares o superiores a las de los materiales que se encuentran en el mercado, a la vez que presenta un proceso constructivo óptima para la construcción en zonas de bajos recursos económicos.

1.4.3. Justificación social - ambiental

El material elaborado permite a personas con bajo poder adquisitivo el poder elaborar una vivienda digna, con un material ecológico, el cual, al ser fabricado en base a un material reciclado, reduce la contaminación y depredación de suelos; por otro lado, va a permitir que personas que viven en asentamientos humanos o zonas rurales puedan construir una vivienda con materiales que tienen propiedades idóneas para la construcción, haciendo de esta forma que sea social y ambientalmente viable.

CAPITULO II

MARCO TEORICO CONCEPTUAL

2.1. Antecedentes de la investigación

- Elizalde (2005) En su tesis titulada “Caracterización de mezclas de mortero a base de celulosa / papel reciclado para fabricación de elementos constructivos”, realizada en la ciudad de Monterrey. Tiene como objetivo general caracterizar mezclas de papel, agregados pétreos, cementantes y aditivos, de forma que sea posible establecer la dosificación adecuada para asegurar una resistencia a la compresión específica para determinadas aplicaciones. Donde nos menciona que, el utilizar papel reciclado en forma de fibras largas no es lo más adecuado para tratar de aprovechar la celulosa en la elaboración de mortero. En estas condiciones, las fibras evitan la correcta homogeneización del material, además de presentar altos porcentajes de absorción de agua. Se sugiere trabajar con pulpa de papel en la siguiente etapa de la investigación”.

- Clinton (2006) En su tesis titulada “Analysis of low-cost building material for the mixalco process”. El propósito de esta investigación fue determinar si el papercrete es lo suficientemente fuerte y menos costoso que otros materiales de construcción. El costo de cada tamaño de construcción lo calculó y comparó con el metal, donde concluyó que el papercrete es un material de construcción muy singular que puede ser utilizado para muchos propósitos. Este análisis mostró que la estructura del papercrete era más económica para el material de construcción y que una estructura hecha completamente de papercrete sería difícil de construir debido a su baja resistencia.

- Santamaria, Fuller y Fafitis (2007) En su investigación titulada “Structural properties of a new material made of waste paper” del departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad Estatal de Arizona, EE. UU. El propósito de esta investigación fue determinar si el papercrete es adecuado en la construcción, donde obtienen como resultado que el papercrete es un material seguro, adecuadamente

mezclado y aplicado, siendo seguro y práctico para la construcción de viviendas residenciales de dos pisos, también teniendo en cuenta que el principal problema del material es la falta de investigación al respecto.

- Romero (2014) En su tesis titulada: “Influencia del porcentaje en peso de fibra de cabuya sobre la resistencia a la flexión en paneles de papercrete”, investigó con el propósito de saber cómo influía el adicionar fibra de cabuya a paneles de papercrete sobre la resistencia a la flexión, teniendo como resultado que al agregar el 7 % de fibra de cabuya arrojó una resistencia a la flexión de 0.82MPa, demostrando así su mayor resistencia a la flexión.
- Luck (2015) En su tesis titulada: “Influencia del porcentaje de yeso sobre la resistencia térmica y la resistencia a la flexión en paneles de papercrete”, realizada en la ciudad de Nuevo Chimbote. Donde investigó como influía el agregar un porcentaje de yeso a los paneles de papercrete sobre la resistencia térmica y la resistencia a la flexión, teniendo como resultados que el porcentaje de yeso influyó de manera significativa sobre la resistencia térmica en paneles de papercrete, a comparación de aquellos paneles que no fueron añadidos por la fibra y también se logró determinar que la proporción de la muestra patrón 3:1:1 sin adición de yeso obtuvo la mayor resistencia a la flexión, alcanzando un valor de 0.412Mpa, siendo la más baja la proporción 3:1:1 + 2% de yeso. Se llegó a concluir que la adición del porcentaje de yeso a los paneles de Papercrete incrementa la Resistencia Térmica y disminuye la Resistencia a la Flexión.
- Barriga y Bernardo (2016) En su tesis “Aplicación y estudio de las propiedades de las celulosas recicladas obtenidas del papel periódico como una adición para el concreto”, tienen como objetivo general elaborar un concreto que reemplace parte del cemento utilizado en su mezcla por la adición de la celulosa proveniente del papel periódico y, de esta manera, determinar los beneficios que produce este material en base a sus propiedades. Donde señalan que, en la mayoría de los casos, la celulosa disminuye el tiempo de fraguado inicial de la mezcla, sin embargo, aumenta el tiempo de fraguado final, esto se debe a la gran capacidad de absorción

de la celulosa, en relación con la mezcla patrón, las mezclas experimentales presentaron un mejor desempeño de la resistencia a la flexión en relación con la resistencia a la compresión. Esto se debe a que el concreto adicionado con celulosa presenta una mejor cohesión en su estructura interna que el concreto simple. Recomiendan que para evitar que la adición disminuya la fluidez y, por ende, se requiera de una gran cantidad de agua, se debe utilizar la celulosa completamente seca, así mismo se debe realizar nuevas dosificaciones de mezclas agregando otro tipo de adiciones para mejorar las propiedades del concreto. Una de ellas puede ser la resina, la cual le brinda resistencia al concreto”.

- Alva, Araujo, Narciso y Narciso (2017), en la Universidad Católica de Trujillo “Benedicto XVI” realizaron una investigación titulada: “Resistencia a la flexión de paneles elaborados con papel reciclado, cemento y yeso”, con la finalidad de elaborar un material que sea de bajo costo y que a la vez posea una excelente resistencia a la flexión, aquí se elaboró 30 paneles a los cuales se les adicionó yeso en los siguientes porcentajes: 0%, 0.5%, 1%, 1.5% y 2%, para la elaboración de los paneles se utilizaron moldes metálicos con las siguientes medidas internas: 30 cm x 30 cm x 1.2 cm, con una proporción de 3:1:1 (papel, arena, cemento). Teniendo como resultados que la adición de yeso acelera el proceso de fraguado de los paneles de papel cemento, al aumentar el porcentaje de yeso adicionado, aumenta la resistencia a la flexión de los paneles, siendo los más resistentes los que poseen 2% de yeso adicionado, la resistencia a la flexión de los paneles de papel, cemento y yeso supera a la de los paneles de drywall siendo un material óptima para ser usado en zonas rurales y/o de pobreza extrema”.
- Selvarasan y Bharathidasan (2017) En su investigación experimental titulada “Experimental investigation of papercrete with glass fibre as a partial replacement for fine aggregate”, donde investigó el uso potencial de papel de desecho y fibra de vidrio para producir materiales compuestos livianos y de bajo costo como material de construcción, lo que resultó con una resistencia alta del concreto que contenía 20% de papercrete y 12% de fibra de vidrio, que resultó ser el óptimo nivel para obtener un mayor valor de la resistencia, en comparación con la mezcla

convencional. También observó que es un material ligero y una mejora considerable en la resistencia a la flexión.

- Manoj y Uma (2017) En su investigación titulada “Papercrete” El presente estudio se centra en el uso de materiales de desecho como papel y cenizas en ladrillos de construcción rentables, esta investigación se llevó a cabo para evaluar la resistencia, la durabilidad y las propiedades estructurales de los ladrillos de la construcción de papercrete. Donde concluyen que la densidad del papercrete es menor que la de los ladrillos ordinarios, también es posible usar paredes internas de papercrete en lugar de ladrillos, ya que reduce el peso muerto de la estructura, ya que son muy ligeros y flexibles, y adecuado para zonas sísmicas.

2.2. Bases teórico-científicas

2.2.1. Papel Bond

El papel está elaborado a base de pulpa de celulosa derivadas principalmente de los árboles, estas fibras vegetales están formadas por una cadena de enlaces de hidrógeno. Este material está compuesto por una pasta de fibras vegetales que son molidas, comúnmente blanqueadas, secadas y endurecidas. (Miranda y Mendoza, 2014).

Debemos valorar la importancia del papel debido a su proceso de fabricación, ya que está compuesta de fibras vegetales (materia orgánica), es decir, se obtiene de elementos vivos, Por este motivo como resultado se ha tenido la muerte de un árbol para la elaboración de este material. (Miranda y Mendoza, 2014).

La celulosa de maderas se encuentra en un 35% en forma de Coníferas conocidas también como maderas blandas, ya que tienen fibras largas ayudan a formar una hoja de papel resistente, siendo la longitud promedio de estas fibras 2 a 5 mm. El 65% de celulosa de maderas se encuentra en las Frondosas o Latifoliadas conocidas también como maderas duras, tienen fibras cortas de 1 a 2 mm, brindando suavidad y una buena formación a la hoja de papel. (Miranda y Mendoza, 2014).

La industria del papel en el Perú

En América Latina el Perú consume sólo 13 kg de papel por persona al año, siendo uno de los países con menor consumo de papel, mientras que Chile y Argentina consumen el 53 kg y 49 kg de papel por persona al año. (Miranda y Mendoza, 2014).

Las empresas papeleras que especialmente utiliza el bagazo como materia prima, se halla integrada verticalmente desde su producción de pulpa de papel. Esta integración ofrece ventajas competitivas que permite variar ventas e incrementar el valor agregado de su fabricación. (Miranda y Mendoza, 2014).

El crecimiento de la eficiencia en las empresas azucareras, de la que el bagazo se obtiene como subproducto, así como el ocasional cambio del petróleo por el gas como fuente de energía, se supondrá que el sector papelerero local mejorará en competitividad. (Miranda y Mendoza, 2014).

La falta de control sobre la cotización de su principal materia prima, como es la pulpa de papel o el bagazo es uno de los principales problemas de la industria, ya que su precio se fija de acuerdo al costo del petróleo. Las empresas se hacen vulnerables ante un alza de precios ya que el costo mayor no se puede desplazar a los consumidores, debido al bajo nivel de ingresos que tiene la población. (Miranda y Mendoza, 2014).

Durante los últimos años se ha mostrado una tendencia creciente de la producción del sector papelerero. La tasa de interés del subsector de productos de papel ha crecido a un 17.2% más que el subsector de cartón ondulado y envases con un 11.8%, como promedio entre 1994 y 2001 anualmente. No obstante, el desempeño se ha mantenido estable en ambos sectores en el año 2001. (Miranda y Mendoza, 2014).

Durante estos últimos años a pesar de que se ha mostrado un crecimiento en la producción papelerera, la utilización de capacidad instalada sigue siendo muy baja en la industria. Esto se debe a que empresas del sector en los dos últimos años han tenido

importantes adquisiciones de maquinaria. (Miranda y Mendoza, 2014).

Debido a bienes de capital obsoletos, a su baja productividad, escaso conocimiento de nuevas tecnologías y a los altos costos de financiamiento el Perú no está listo para competir con una serie de productos importados. A consecuencia de esta situación crítica, ha determinado la descapitalización de la mayoría de las empresas produciendo el cierre de algunas fábricas y la compra de estas por inversionistas extranjeros. (Campodónico, 2002).

Reciclaje del papel

En las últimas décadas el uso de papel reciclado como materia prima ha aumentado, al punto que casi en su totalidad algunas empresas dependen del papel reciclado. En algunos países, se separa el papel reciclado del resto de los residuos domésticos antes de su recolección. En otros países en plantas de reciclaje se utiliza una separación por clases de papel. (Miranda y Mendoza, 2014).

El papel periódico y el papel para revistas son las fibras recicladas más comercializadas, que son utilizadas para fabricar papeles blanqueados y semiblanqueados, por otro lado, también se utilizan para fabricar cartulinas, cartones entre otros productos. El costo y su presencia en el mercado es uno de los principales atractivos para las empresas. En el mundo el uso de fibras de papel reciclado es considerado como la alternativa significativa en el abasto de materias primas fibrosas para la industria papelera. (Miranda y Mendoza, 2014).

Para los recursos naturales la utilización del papel reciclado en la industria papelera es muy importante, ya que evita talar un promedio de 17 árboles por una tonelada de papel reciclado. Se necesita solo el 10% de cantidad de agua para procesar una tonelada de papel reciclado. En el procesamiento de papel reciclado no se generan emisiones atmosféricas. (Miranda y Mendoza, 2014).

El papel reciclado debe encontrarse limpio y libre de contaminantes de comida,

metales, plásticos y otros, para que el proceso de reciclado sea efectivo. En los centros de recolección, el papel es llevado a las fábricas para su reciclaje donde se selecciona de acuerdo a su calidad, ya que se utilizará para diferentes fabricaciones de productos. En el proceso de fabricación del papel se vierte en una pulpeadora que contiene químicos y agua, donde esta máquina se encarga de moler pequeños pedazos. Para la obtención de la celulosa se adiciona calor para obtenerla más fácilmente. Se le llama pulpa al producto generado por este proceso. (Elizalde, 2005).

Para la eliminación de pegamento, grapas, maderas y plásticos la pulpa de celulosa se filtra, por medio de un lavado y flotación se elimina la tinta, donde el lavado solo retira partículas más pequeñas de tinta y la flotación utiliza jabonaduras para eliminar dentro de burbujas de aire. Luego de este proceso para la fabricación de la hoja de papel las fibras se refinan y se blanquean. (Elizalde, 2005).

Al reciclar el papel hay disminución de consumo de agua y tala de árboles que normalmente al año alcanza los cuatro millones de troncos, reciclando se utiliza de un 28% a un 70% menos energía para producir papel virgen. (Elizalde, 2005).

Usos para el papel reciclado

Material de construcción

A nivel mundial las personas con bajos recursos usan materiales de desecho para construir sus viviendas. Les ofrece protegerse del sol y contra el viento, les resulta barato, pero no es resistente al agua, es un material inflamable y es comido por los roedores. Debido a las necesidades de aquellas personas que no tienen otra alternativa para su vivienda se muestra la condición desesperada por construir con un material no conveniente. (Campodónico, 2002).

Material Aislante

En los países de Estados Unidos y Canadá se ha logrado utilizar al papel en tiras como material térmico aislante que ayuda a mantener las viviendas frescas y calientes. El uso del papel reciclado cortado en tiras y esponjoso es tan buena como las fibras de vidrio con

respecto a su eficiencia térmica. (Campodónico, 2002).

El papel es remojado en una solución de alumbre o de bórax, u de algún otro elemento que retarde el fuego, para protegerse de los incendios. Este material es mucho más económico comparado con otros materiales aislantes térmicos. El papel reciclado es tratado con penta-clorofenol usado contra los roedores ya que debe saberse que les gusta el papel reciclado. Este material es muy peligroso para usarse, sin embargo, es un material carcinógeno. (Campodónico, 2002).

Combustible

El papel reciclado es posible convertir en pulpa, prensarlo en briquetas, secarlas y quemarlas como un material combustible. Sin embargo, al quemarse producen un humo que deja hollín, produce un calor muy bajo haciendo que sea una mala alternativa de uso en los hogares para cocinar. (Campodónico, 2002).

Para el uso doméstico es aceptado solamente cuando haya una falta de un combustible. En la industria han tratado de rechazar las bolillas derivadas de basura como combustible. (Campodónico, 2002).

2.2.2. Concreto

El concreto es la mezcla del cemento, arena, grava y agua, la cual al endurecerse después de varios días se convierte en una piedra artificial. Los elementos activos del concreto son el agua y el cemento, haciendo una reacción química que después de fraguar alcanza un estado de gran solidez, y los elementos inertes, que son la arena y la grava cuya función es formar el esqueleto de la mezcla, ocupando un gran porcentaje de volumen. (Kumar y Monteiro, 2006).

El concreto es el material más comúnmente utilizado en la construcción por varias razones, en primer lugar, porque posee una gran resistencia a la acción del agua sin sufrir un

gran deterioro, además de que puede ser moldeado para lograr variedad de formas y tamaños gracias a la trabajabilidad de la mezcla, siendo esta de gran popularidad para los encargados de las obras de construcción por su pronta disponibilidad y su bajo costo. (Kumar y Monteiro, 2006).

Durante el endurecimiento y el proceso de fraguado del concreto ocurre un cambio de volumen llamado contracción por secado. Sin embargo, ni con los avances en la tecnología del concreto, se ha podido fabricar ningún tipo de mezcla que no se vea afectada por la contracción, aun con los denominados cementos sin retracción y cementos expansivos, que en realidad lo único que hacen es tratar de compensar esta contracción con una expansión igual o superior a base de yeso y otras materias como el polvo de aluminio. (Kumar y Monteiro, 2006).

Propiedades del concreto endurecido

La selección de un material de construcción para un uso particular debe tener en cuenta su capacidad para resistir la fuerza aplicada. El resultado de la carga aplicada se expresa como deformación; dependiendo de cómo actúe el esfuerzo sobre el material, los esfuerzos se distinguen entre sí: por ejemplo, compresión, tensión, flexión, cizallamiento y torsión. Las relaciones tensión-deformación en los materiales generalmente se expresan en términos de resistencia, módulo elástico, ductilidad y tenacidad. (Kumar y Monteiro, 2006).

Una medida de la cantidad de tensión requerida para fallar un material es su resistencia. La teoría de la tensión de trabajo para el diseño de concreto considera que el concreto es principalmente adecuado para soportar cargas de compresión; por eso es la resistencia a la compresión del material lo que generalmente se especifica. (Kumar y Monteiro, 2006).

Dado que la resistencia del concreto es una función del proceso de hidratación del cemento, que es relativamente lento, tradicionalmente las especificaciones y pruebas de resistencia del concreto se basan en especímenes curados en condiciones estándar de

temperatura y humedad durante un período de 28 días. Típicamente, las resistencias a la tracción y a la flexión del concreto son del orden de 10 y 15 por ciento, respectivamente, de la resistencia a la compresión. (Kumar y Monteiro, 2006).

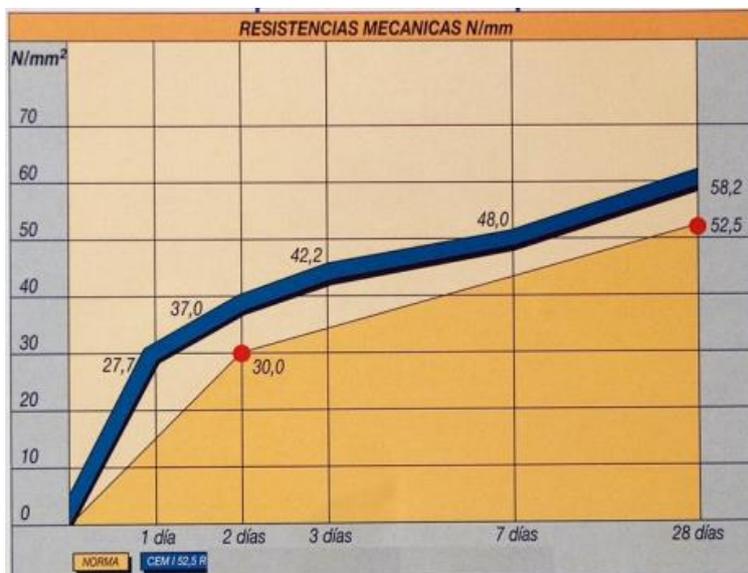


Figura N° 01: Resistencias Mecánicas Mínimas del concreto. (Kumar y Monteiro, 2006).

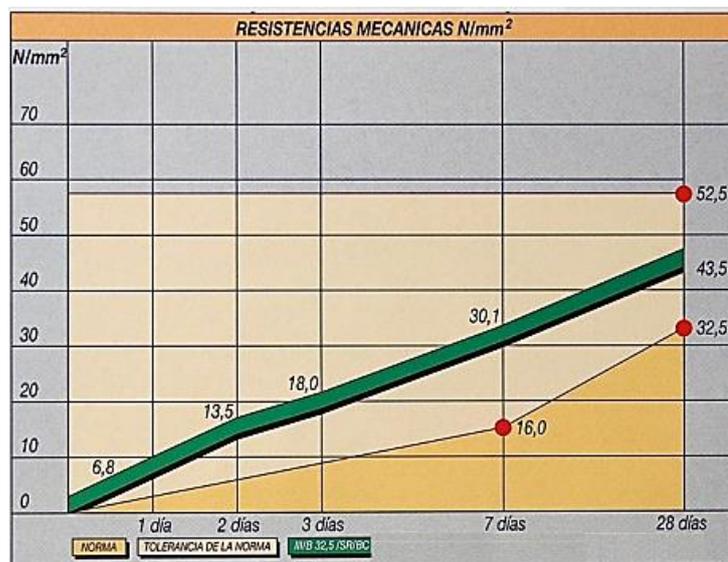


Figura N° 02: Resistencias Mecánicas Máximas del concreto. (Kumar y Monteiro, 2006).

Tipos de concreto

Según su peso

El concreto se puede clasificar según su peso en tres grandes categorías. El concreto que contiene arena natural y grava o agregados de roca triturada, que particularmente pesan alrededor de 2400 kg / m³ (4000 lb / yd³), se llama concreto de peso normal, y es el concreto más comúnmente utilizado para fines estructurales. (Kumar y Monteiro, 2006).

El término concreto liviano se usa para concreto que pesa menos de aproximadamente 1800 kg / m³ (3000 lb / yd³). El concreto pesado, utilizado para el blindaje contra la radiación, es un concreto producido a partir de agregados de alta densidad y generalmente pesa más de 3200 kg / m³ (5300 lb / yd³). (Kumar y Monteiro, 2006).

Según su resistencia

El concreto se divide en tres categorías generales basadas en la resistencia a la compresión:

- Concreto de baja resistencia: menos de 20 MPa (3000 psi)
- Concreto de resistencia moderada: 20 a 40 MPa (3000 a 6000 psi)
- Concreto de alta resistencia: más de 40 MPa (6000 psi).

El concreto de resistencia moderada, también llamado como concreto ordinario o normal, se utiliza para la mayoría de los trabajos estructurales. El concreto de alta resistencia se usa para aplicaciones especiales. Existen numerosos concretos modificados que se denominan apropiadamente: por ejemplo, concreto reforzado con fibra, concreto de cemento expansivo y concreto modificado con látex. (Kumar y Monteiro, 2006).

En la tabla N°01 se muestra las proporciones adecuadas de materiales para producir

mezclas de concreto de baja resistencia, resistencia moderada y alta resistencia con agregado de peso normal. (Kumar & Monteiro, 2006).

Tabla N°01: Proporciones típicas de materiales para producir mezclas de concreto

	Low-strength (Kg/m ³)	Moderate- strength (Kg/m ³)	High-strength (Kg/m ³)
Cement	255	356	510
Water	178	178	178
Fine aggregate	801	848	890
Coarse aggregate	1169	1032	872
Cement paste proportion			
percent by mass	16	22.1	28.1
percent by volumen	26	29.3	34.3
Water/cement by mass	0.70	0.50	0.35
Strength, Mpa	18	30	60

Fuente: Kumar y Monteiro, 2006.

2.2.3. Cemento Portland

El cemento portland es un conglomerante constituido por fragmentos de caliza y arcilla, que tiene la propiedad de endurecerse después de ponerse en contacto con el agua. El cemento combinándolo con la arena, la piedra y el agua, es capaz de crear una mezcla tan consistente como la de una piedra. Actualmente existen diversos tipos de cemento, siendo los más usados los tipos I. (Anónimo, 2018).

El cemento tipo I, este tipo de cemento es el más utilizado he elegido en construcciones de concreto y trabajos de albañilería, por lo que no se necesitan características específicas. Es usado en construcciones de viviendas, estructuras, edificaciones, etc. Y también es utilizado cuando no se indican el uso de otro tipo de cemento en las especificaciones de construcción. (Aceros Arequipa, s.f.).

Componentes del Cemento Portland

Clinker de cemento portland (k)

El clinker de cemento portland es un material hidráulico que debe estar formado como mínimo de su masa en un 2/3 por silicatos de calcio [3CaOSiO_2] y [2CaO.SiO_2], está formado el resto por fases de hierro, aluminio, y por otros compuestos. El Clinker se tiene como resultado por la sinterización de una mezcla homogénea de materias primas: arena, caliza, arcilla, compuestos de hierro y entre otros. (Servando y Sanjúan, s.f.).

Escoria granulada de horno alto (S)

La escoria granulada de horno alto se obtiene por rápido enfriamiento de una escoria fundida de composición ideal, obtenida por la mezcla del mineral de hierro en un horno alto y está formada como mínimo en dos 2/3 de su masa por escoria vítrea y si se activa de manera adecuada posee características hidráulicas. La escoria vítrea de horno alto se produce enfriando rápidamente la escoria fundida con agua o aire a fin de conseguir un material finamente dispersado (granulado). (Servando y Sanjúan, s.f.).

Puzolanas (P, Q)

Los materiales puzolánicos son sustancias naturales de composición silíceo o sílico-aluminosa o combinación de ambas que, incorporadas al cemento, se obtienen hormigones con mayor compacidad e impermeabilidad, menor calor de hidratación y también inhibe o contrarresta las expansiones producidas por la presencia de cal libre, magnesia libre, etc. (Servando y Sanjúan, s.f.).

Su principal campo de aplicación son las obras marítimas, bases y sub-bases de carreteras, obras de hormigón en masa en grandes volúmenes (presas, cimentaciones masivas, muros de contención, etc.), y morteros en general, donde la agresividad química del entorno pueda ser muy importante. (Servando y Sanjúan, s.f.).

Caliza (L, LL)

La caliza actúa como un elemento de relleno en el cemento ya que no participa en las reacciones de endurecimiento de los componentes hidráulicos activos. Sin embargo, como consecuencia de sus propiedades físicas, especialmente su distribución de tamaño de partículas, mejora las propiedades de la pasta de cemento tanto fresca como endurecida. Este efecto se basa en el relleno de espacios vacíos entre las partículas del cemento. (Servando y Sanjúan, s.f.).

La cantidad de caliza que actúa como elemento de relleno no deberá exceder el 20 % en peso y no deberá perjudicar otras propiedades; por ejemplo, no deberá disminuir la resistencia al hielo-deshielo del hormigón fabricado con este tipo de cemento. (Servando y Sanjúan, s.f.).

Tipos de cementos distintos del cemento portland

Cemento de aluminato de calcio

El cemento de aluminato de calcio (CAC) se fabricó por primera vez en Francia mientras se pasaba la primera guerra mundial. La base fue una patente del químico francés Jules Bied, estudiante de Le Chatelier, quien en 1908 descubrió que los fundidos cristalizados con la composición de aluminato monocálcico podían endurecer con la ayuda del agua y alcanzar estándares altos de resistencia. (Servando y Sanjúan, s.f.).

Cementos expansivos

Los cementos expansivos que aparecieron en 1920, tienen su base en el trabajo de Viktor Vasilévich Mikhaïlov y Alexander Klein; suelen tener en su composición una gran cantidad de aluminatos y sulfatos. (Servando y Sanjúan, s.f.).

Cementos de fraguado controlado

Lo que se busca en estos cementos es que el fraguado transcurra en un tiempo determinado. La Asociación del Cemento Portland de los Estados Unidos (PCA) creó el

regulated-set cement y por otra parte en Japón se elaboró un cemento parecido al cual se le llamó jet cement. (Servando y Sanjúan, s.f.).

Cemento portland con una alta resistencia a la acción de los sulfatos:

Cemento sobresulfatado, Hans Kühl (1879-1969) constituyó la base de la producción del cemento sobresulfatado cuando descubrió la activación mediante sulfatos de la escoria granulada de horno alto y el veintitrés de diciembre de 1908 patentó el «gipsschlackenzemen». (Servando y Sanjúan, s.f.).

Cementos para pozos de petróleo, estos cementos son necesarios para cubrir o reforzar los interiores de los pozos de petróleo. Su desarrollo comenzó en 1930. Esta clase de cementos endurecen y fraguan de un modo muy gradual, incluso soportan presiones y temperaturas elevadas. (Servando y Sanjúan, s.f.).

Tabla N° 02: Composición química de los cementos (% en masa)

Parámetro	Rango aproximado
Residuo insoluble	0,1 – 1,4
Oxido de calcio (CaO)	58.2 – 65.6 19.8 – 26.45
Sílice (SiO ₂)	4.1 – 9.5
Alúmina (Al ₂ O ₃)	2.1 – 4.5
Óxido de hierro (Fe ₂ O ₃)	Trazas – 2,9 0,1 – 2,8
Magnesia (MgO)	0,1 – 2,2
Álcalis (K ₂ O, Na ₂ O)	0,2 – 2,8
Sulfatos(SO ₃)	
Pérdida por calcificación	

Fuente: Servando y Sanjúan, (s.f.).

Producción y consumo actual de cemento

En el 2011, la producción mundial de cemento se estimó con un resultado de 3600

millones de toneladas, teniendo un 7,59% más que en 2010. En el 2011, China produjo 2100 millones de toneladas, lo que representa un 59,3% de la producción a nivel de todo el mundo. Por lo tanto, Asia es el continente líder en la fabricación de cemento con un aproximado de 78% de la producción, mientras que la Unión Europea EU27 tan solo contribuye con el 6%. (Servando y Sanjúan, s.f.).

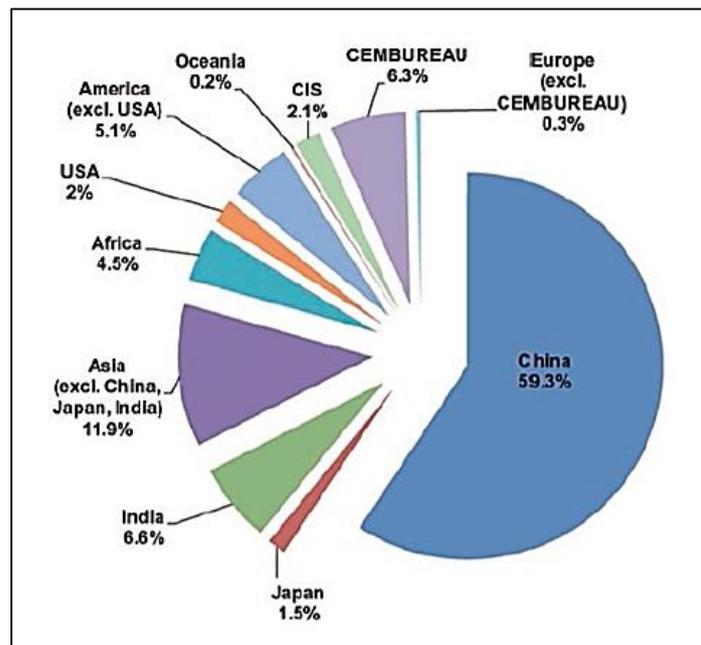


Figura N° 03: Producción mundial de cemento en porcentajes en 2011, de un total de 3600 millones de toneladas. (Servando y Sanjúan, s.f.).

Proceso de fabricación del cemento

La fabricación del cemento se realiza en instalaciones de gran escala ya que es un proceso industrial complicado. A continuación, pasos para la producción del cemento:

- Como primer paso es la obtención, almacenamiento y preparación de materias primas, como son la caliza, la marga y la arcilla, que son finamente molidas para obtener el crudo.
- Se almacena y se realiza la preparación de combustibles.
- Se continua con la cocción del crudo en un horno giratorio con temperaturas de 1.450°C

(2.000°C de temperatura de llama) para la obtención de clínker de cemento.

- d) Después de retirar del horno, molienda conjunta del clínker con otros componentes (cenizas volantes, escoria, puzolana natural, yeso, etc.) para obtener el cemento.
- e) Por último, se concluye con el Almacenamiento, ensacado y expedición de cemento. (Servando y Sanjúan, s.f.).

2.2.4. Arena

La arena fina es el conjunto de partículas que es resultado de la desintegración natural de las rocas o también después de la trituración, los granos obtenidos tienen dimensiones inferiores a los 5 milímetros. (ardisa, s,f,)

Clasificación de la arena

Arena sílica

El más común de los minerales usados en la fundición para producir moldes y corazones es la sílica(SiO). (Gonzales, 2016).

Mineral de cuarzo

Algunas de las razones de la popularidad de su uso son las siguientes:

- La naturaleza nos la brinda abundantemente.
- Es de fácil extracción y rápida localización.
- Su producción es de bajo costo.
- Resistencia y dureza a la abrasión satisfactoria.
- Tiene variedades de tamaño de grano y forma.
- Resistencia al ataque ácido de la escoria ideal y al metal.
- Conocida como un excelente refractario y buena resistencia a las altas temperaturas. (Gonzales, 2016).

Requerimientos adecuados para que una arena pueda ser utilizada para elaboración de moldes y corazones para el vaciado de piezas

- Ser de fácil moldeabilidad, de manera que se encaje a la perfección a las formas del modelo y las reproduzca adecuadamente.
 - Brindar una alta resistencia a la erosión producida por el desplazamiento de las partículas de arena.
 - Resistencia a los múltiples ataques químicos que se produce entre el metal líquido y el molde.
 - Refractariedad, es decir, que tenga una perfecta resistencia a temperaturas altas.
 - Tener excelente permeabilidad para permitir la salida de los gases que se produce durante la colada del molde.
 - Capacidad adecuada para disipar la energía térmica del metal líquido y favorecer así la adecuada solidificación de las piezas.
 - Que sea colapsable, es decir, que tenga una disgregación de sus partículas.
 - Acabados superficiales buenos en las piezas.
 - Que sea reutilizable, de manera que pueda moldearse en más de una oportunidad.
- (Gonzales, 2016).

Consideraciones

- La arena fina tiene que estar completamente seca antes de iniciar con la mezcla, no debe tener contacto con el agua antes de su uso; si eso se hace, esto impediría una adecuada mezcla y, al estar en contacto con el cemento, se comenzaría la fragua antes del tiempo adecuado.
- No debe mezclarse con tierra, es decir, no debe ensuciar las manos. No debe brillar al aire libre por el sol. No debe contener sal ni un color muy oscuro; no debe tener impurezas y materia orgánica (raíces, tallos, excrementos, etc). Además, no debe salir ni un olor de ella.
- Esta prohibido utilizarse arena de mar, por la abundante cantidad de sal que tiene.
- Su venta en el mercado es por metros cúbicos (m³). (Aceros Arequipa, s.f.).

2.2.5. Agua

El agua es un ingrediente importante del papercrete ya que participa favorablemente en la reacción química con cemento. Debe estar libre de materia orgánica y el valor del pH debe estar entre 6 y 7. (Ravindra, 2015).

2.2.6. Papercrete

Papercrete es un material recientemente descubierto. Este material reemplaza una cantidad de cemento con papel en una mezcla normal de concreto, su peso, costo y emisiones de CO2 disminuyen durante su producción, pero debido a la falta de datos sobre su comportamiento estructural sus usos son reducidos ya que es un material experimental. (Barriga y Bernardo, 2018).

Debido a su considerable contenido reciclado se percibe que el Papercrete es un material ecológico, ligero, aislante y de bajo costo, es resistente al fuego, duradero y tiene gran potencial como un material de construcción bajo en carbono. (Siva ,2015).

Es un material que posee buenas propiedades de aislamiento acústico, térmico y ligero, 7 veces más ligero que el concreto. Al drenar y evaporar el agua contenida dentro del papel se forman diminutas bolsas de aire, haciéndolo un material más ligero y aislante que un concreto. (Barriga y Bernardo, 2018).

Papercrete puede usarse como material de aislamiento acústico y también tiene la capacidad de absorber energía. Este material es sencillo esculpir, usar como mortero, hacer bloques, como aislamiento de paredes y paredes de jardines. (Manoj y Uma, 2017).

El papercrete es un material que tiene baja densidad por su bajo peso, por lo que se considera para ser utilizados en forma de bloques huecos o sólidos en edificaciones. También

permite la construcción de arcos y cúpulas, además, construcción tendrá menor cantidad de carga muerta debido a la baja densidad del papercrete, siendo un buen material para zonas propensas a terremotos gracias a su bajo peso y flexibilidad. (Barriga y Bernardo, 2018).

No es recomendable construir paredes exteriores o paredes cercanas a la tierra la razón es que el papercrete es un material con gran capacidad de absorción de agua, si se decide la construcción de muros exteriores de papercrete estos deben ser impermeables. El papercrete es un material que se adapta mejor en climas secos y cálidos debido a su capacidad de absorción y sus propiedades térmicas, teniendo un mal rendimiento en climas húmedos. (Barriga y Bernardo, 2018).

El papercrete es un material con imperfecciones que se relacionan con la rareza de la superficie, su textura es áspera y porosa proporciona una unión muy fuerte entre los bloques y un material de fachada potencial, crear una muestra homogénea con superficie lisa es muy difícil. Una de las principales desventajas del papercrete es que es un material quebradizo, se produce grietas ya que se expande y contrae con frecuencia y tiene muy baja resistencia de tracción. (Barriga y Bernardo, 2018).

Las empresas Econovate y Green Star Box son las únicas que producen comercialmente bloques hechos de papercrete, ya que esta es la forma más común en la que se utiliza. “Los usos del papercrete se limitan para fines experimentales y de recreación. Se utiliza como material aislante, como pared de relleno junto con las vigas de acero estructural y como mortero entre ladrillos secos.” (Barriga y Bernardo, 2018).

Para la fabricación del papercrete incluye remojar papel reciclado en agua para que las fibras se ablanden, se tiene que remover el papel hasta obtener una pulpa totalmente homogénea. El cemento Portland, la arena y el agua se agregan y se mezclan con el papel. (Shermale y Balamakund, 2017).

Papercrete motiva el reciclaje de residuos de papel, especialmente en comunidades sin

servicios de reciclaje. Ahorra espacio en los vertederos y mantiene el procesamiento del papel y los productos químicos de impresión fuera del nivel freático. Ahorra árboles y otros recursos de construcción, que se habrían utilizado en lugar de papelcreto. (Shermale y Balamakund, 2017).

Las propiedades del papercrete se sub dividen en propiedades física y mecánicas, respecto a las propiedades físicas son las que se pueden observar sin cambiar la identidad de la sustancia. El papercrete puede ser procesado después de que se endurece gracias a que es un material blando. Durante el proceso se podrían presentar grietas. Es un material que se puede moldear en casi cualquier forma y acabado. (Romero, 2014).

El papercrete es un material que cuenta con propiedades que se sub dividen en física y mecánicas, cuando se habla de propiedades físicas se puede decir que son las que se pueden observar sin cambiar la identidad de la sustancia. Peso, su baja densidad, color, su bajo costo y su disponibilidad son los más importantes. El papercrete está hecho de materiales ampliamente disponibles y fáciles de encontrar. El papel se puede obtener de una variedad de fuentes, su proceso de fabricación aún no se ha desarrollado lo suficiente para facilitar su uso. (Romero, 2014).

El papercrete se describe como un material que reacciona a fuerzas físicas, esto dentro de sus propiedades mecánicas. La resistencia, elasticidad, dureza, ductilidad, resistencia a la fractura y al impacto son propiedades comunes que tiene este material. (Romero, 2014).

Papercrete está compuesto por residuos de papel, agregado fino, cemento portland, estos son mezclados con agua para crear una pulpa de cemento de papel, y se utiliza como material de construcción de albañilería. Para su producción primero se remoja el papel con la finalidad de ablandar las fibras, se mezcla el papel empapado con agua para que se convierta en una pulpa homogénea, y luego se añade el cemento Portland, arena y agua. Mezclándolas en una hormigonera hasta que se convierta en una pasta consistente espesor. (Romero, 2014).

El papel para la fabricación del papercrete puede provenir de una variedad de fuentes

como periódicos, revistas y libros. No es tan sólido estructuralmente como el concreto, que es un material más denso. Este material demora en secar por lo que la construcción con este puede ser extensa. (Garret, Thompson y Williams, 2010).

2.2.7. Resistencia a la Flexión

Una pieza está sujeta a flexión, cuando esta requerida por un momento flector M . Por otro lado, una pieza está sometida a flexión simple cuando sus secciones están sujetas a momento flector variable y, en resultado, viene asociado de un esfuerzo cortante que ejerce un movimiento que consiste en doblar o torcer una pieza que estaba recta sometiéndola a deformación. Pero, si ejercen a la vez momentos flectores y momentos de torsión, se dice que dicha sección está sometida a flexo-torsión. (Blanco y Cervera, 2015).

Flexión recta

Flexión pura recta

La flexión pura es el caso de flexión más sencillo, es cuando en una pieza no existe otro tipo de esfuerzo como de torsión y carga axial, es decir una pieza cuando es recta al sufrir momentos crea una deformación, haciendo que la parte superior se acorte mientras que la parte inferior se alargue, es decir, las deformaciones y torsiones serán negativas en la parte superior y positivas en la parte inferior, a las partes negativas llamaremos compresión y a las positivas tensión. (Blanco y Cervera, 2015).

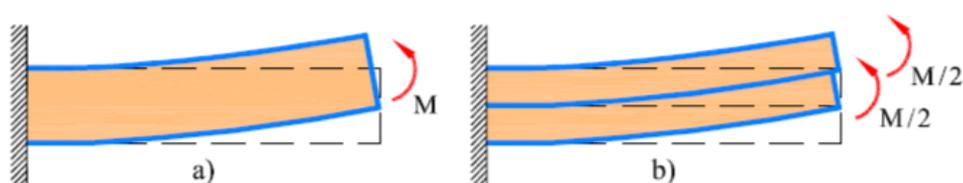


Figura 04: Deformación a flexión pura de dos vigas. (Blanco y Cervera, 2015).

Flexión compuesta recta

Flexión compuesta recta es cuando una sección está sometida a un esfuerzo axial N y un momento flector M , contenido en un plano principal de inercia de la sección. Las tensiones normales son la suma de la fuerza axial más la suma que tenemos con el momento flector. Por lo tanto, la cortante puede ser o no nulo, según el flector M_z sea constante o variable a lo largo de la pieza. (Blanco y Cervera, 2015).

Flexión Esviada

Flexión pura esviada

Flexión pura esviada es cuando una pieza está sometida sobre sus secciones y actúa un momento flector uniforme a lo largo de la misma, contenido en un plano distinto de los planos principales de flexión de la pieza, es decir, tal que el vector momento no coincide con ninguno de los ejes principales de inercia de las secciones, (Blanco y Cervera, 2015).

Flexión compuesta esviada

Se dice que una pieza está solicitada a flexión compuesta esviada cuando sobre sus secciones actúa un sistema de esfuerzos que se reduce a un esfuerzo axial N y un momento flector M de componentes M_y y M_z , contenido en un plano distinto de los planos principales de flexión de la pieza, es decir, tal que el vector momento no coincide con ninguno de los ejes principales de inercia de las secciones. (Blanco y Cervera, 2015).

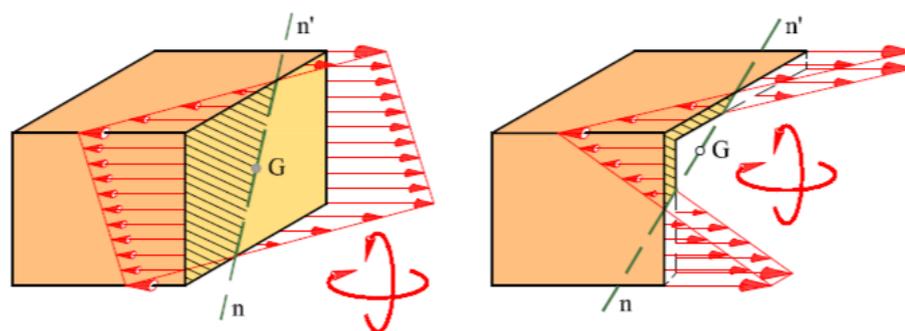


Figura 05: Distribución de tensiones en flexión esviada. (Blanco y Cervera, 2015).

2.2.8. Optimización

Es una tarea frecuente en distintas situaciones de la vida corriente: dirigirse a un lugar por el camino más corto; querer llegar a algún lugar en el menor tiempo posible; emplear la menor cantidad posible de material al construir algo; comprar lo que más nos convenga; en un negocio obtener la máxima ganancia, etc. (Malaspina, s.f.).

Es un concepto matemático fundamental para abordar problemas de la vida cotidiana. Las herramientas del Análisis Matemático son empleadas en el Currículo del Bachillerato para solucionar los problemas de optimización, siendo aquí donde aparecen las principales dificultades de aprendizaje de la noción. (Balcaza, Contreras y Font, 2017).

Los conceptos matemáticos vinculados muy íntimamente con la experiencia humana, resulta innato considerar distintos problemas de optimización para reflexionar sobre el aprendizaje de las matemáticas, sobre la oportunidad de la formalización en matemáticas y su importancia, sobre la interrelación entre la percepción intuitiva y la solución responsable de un problema y muchos aspectos distintos vinculados con la matemática educativa. (Malaspina, s.f.).

En la obtención del cálculo diferencial una de las aplicaciones más notable es la obtención de máximos y mínimos de funciones; existen muchos problemas que se pueden resolver sin recurrir al cálculo diferencial y estos son los primeros a tratar ya que tanto porque los conocimientos matemáticos que se requieren son sólo los de la secundaria, porque su visualización y perspectiva intuitiva son muy apropiadas para en problemas que requieren matemática universitaria y para reflexionar sobre la transformación entre conceptos matemáticos avanzados y conceptos matemáticos elementales. (Malaspina, s.f.).

Optimización con funciones reales de variables reales

Se tiene métodos conocidos y una teoría matemática para resolver problemas de máximos y mínimos con funciones reales de una o más variables reales, es muy importante que el docente tenga una visión muy amplia sobre las numerosas formas de tratar estos problemas, sobre todo utilizar estas diversas maneras para desarrollar las intuiciones de los estudiantes. (Malaspina, s.f.).

Existen intuiciones de conjetura, de anticipación y de conclusión, muy asociadas con la resolución de problemas y también intuiciones secundarias que son obtenidas por la influencia de razonamientos avanzados y aprendizajes de conceptos. Todas estas pueden ser utilizadas, estimuladas y desarrolladas utilizando problemas de optimización. (Malaspina, s.f.).

Es muy esencial estudiar, comprender y manejar métodos y conceptos del cálculo diferencial, teniendo conciencia de sus ventajas luego de haber comprendido bien los problemas, haber resultado usando algunos recursos intuitivos y algebraicos, siendo conscientes de las limitaciones de estos recursos cuando se trata de problemas más avanzados se hará de manera más eficiente. Los estudiantes deben aprender a examinar enunciados matemáticos formales complejos y construir significados con base en tales formalismos. (Malaspina, s.f.).

En la economía son muchas las tareas que pueden resolverse con ayuda de la modelación. Donde pueden agruparse de forma muy general: en tareas de optimización y no optimización. (López, Castro y Guerra, 2017).

Uno de los métodos de cálculo de programación matemática es la programación lineal; por sus posibilidades y su utilidad forma una de las técnicas de cómputo matemático atomizado más desarrolladas en la actualidad, se busca el valor máximo o mínimo de la función sujeta a determinadas restricciones con un número determinado de variables, su método y su teoría se refiere a la solución de problemas de optimización. (López, Castro y Guerra, 2017).

2.3. Definición de términos básicos

- **Papel**

Es papel es una lámina delgada elaborada con pulpa de celulosa que es flanqueada y posteriormente secada y endurecida. (Miranda y Mendoza, 2014).

- **Cemento**

El cemento es un material aglomerante con propiedades de cohesión y adherencia, que le permite unir entre si fragmentos minerales. (Molina, 2006).

- **Arena**

Arena fina está formada por la descomposición natural de las rocas debido a diversos efectos del clima. Se clasifica según el tamaño de los granos, como fino, grueso y grava. (Manoj, y Uma, 2017).

- **Agua**

El agua es una sustancia que está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Es un ingrediente importante de papercrete ya que participa activamente en la reacción química con cemento. (Manoj, y Uma, 2017).

- **Flexión**

Flexión es conocida también como módulo de rotura, al sufrir momentos crea una deformación, que serán negativas en la parte superior y positivas en la parte inferior. (Blanco y Cervera, 2015).

- **Panel**

El panel es una estructura tridimensional que se usa como muro, presenta características mecánicas y propiedades estructurales, térmicas y acústicas. (Girón, 2014).

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La proporción óptima para elaborar paneles en base a papel bond reciclado para zonas de bajos recursos económicos es la proporción 1:1:1

2.4.2. Hipótesis específicas

Objetivo específico 1

- La proporción que optimiza la resistencia a la flexión de paneles en base a papel bond reciclado es la proporción 1:1:1

Objetivo específico 2

- H_0 : La diferencia que existe entre la resistencia a la flexión de paneles en base a papel bond reciclado y los paneles comerciales es no significativa
- H_1 : La diferencia que existe entre la resistencia a la flexión de paneles en base a papel bond reciclado y los paneles comerciales es significativa

Objetivo específico 3

- La proporción que optimiza el costo de paneles en base a papel bond reciclado es la proporción 1:3:3

Objetivo específico 4

- H_0 : La diferencia que existe entre el costo de paneles en base a papel bond reciclado y los paneles comerciales es no significativa

- H₁: La diferencia que existe entre el costo de paneles en base a papel bond reciclado y los paneles comerciales es significativa

2.5. Operacionalización de variables

Variable independiente:

Proporción óptima

Variable dependiente:

Paneles en base a papel bond reciclado

Tabla N°03: Operacionalización de variables

Problema	Variable	Dimensión	Indicador	Fórmula
¿Cuál es la proporción óptima para elaborar paneles en base a papel bond reciclado para zonas de bajos recursos económicos?	Proporción Paneles en base a papel bond reciclado	Cantidad de material	Proporción en volumen	$V = \frac{V_i}{\sum_1^n V_i}$
		Propiedad mecánica	Resistencia a la flexión	$R_{f_c} = R_{f_m} \cdot V_m + R_{f_p} \cdot V_p$
		Propiedad general	Costo	$C_c = \frac{C_m \cdot V_m}{C_m \cdot V_p + C_p \cdot V_m}$

Fuente: elaboración propia, 2020

CAPITULO III METODODOLOGIA

3.1. Tipo de investigación

Es una investigación de carácter aplicada, ya que promueve la aplicación de conocimientos, teorías y demás, adquiridos con anterioridad, a la vez incita a la solución de fenómenos científicos y tecnológicos existentes en nuestra realidad.

Por otro lado, es una investigación de carácter cuantitativa ya que los resultados son numéricos y se permite la interacción entre los datos y resultados obtenidos.

Finalmente es experimental ya que permite la manipulación de las variables para medir la correlación en las proporciones y el efecto sobre la variable dependiente

3.2. Diseño de investigación

El diseño de investigación es experimental, siendo más preciso es un diseño con post-test solamente ya que trabaja con grupos de datos y sólo se aplica post-test

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

Estuvo formada por un total de 75 probetas en forma de paneles bajo la norma ASTM D3043-17, con medidas 30 cm x 30 cm x 1.27 cm, a su vez, estas 75 probetas se separaron en 15 probetas por cada porcentaje a evaluar

3.3.2. Muestra

Estuvo constituida por las probetas con proporción cemento:arena:papel bond reciclado, la muestra es la misma que la población ya que el tamaño de esta última es de tamaño reducido, la distribución de las probetas se hizo de la siguiente manera:

- 1:1:1 (15 probetas)
- 1:1:2 (15 probetas)
- 1:1:3 (15 probetas)
- 1:2:2 (15 probetas)
- 1:2:3 (15 probetas)

Esto hizo un total de 75 probetas, las cuales sirvieron para realizar los ensayos de flexión previstos

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En la presente investigación se utilizó la observación como técnica para recolectar los datos necesarios, estos a su vez fueron anotados en un cuaderno para llevar un mejor control. A continuación, y con la ayuda del Ms Excel, se almacenaron datos y se elaboraron tablas para el procesamiento estadístico con el IBM SPSS 25, el CES Edupack 10 para la obtención de datos de los materiales, y finalmente el Solver de Ms Excel para la optimización en base a los modelos matemáticos. El lugar donde se realizaron los ensayos fue el Laboratorio de Materiales y Operaciones de la Universidad Católica de Trujillo “Benedicto XVI” donde con ayuda de algunos estudiantes y la supervisión del asesor se hizo la toma de datos fidedignamente.

3.5.Métodos y técnicas de recolección de datos

Esta investigación tuvo como objetivo general el determinar la proporción óptima para elaborar paneles en base a papel bond reciclado, para esto se elaboraron probetas en forma de paneles de 30 x 30 x 1.27 cm, las cuales contaban con diferentes proporciones de cemento:arena:papel bond reciclado, las proporciones a evaluar fueron 1:1:1, 1:1:2, 1:1:3, 1:2:2 y 1:2:3, de cada proporción 15 probetas, es decir 75 en total. Para poder determinar la proporción óptima se realizaron ensayos de flexión a cada probeta y se compararon los resultados con el de una plancha de drywall comercial, a la vez se hicieron análisis de costos de cada una de ellas.

Para iniciar el proceso, se realizó el acopio de papel, el cual fue debidamente trozado y puesto en remojo por un periodo de 3 días, luego de esto se batió para desmenuzarlo, se dejó secar 7 días para que tome la consistencia de agregado, luego de esto se dosificaron las diferentes proporciones, se engrasaron los moldes y con ayuda de un trompo se realizó la mezcla de los materiales, el uso de este equipo ayudó a que la mezcla resultante sea lo más homogénea posible, a la vez se hizo masivamente y de una sola tanda se llenaron todos los moldes por proporción.

Luego del llenado de las probetas, se les dejó secar un día y se retiraron de los moldes, una vez sueltas se dejaron curar al aire libre por 28 días. Después de este secado y curado se les realizó el ensayo de flexión con la ayuda de una prensa hidráulica acondicionada para realizar este ensayo, los datos obtenidos fueron procesados y comparados con los resultados de una plancha comercial y a la vez se realizó el análisis de costos para poder determinar la proporción óptima de materiales para elaborar paneles.

Para un mejor entendimiento del proceso realizado, se elaboró el siguiente diagrama de flujo del proceso:

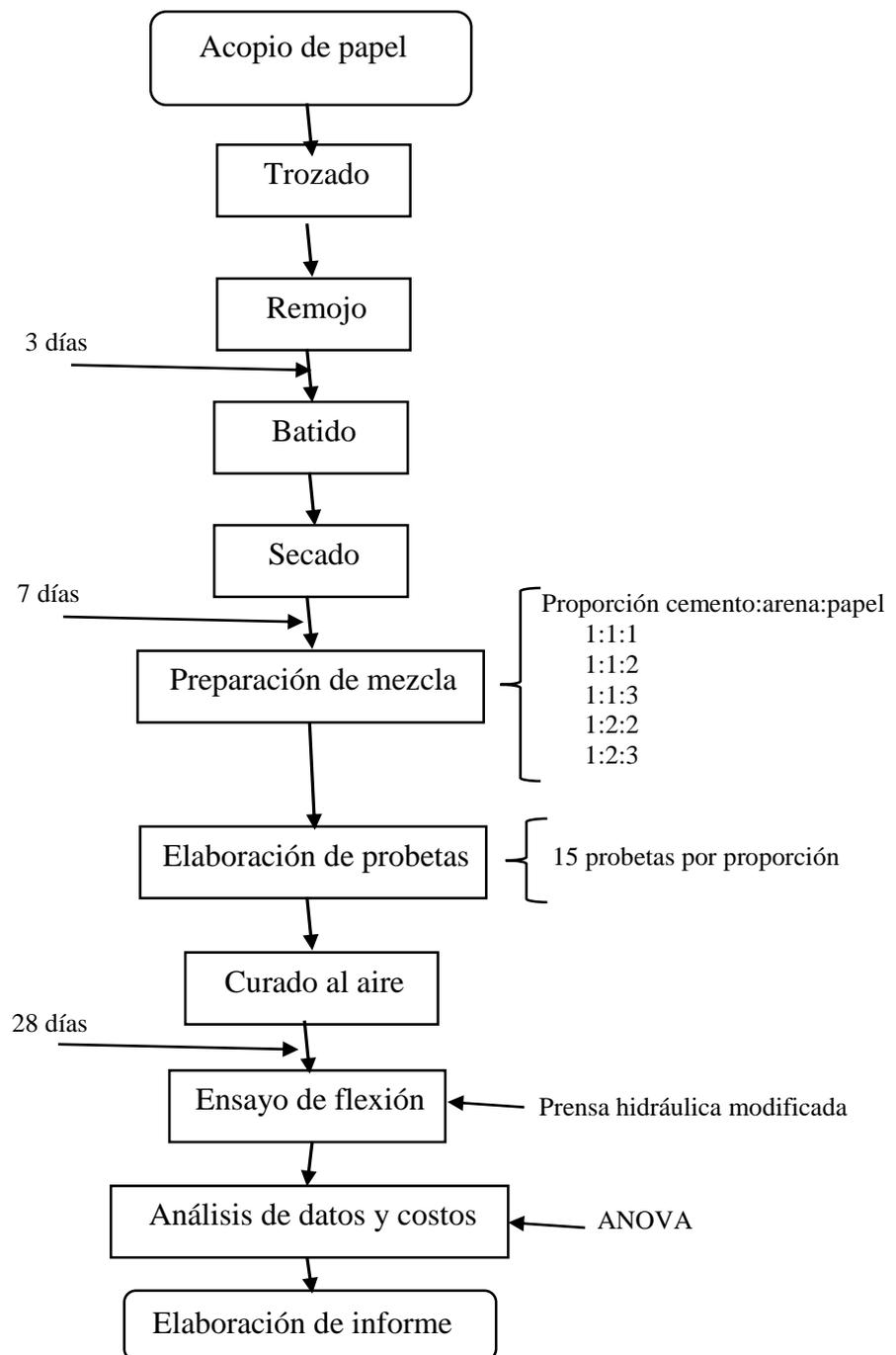


Figura N°06: Diagrama de flujo del proceso (Elaboración propia, 2020)

Finalmente, para el procesamiento de datos se contó con ayuda de software especializado como son Ms Excel, Solver, CES Edupack y el IBM SPSS los cuales permitieron la obtención de datos, el almacenamiento de estos en hojas de cálculo, la optimización de los modelos matemáticos y el posterior análisis estadístico mediante Análisis de Varianza (ANOVA) unidireccional

3.6. Ética investigativa

Se realizaron todos los ensayos y la toma de datos de la manera más fidedigna posible, sin alterar ningún dato y respetando las normas de éticas de la investigación

CAPITULO IV RESULTADOS

4.1. Presentación y análisis de resultados

4.1.1. Cálculo de la proporción que optimice la resistencia a la flexión de paneles en base a papel bond reciclado

En el caso de la resistencia a la flexión se quiere que sea lo más alta posible, es por esta razón que la optimización consistió en la maximización de los valores para poder obtener la proporción adecuada, para esto se utilizó la regla de mezclas de los materiales compuestos particulados (Ecuación 01) para calcular el límite superior de la propiedad requerida (resistencia a la flexión)

$$R_{f_c} = R_{f_m} \cdot V_m + R_{f_p} \cdot V_p \quad \dots \text{Ecuación 01}$$

Donde:

R_{f_c} = Resistencia a la flexión del compuesto

R_{f_m} = Resistencia a la flexión de la matriz

R_{f_p} = Resistencia a la flexión del refuerzo (partículas)

V_m = Fracción en volumen de la matriz

V_p = Fracción en volumen del refuerzo (partículas)

Es preciso mencionar que, se tuvo que realizar una doble optimización, ya que el material elaborado posee un refuerzo (papel reciclado) y una matriz (mortero) la cual a su vez está formada por dos materiales: cemento (quien hace las veces de matriz) y arena (quien hace las veces de refuerzo), es por esta razón que al momento de introducir los datos en el Ms Excel se tuvo que realizar un doble cálculo de la maximización de la resistencia a la flexión, primero para sacar el óptimo del mortero y luego este con el papel, los datos fueron obtenidos del software CES Edupack 10 teniendo que hacer las conversiones de [GPa] a [kgf/cm²]

A continuación, se puede observar el modelo matemático desarrollado para realizar la optimización (maximización) de la resistencia a la flexión de los paneles

$$\text{Función Objetivo: Maximizar } R_{f_c} = R_{f_m} \cdot V_m + R_{f_p} \cdot V_p$$

Sujeto a:

$$\text{Restricción 1: Proporción cemento} = 1$$

$$\text{Restricción 2: } 1 \leq \text{Proporción arena} \leq 3$$

$$\text{Restricción 3: } 1 \leq \text{Proporción papel} \leq 3$$

$$\text{Para todo: } v = \frac{\text{Proporción}_i}{\sum_1^n \text{Proporción}_i}$$

En la Figura N°07 podemos observar el proceso de optimización realizado con el Solver de Ms. Excel, teniendo como restricciones las proporciones a usar (1 como mínimo, 3 como máximo) y siendo la función objetivo la ecuación 01.

En la Figura N°08 se observa los resultados obtenidos luego de realizar la optimización, teniendo que la proporción con la que se obtiene la resistencia a la flexión máxima es la proporción 1:1:3

The image shows the Microsoft Excel interface with the Solver Parameters dialog box open. The spreadsheet data is as follows:

	Proporción	Frac en Vol	Res Flex (kg/cm ²)	Mínimo	Máximo
Cemento	#¡DIV/0!	22.4	1	1	
Arena	#¡DIV/0!	40.8	1	3	
Papel (refuerzo)	#¡DIV/0!	254.90	1	3	
Mortero (matriz)	-	#¡DIV/0!			
Papercrete Res Flex Máxima	-	-	#¡DIV/0!		

The Solver Parameters dialog box is configured with the following settings:

- Establecer objetivo:** \$H\$10
- Para:** Máx Mín Valor de: 0
- Cambiando las celdas de variables:** \$F\$6:\$F\$8
- Sujeto a las restricciones:**
 - \$F\$6 = 1
 - \$F\$7 <= 3
 - \$F\$7 >= 1
 - \$F\$8 <= 3
 - \$F\$8 >= 1
- Convertir variables sin restricciones en no negativas
- Método de resolución:** GRG Nonlinear

Figura N°07: Optimización de la resistencia a la flexión (Elaboración propia, 2020)

The image shows the Microsoft Excel interface with the 'Datos' (Data) ribbon selected. The active cell is F9. The spreadsheet contains a table with the following data:

	Proporción	Frac en Vol	Res Flex (kg/cm ²)	Restricción proporción	
				Mínimo	Máximo
Cemento	1	0.5	22.4	1	1
Arena	1	0.5	40.8	1	3
Papel (refuerzo)	3	0.60	254.90	1	3
Mortero (matriz)	-	0.40	31.60		
Papercrete Res Flex Máxima	-	-	165.58		

Figura N°08: Resultados de la optimización de la resistencia a la flexión (Elaboración propia, 2020)

Por otro lado, en la Figura N°09 se puede observar la resistencia a la flexión de los paneles con diferentes proporciones de cemento:arena:papel bond reciclado, obtenidos experimentalmente, esta resistencia se expresa en $[\text{kgf}/\text{cm}^2]$

En esta figura se puede observar que las probetas correspondientes a la proporción 1:2:3 obtuvieron los valores más altos, lo cual no corresponde a lo obtenido con la optimización mediante el Solver, por otro lado, los valores más bajos los obtuvo las probetas de proporción 1:2:2

A la vez, observamos que las diferencias entre los resultados obtenidos de las proporciones 1:1:1, 1:1:2 y 1:2:3 son casi imperceptibles, lo mismo pasa con los resultados de las proporciones 1:2:2 y 1:3:2 y, por otro lado, la diferencia entre las que se mencionaron inicialmente, con las dos últimas si es notoria

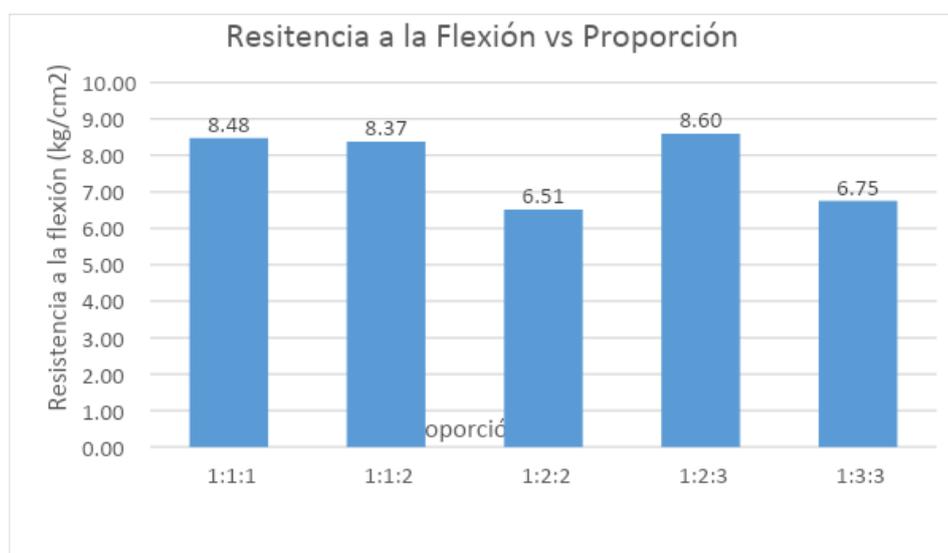


Figura N°09: Resistencia a la flexión vs proporción de mezcla (Elaboración propia, 2020)

4.1.2. Comparación de la resistencia a la flexión de los paneles de papel bond reciclado con la de los paneles comerciales existentes en el mercado

En la Figura N°10 se puede observar la resistencia a la flexión de los paneles con diferentes proporciones de cemento:arena:papel bond reciclado pero esta vez se ha agregado la resistencia de una plancha de yeso (drywall) comercial, esta plancha fue ensaya con la misma prensa modificada con la que se ensayó a los paneles elaborados en el

laboratorio, teniendo como resultado 6.89 kg/cm², acá se observa que la resistencia que poseen las planchas comerciales es baja en comparación con 3 de las proporciones ensayadas, superando sólo a la resistencias de la proporciones 1:2:2 y 1:3:3

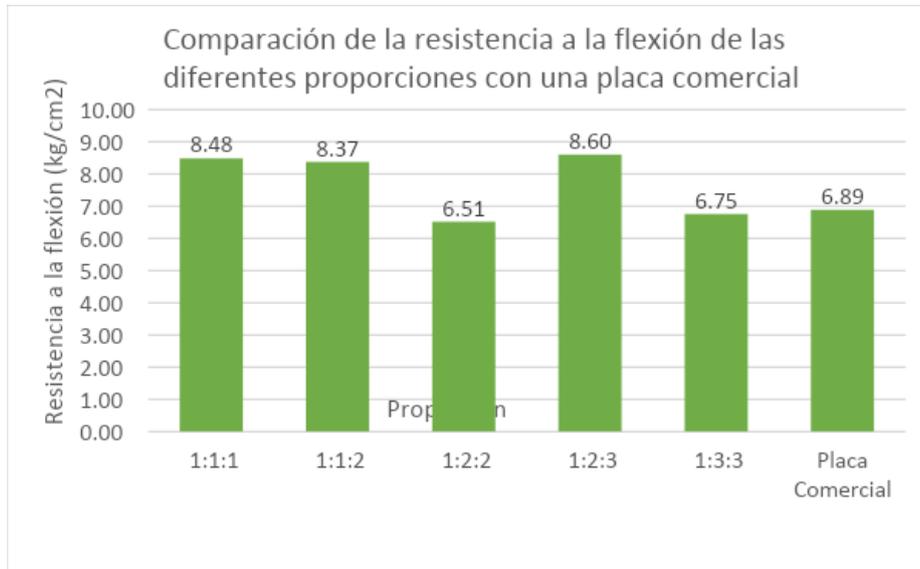


Figura N°10: Resistencia a la flexión vs proporción de mezcla y placa comercial (Elaboración propia, 2020)

4.1.3. Cálculo de la proporción que optimice el costo de los paneles en base a papel bond reciclado

Para el caso del costo, se quiere que este sea lo más bajo posible, es por esta razón que la optimización consistió en la minimización de los valores para poder obtener la proporción adecuada, para esto se utilizó la regla de mezclas de los materiales compuestos particulados (Ecuación 02) para calcular el límite inferior de la propiedad requerida (resistencia a la flexión)

$$C_c = \frac{C_m \cdot V_m}{C_m \cdot V_p + C_p \cdot V_m} \quad \dots \text{Ecuación 02}$$

Donde:

C_c = Costo del compuesto

C_m = Costo de la matriz

C_p = Costo del refuerzo (partículas)

V_m = Fracción en volumen de la matriz

V_p = Fracción en volumen del refuerzo (partículas)

Al igual que en el caso de la resistencia a la flexión, se tuvo que realizar una doble optimización, por las razones ya explicadas; en este caso los datos de los costos se obtuvieron de las ferreterías locales

La optimización realizada, en este caso minimización del costo, se realizó teniendo en cuenta el siguiente modelo matemático

$$\text{Función Objetivo: Minimizar } C_c = \frac{C_m \cdot V_m}{C_m \cdot V_p + C_p \cdot V_m}$$

Sujeto a:

Restricción 1: Proporción cemento = 1

Restricción 2: $1 \leq$ Proporción arena ≤ 3

Restricción 3: $1 \leq$ Proporción papel ≤ 3

$$\text{Para todo: } v = \frac{\text{Proporción}_i}{\sum_1^n \text{Proporción}_i}$$

En las Figuras N°11 y N°12 se observa el proceso de optimización realizado con el Solver de Ms. Excel, tomando las mismas restricciones que para la resistencia a la flexión y en este caso la función objetivo es la ecuación 02, luego de la optimización se obtiene que la proporción con la que se obtiene el costo mínimo es la proporción 1:3:

The image shows the Microsoft Excel interface with the Solver Parameters dialog box open. The spreadsheet data is as follows:

	D	E	F	G	H	I	J
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							Restricción proporción
30			Proporción	Frac en Vol	Costo (soles/kg)	Mínimo	Máximo
31		Cemento		#¡DIV/0!	0.65	1	1
32		Arena		#¡DIV/0!	0.2	1	3
33		Papel (refuerzo)		#¡DIV/0!	0.50	1	3
34		Mortero (matriz)	-	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!		
35		Papercrete costo mínimo	-	-	#¡DIV/0!		

The Solver Parameters dialog box is configured with the following settings:

- Establecer objetivo:** \$H\$35
- Para:** Máx Min Valor de: 0
- Cambiando las celdas de variables:** \$F\$31:\$F\$33
- Sujeto a las restricciones:**
 - \$F\$31 = 1
 - \$F\$32 <= 3
 - \$F\$32 >= 1
 - \$F\$33 <= 3
 - \$F\$33 >= 1
- Convertir variables sin restricciones en no negativas
- Método de resolución:** GRG Nonlinear

Figura N°11: Optimización del costo (Elaboración propia, 2020)

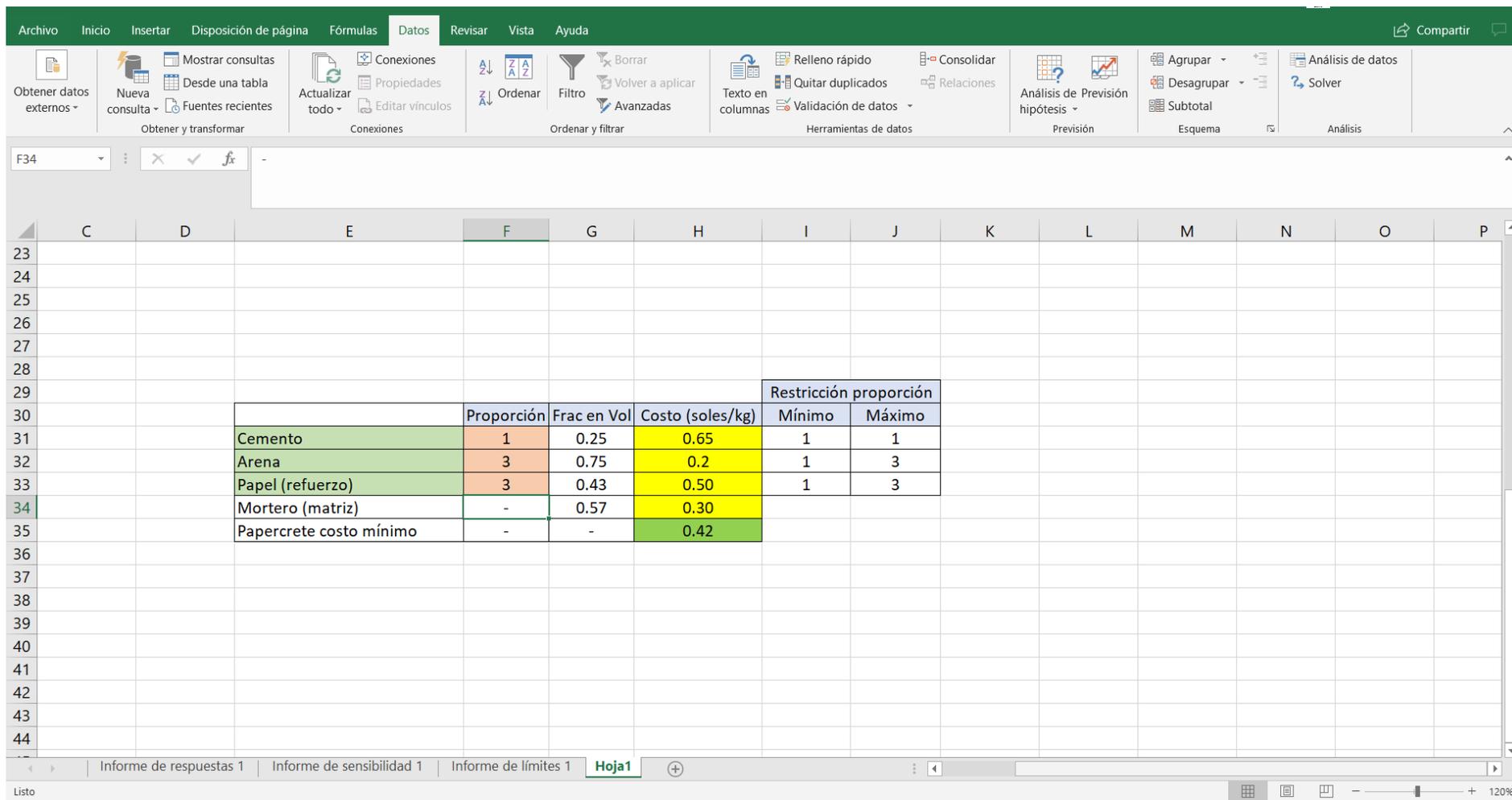


Figura N°12: Resultados de la optimización del costo (Elaboración propia, 2020)

A la vez, en la Figura N°13 se observa el costo de los paneles obtenidos mediante cálculo directo, teniendo que, se obtiene que la proporción con menor costo es la 1:3:3, al igual que con la optimización mediante el Solver

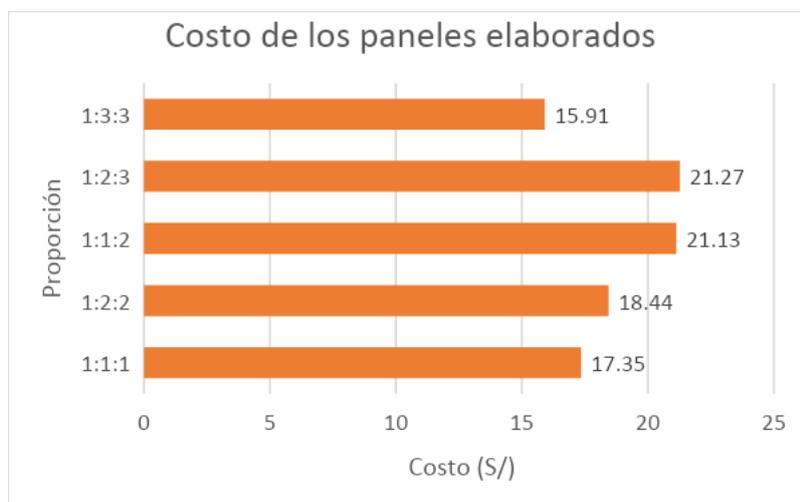


Figura N°13: Costo de los paneles elaborados (Elaboración propia, 2020)

4.1.4. Comparación de los costos de un panel elaborado con papel bond reciclado con respecto a la de un panel comercial

Al igual que con la resistencia a la flexión, se realizó la comparación entre los resultados obtenidos con los de una placa de yeso comercial. En la Figura N°14 se observa la referida comparación, tomando como precio del panel comercial estándar S/ 21.5 (el precio fue obtenido de las ferreterías locales), como se aprecia, el costo de un panel comercial es mayor que todos los costos de los paneles elaborados en base a papel bond reciclado.

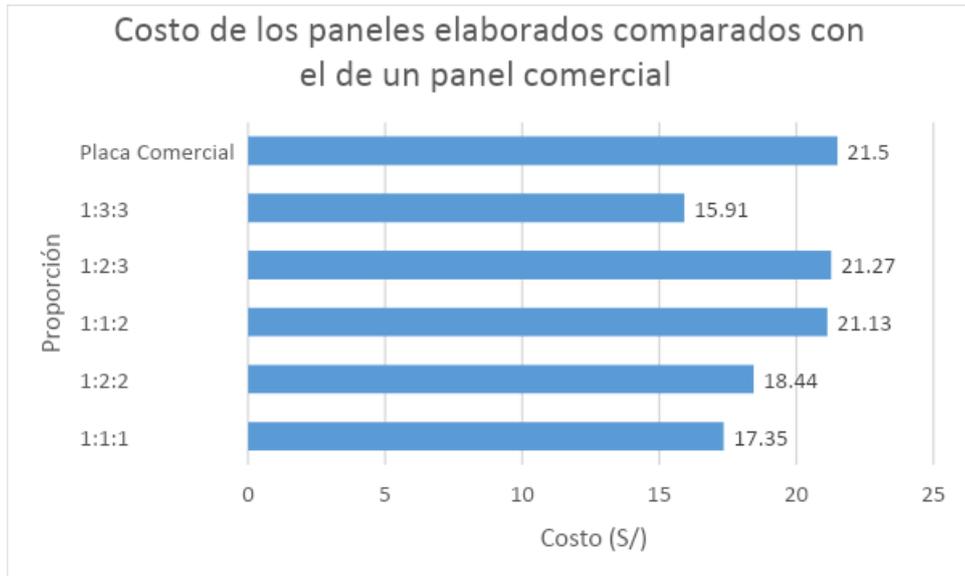


Figura N°14: Costo de los paneles elaborados comparados con el de un panel comercial
(Elaboración propia, 2020)

4.1.5. Determinación de la proporción óptima para elaborar paneles en base a papel bond reciclado para zonas de bajos recursos económicos

Para poder determinar la proporción óptima para elaborar paneles en base a papel bond reciclado se tuvo que realizar un cruce de datos y de esta manera poder evaluar ambas propiedades, el panel debe cumplir dos requisitos: tener elevada resistencia a la flexión y tener bajo costo. El cruce de información se puede observar en la Figura N°15, donde se ve que la proporción 1:2:3 es la que posee mayor resistencia a la flexión, a la vez es la que tiene el costo más alto, y, por otro lado, la proporción 1:1:1 posee un valor de resistencia muy similar al de la proporción 1:2:3 y a la vez posee uno de los costos más bajos, se asume que la proporción óptima es la 1:1:1

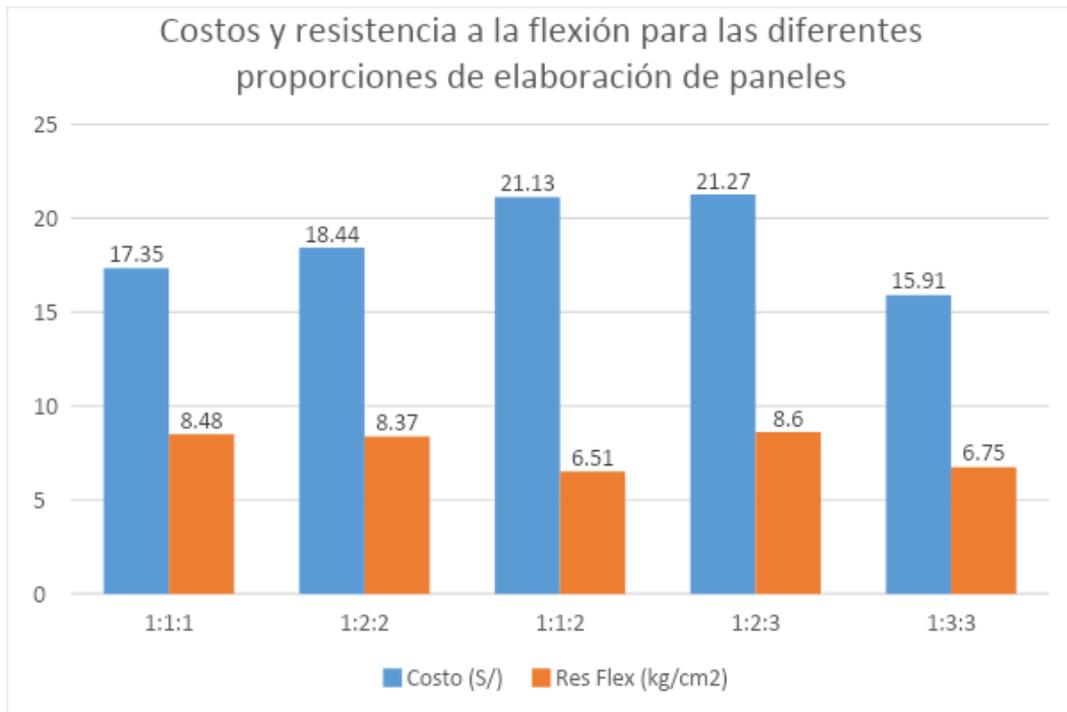


Figura N°15: Costos y resistencia a la flexión para las diferentes proporciones de elaboración de paneles (Elaboración propia, 2020)

4.2. Prueba de hipótesis

4.2.1. Cálculo de la proporción que optimice la resistencia a la flexión de paneles en base a papel bond reciclado

Luego de evaluar los resultados obtenidos al aplicar el modelo matemático de maximización y hacer la corrida en el Solver de Ms. Excel, obtenemos que la proporción que optimiza la resistencia a la flexión de paneles en base a papel bond reciclado es la proporción 1:1:3 con 165.68 kg/cm^2 , de esta manera se rechaza la hipótesis planteada donde se indicaba que la proporción que maximizaba la resistencia a la flexión era la 1:1:1

Si bien en este objetivo la hipótesis planteada no necesita prueba estadística para poder comprobarla, se realizó un análisis estadístico mediante Análisis de Varianza (ANOVA) unidireccional al 0.05% de significancia, esto con el fin de probar que existen

diferencias entre las medias de los tratamientos (las diferentes proporciones). Los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes:

Tabla N°04: ANOVA para la resistencia a la flexión en kgf/cm² de paneles en base a papel bond reciclado

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	57,161	4	14,290	31,743	,000
Dentro de grupos	31,513	70	,450		
Total	88,674	74			

Fuente: IBM SPSS, 2020

En la Tabla N°04 se aprecia los resultados ANOVA realizado entre las medias de las 5 proporciones evaluadas, en esta tabla se observa un valor de estadístico F de 31.743 esto implica que por lo menos una de las medias de la resistencia a la flexión de las diferentes proporciones evaluadas es diferente con relación a las demás, lo mencionado también se puede verificar al observar que el valor p (significancia) obtenido es de 0.000%, el cual es menor que el valor planteado inicialmente ($\alpha = 0.05\%$)

4.2.2. Comparación de la resistencia a la flexión de los paneles de papel bond reciclado con la de los paneles comerciales existentes en el mercado

De igual manera que en el caso anterior se procedió a realizar el ANOVA unidireccional para determinar que existe diferencia entre los distintos grupos evaluados y la prueba de Tukey al 0.05% de significancia para determinar si la diferencia existente es significativa o no. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla N°05: ANOVA para la resistencia a la flexión en kgf/cm² de paneles en base a papel bond reciclado y una placa comercial

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	67,158	5	13,432	35,803	,000
Dentro de grupos	31,513	84	,375		
Total	98,671	89			

Fuente: IBM SPSS, 2020

Tabla N°06: Prueba de Tukey (medias) para la resistencia a la flexión en kgf/cm² de paneles en base a papel bond reciclado y placa comercial

PROPORCIÓN	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
1:2:2	15	6,5127	
Gyplac	15	6,8900	
1:3:3	15	6,9520	
1:1:2	15		8,3740
1:1:1	15		8,4820
1:2:3	15		8,6007
Sig.		,371	,912

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 15.000.

Fuente: IBM SPSS, 2020

En la Tabla N°05 podemos observar los resultados del ANOVA realizado entre las 5 proporciones evaluadas y la resistencia a la flexión de una placa comercial que se encuentra en el mercado, en esta tabla se puede observar que el valor del estadístico F es de 35,803 y que la significancia (Sig.) obtenida es de 0.000% (valor p), siendo menor que la planteada inicialmente de 0,05% (α), los valores antes mencionados indican que los grupos (proporciones evaluadas) obtienen resultados diferentes entre sí.

En el caso de la Tabla N°06 se observa la Prueba de Tukey para medias, esta prueba se realizó con las medias de la resistencia a la flexión de las diferentes proporciones

y se adicionó el valor de la resistencia a la flexión de la placa comercial, se formaron 2 subconjuntos, de los cuales la del valor de la placa comercial, junto con las proporciones 1:2:2 y 1:3:3 se encuentran en un subconjunto, y las proporciones 1:1:2, 1:1:1 y 1:2:3 se encuentran en el otro subconjunto.

Con lo antes expuesto se rechaza la hipótesis nula, siendo que si existe diferencia significativa entre la resistencia a la flexión de paneles en base a papel bond reciclado y los paneles comerciales; si bien, esto no se cumple para todas las proporciones, pero al existir por lo menos 3 de 5 proporciones que lo cumplen, se da por aceptada la hipótesis alterna.

4.2.3. Cálculo la proporción que optimice el costo de los paneles en base a papel bond reciclado

Al evaluar los resultados obtenidos al aplicar el modelo matemático de minimización y hacer la corrida en el Solver de Ms. Excel, se obtiene que la proporción que optimiza el costo de paneles en base a papel bond reciclado es la proporción 1:3:3 con un costo de 0.42 soles/kg de panel, este resultado al ser confrontado con los costos obtenidos mediante cálculo directo se observa que de igual manera el menor costo lo posee el panel de proporción 1:3:3 con lo que se da por aceptada la hipótesis que dice que la proporción que optimiza el costo de paneles en base a papel bond reciclado es la proporción 1:3:3

Si bien en este objetivo la hipótesis planteada no necesita prueba estadística para poder comprobarla, se realizó un análisis estadístico mediante Análisis de Varianza (ANOVA) unidireccional al 0.05% de significancia, esto con el fin de probar que existen diferencias entre las medias de los tratamientos (las diferentes proporciones). Los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes:

Tabla N°07: ANOVA para el costo de paneles en base a papel bond reciclado

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	331,680	4	82,920	316919632	,000
				467914600	
				000000000	
				00000,000	
Dentro de grupos	,000	70	,000		
Total	331,680	74			

Fuente: IBM SPSS, 2020

En la Tabla N°07 se aprecia los resultados ANOVA realizado entre las medias de las 5 proporciones evaluadas, en esta tabla se observa un valor de estadístico F del rango de 10^{31} esto implica que existe diferencia entre todas las proporciones evaluadas, lo mencionado también se puede verificar al observar que el valor p (significancia) obtenido es de 0.000%, el cual es menor que el valor planteado inicialmente ($\alpha = 0.05\%$)

4.2.4. Comparación de los costos de un panel elaborado con papel bond reciclado versus los de los paneles comerciales existentes en el mercado

De igual manera que en el caso anterior se procedió a realizar el ANOVA unidireccional para determinar que existe diferencia entre los distintos grupos evaluados y la prueba de Tukey al 0.05% de significancia para determinar si la diferencia existente es significativa o no. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla N°08: ANOVA para el costo de paneles en base a papel bond reciclado y una placa comercial

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	421,460	5	84,292	386596087 698776570 000000000 00000,000	,000
Dentro de grupos	,000	84	,000		
Total	421,460	89			

Fuente: IBM SPSS, 2020

Tabla N°09: Prueba de Tukey (medias) para el costo de paneles en base a papel bond reciclado y placa comercial

PROPORCIÓN	N	Subconjunto para alfa = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
1:3:3	15	15,91 00					
1:1:1	15		17,35 00				
1:1:2	15			18,44 00			
1:2:2	15				21,13 00		
1:2:3	15					21,27 00	
Gyplac	15						21,50 00
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 15,000.

Fuente: IBM SPSS, 2020

En la Tabla N°08 se presentan los resultados del ANOVA realizado entre las 5 proporciones evaluadas y el costo de una placa comercial, en esta tabla se puede observar que la significancia (Sig.) obtenida es de 0.000% (valor p), siendo menor que la planteada inicialmente de 0,05% (α), con lo que se comprueba que los grupos son diferentes entre si

En el caso de la Tabla N°09 se observa la Prueba de Tukey para medias, esta prueba se realizó con las medias de los resultados de los costos de las diferentes proporciones y se adicionó el valor del costo de la placa comercial, formando 6 subconjuntos, es decir, todos los resultados tienen diferencia significativa entre ellos, siendo el menor valor el de la proporción 1:3:3 y el mayor valor el de la placa comercial

Con lo antes expuesto se rechaza la hipótesis nula, siendo que si existe diferencia significativa entre los costos de paneles en base a papel bond reciclado y el costo de paneles comerciales.

4.2.5. Determinación de la proporción óptima para elaborar paneles en base a papel bond reciclado para zonas de bajos recursos económicos

Tabla N°10: Prueba de Tukey (medias) para la resistencia a la flexión en kgf/cm² de paneles en base a papel bond reciclado

PROPORCIÓN	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
1:2:2	15	6,5127	
1:3:3	15	6,9520	
1:1:2	15		8,3740
1:1:1	15		8,4820
1:2:3	15		8,6007
Sig.		,386	,886

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 15.000.

Fuente: IBM SPSS, 2020

Tabla N°11: Prueba de Tukey (medias) para la resistencia a la flexión en kgf/cm² de paneles en base a papel bond reciclado

PROPORCIÓN	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5

1:3:3	15	15,91 00				
1:1:1	15		17,35 00			
1:1:2	15			18,44 00		
1:2:2	15				21,13 00	
1:2:3	15					21,27 00
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 15,000.

Fuente: IBM SPSS, 2020

En la Tabla N°10 se muestra la prueba de Tukey para la resistencia a la flexión de las diferentes proporciones evaluadas, se puede observar que existen dos subconjuntos, de los cuales, el subconjunto con las proporciones que muestran la mayor resistencia a la flexión son las proporciones 1:1:2, 1:1:1 y 1:2:3, y el estar dentro del mismo subconjunto significa que no existe diferencia significativa entre las resistencias de estas proporciones

Por otro lado, en la Tabla N°11 se aprecia la prueba de Tukey para el costo de las proporciones para elaborar paneles evaluadas, acá se muestra que las 5 proporciones son totalmente diferentes entre si y existe diferencia significativa entre todas ellas.

Los criterios a tomar en cuenta para escoger la proporción óptima son: presentar la resistencia a la flexión elevada y tener un bajo costo, es así que la proporción que cumple con ambas restricciones es la proporción 1:1:1 con lo que se acepta la hipótesis general planteada en la investigación.

Cabe mencionar que si bien la optimización de la resistencia a la flexión dio como resultado que la proporción óptima sería la 1:1:3, no se tomó en cuenta ya que experimentalmente no se ha trabajado con la mencionada proporción.

4.3. Discusión de resultados

- El resultado obtenido mediante el Solver del Ms. Excel genera una resistencia a la flexión de 165.58 kg/cm² y que pertenece a la proporción 1:1:3, estos valores

corroboran lo encontrado por Luck (2015) quien expresa que la proporción 1:1:3 es la que posee mejores propiedades de flexión dentro de las proporciones evaluadas, sin embargo hay que tener en cuenta que a estas proporciones se les agregó cierto porcentaje de yeso, el cual modifica las propiedades de la mezcla

Por otro lado, el resultado obtenido es un 94.8% más elevado que la mayor resistencia a la flexión obtenida experimentalmente (8.6 kg/cm²), la cual pertenece a la proporción 1:2:3, esto se debe al uso de una prensa hidráulica modificada con un manómetro analógico, el cual no permite tener una medida exacta de la resistencia expresada; por otro lado, la proporción 1:1:3 no se encuentra dentro de las proporciones evaluadas en el laboratorio, por lo que se deberá implementar una nueva investigación teniendo como base la mencionada proporción

- Al observar los resultados obtenidos y compararlos con la resistencia a la flexión de un panel comercial, se tiene que la mayoría de las proporciones poseen mayor resistencia a la flexión que la de un panel comercial, siendo incluso las proporciones 1:1:2, 1:1:1 y 1:2:3 llegan a ser hasta un 18.75% mayor que la resistencia de un panel comercial estándar, estos resultados concuerdan con los de Alva et al. (2017) quienes encontraron que todas las proporciones evaluadas poseen una mayor resistencia a la flexión en comparación con la de los paneles que se encuentran en el mercado.
- La proporción que optimiza el costo de los paneles en base a papel bond reciclado resultó ser la proporción 1:3:3 con 0.42 soles/kg por panel, esto, al multiplicarlo por el peso del panel hace un total de S/ 18.92, al comparar este resultado con lo obtenido por cálculo directo se tiene que corrobora el resultado de la optimización ya que se tiene que, efectivamente, la proporción que posee un menor costo es la proporción 1:3:3 con S/ 15.91, este costo es un 15.9% menor que el obtenido por medio de la optimización y esto se debe al modelo de cálculo directo utilizada para obtener el valor.
- La comparación de costos de los paneles elaborados con respecto al de los paneles comerciales resulto favorable, siendo que el costo de los paneles comerciales (S/ 21.50) es mayor que el de todos los paneles elaborados, si se compara con respecto al panel de mayor costo (proporción 1:2:3, con S/ 21.27 de precio), el panel comercial es

un 1.06% mayor, ahora al realizar la comparación con el panel más barato (proporción 1:3:3, con S/ 15.91 de precio) el panel comercial es un 26% más barato, con lo que se demostraría que la elaboración de los paneles en base a papel bond reciclado para zonas de bajos recursos económicos es viable estando de acuerdo con Clinton (2006) quien expresa que el construir con materiales estructurales elaborados en base a papel reciclado posee menor costo que el construir con materiales convencionales.

- Si bien la proporción 1:2:3 posee la resistencia a la flexión más elevada de las proporciones evaluadas (8.60 kg/cm^2), también posee el mayor costo en cuanto a los materiales utilizados (S/ 21.27), esto no es favorable ya que si bien el material posee buenas propiedades mecánicas, el costo haría que no sea muy asequible al público objetivo, por esa razón es que se escogió un panel que combine ambas restricciones, por un lado que tenga elevada resistencia y por otro lado que posea un bajo costo, es por esta razón que la proporción escogida es la 1:1:1 la cual posee una resistencia de 8.78 kg/cm^2 (sólo un 1.4% menor que la proporción 1:2:3) y a la vez posee un costo de S/ 15.91 (un 25.2% más barato que la proporción 1:2:3) haciendo entonces que esta sea la proporción óptima para elaborar paneles en base a papel bond reciclado para zonas de bajos recursos económicos. Estos resultados concuerdan con Clinton (2006) quien expresa que los materiales elaborados en base a papel reciclado poseen buenas propiedades y un menor costo al ser comparados con materiales de construcción comerciales.

CAPITULO V CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

5.1. Conclusiones

1. Se calculó la proporción que optimiza la resistencia a la flexión de los paneles en base a papel bond reciclado, siendo esta la proporción 1:1:3, con una resistencia a la flexión de 165.58 kg/cm^2 , sin embargo, la mencionada proporción no ha sido evaluada en el laboratorio. Por otro lado, de las proporciones evaluadas experimentalmente, se tiene que la mayor resistencia a la flexión la alcanza la proporción 1:2:3, seguida de la proporción 1:1:1
2. Se comparó la resistencia a la flexión de paneles en base a papel bond reciclado con la de paneles comerciales, siendo que esta última posee valores más bajos que los obtenidos experimentalmente, superando únicamente a la resistencia de la proporción 1:2:2 y teniendo 3 proporciones (1:1:2, 1:1:1 y 1:2:3) que superan significativamente a la resistencia de los paneles comerciales
3. Se calculó la proporción que optimiza el costo de los paneles en base a papel bond reciclado, siendo la proporción 1:3:3 la que logra el valor mínimo de costo por kg de panel (0.42 soles/kg), teniendo un valor de panel de S/ 18.92; de igual manera, al evaluar el costo de manera directa, se obtiene que el panel 1:3:3 es el que obtiene el menor costo por panel (S/ 15.91)
4. Se comparó el costo de paneles en base a papel bond reciclado con respecto a la de paneles comerciales teniendo como resultado que el costo de los paneles comerciales supera a todos los costos obtenidos de los paneles elaborados en base a papel bond reciclado, esto genera un impacto positivo ya que hace que la elaboración de paneles sea viable económicamente.
5. Se determinó la proporción óptima para elaborar paneles en base a papel bond reciclado para zonas de bajos recursos económicos, siendo esta la proporción 1:1:1, la mencionada proporción ha sido escogida debido a que presenta una alta resistencia a la flexión y un bajo costo en comparación con las demás proporciones evaluadas.

5.2. Sugerencias

- Implementar un manómetro digital en la prensa hidráulica, para que la medición de los resultados de resistencia a la flexión se realice con mayor exactitud
- Continuar la investigación, integrando la proporción 1:1:3, ya que es la que matemáticamente genera la mayor resistencia a la flexión posible
- Incorporar fibras dentro de la mezcla, sean naturales o sintéticas para mejorar la resistencia a la flexión de los paneles
- Mejorar el modelo matemático elaborando una función objetivo en base a una matriz y dos refuerzos, de esa manera el cálculo puede poseer mayor exactitud

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

TESIS

Barriga, E. y Bernardo, J. (2016). *Aplicación y estudio de las propiedades de las celulosas recicladas obtenidas del papel periódico como una adición para el*

- concreto* (Tesis de pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.
- Campodónico, J. (2002). *Análisis del reciclaje de papel y cartón en la ciudad de Chiclayo* (Tesis de pregrado). Universidad de Piura, Piura, Perú.
- Clinton, L. (2006). *Analysis of low-cost building material for the mixalco process* (Tesis de maestría). Texas A&M University, Texas, EEUU.
- Elizalde, L. (2005). *Caracterización de mezclas de mortero a base de celulosa / papel reciclado para fabricación de elementos constructivos* (Tesis de maestría). Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey, México.
- Girón, M. (2014). *Uso y aplicación del método constructivo electropanel* (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Luck, G. (2015). *Influencia del porcentaje de yeso sobre la resistencia térmica y la resistencia a la flexión en paneles de papercrete* (Tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Perú.
- Miranda, M. y Mendoza, E. (2014). *Investigación tecnológica para el mejoramiento de la calidad utilizando el compuesto cl – arbocel en el proceso de fabricación del papel sanitario* (Tesis de pregrado). Universidad de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.
- Molina, K. (2006). *Evaluación de morteros para albañilería y revestimientos elaborados a base de cementos mezclados con escorias de horno* (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Romero, M. (2014). *Influencia del porcentaje en peso de fibra de cabuya sobre la resistencia a la flexión en paneles de papercrete* (Tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Perú.

ARTICULOS CIENTIFICOS

- Alva, L., Araujo, D., Guerra, M., Narciso, D., y Narciso, L. (2018). Resistencia a la flexión de paneles elaborados con papel reciclado, cemento y yeso. *Searching Ciencias*. Universidad Católica de Trujillo, Trujillo, Perú.

- Anandaraju, K., Ravindra, B., y Sarathy, R. (2015). Experimental Investigation of Papercrete Brick. *International Journal of Machine and Construction Engineering*, 2(2), 2394 - 3025.
- Balcaza, T., Contreras, A., y Font, V. (2017). Análisis de Libros de Texto sobre la Optimización en el Bachillerato. *Bolema*, 31(59), 1061-1062.
- Coronado, E., Hernández, D., Velásquez, A., y Puchigay, P. (s.f.). Concentracion adecuada de la arena para la elaboración de bloques de cemento. *Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia*. Colombia.
- López, G., Castro, N., y Guerra, O. (2017). Optimización del plan de producción. *Revista Científica de la Universidad de Cienfuegos*, 8(3), 179-180.
- Manoj, M. y Uma, G. (2017). Papercrete. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research*, 6 (8), 1289 – 1297; Recuperado de <http://ijsetr.org/wp-content/uploads/2017/08/IJSETR-VOL-6-ISSUE-8-1289-1297.pdf>
- Santamaria, J., Fuller, B. y Fafitis, A. (2007). Structural properties of a new material made of waste paper. *Computational Methods and Experimental Measurements XIII*, 46. doi: 10.2495/CMEM070561
- Selvarasan, P. y Bharathidasan, S. (2017). Experimental investigation of papercrete with glass fibre as a partial replacement for fine aggregate. *International Research Journal in Advanced Engineering and Technology*, 3 (3), 2199-2215; Recuperado de <http://www.irjaet.com/Volume3-Issue-3/paper%201.pdf>
- Shermale, Y. y Balamakund, M. (2017). Properties of Papercrete Concrete: Building Material. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 14(2), 27-32.
- Siva, G. (2015). Study and behavior of some properties of papercrete brick with modular brick. *International Journal of Engineering Research-Online*, 3(3), 267-268.

LIBROS

- Aceros Arequipa S.A. (2010). *Manual del maestro constructor*. Lima, Perú: Motiva.
- Blanco, E. y Cervera, M. (2015). *Resistencia de Materiales*. Barcelona, España: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería.

Chichón, S. y Sanjuán, M. (s.f.). *Introducción a la fabricación y normalización del cemento Portland*. Alicante, España: Universidad de Alicante.

Malaspina, U. (s.f.). *Optimización matemática*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Monteiro, P. y Kumar, P. (2006). *Concreto: estructura, propiedades y materiales*. D.F., México: IMCYC.

DIRECCIONES ELECTRONICAS

Anónimo. (2018). Cemento. Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Cemento>

Ardisa (s.f.). Materiales para la construcción [mensaje en un blog]. Recuperado de <https://ardisa.com/>

Garret, M., Thompson, C., y Williams, K. (2010). Make It Complete With Papercrete. *HelpHaiti*. Recuperado de https://www.appropedia.org/World_Shelters_Make_it_Complete_with_Papercrete

ANEXOS