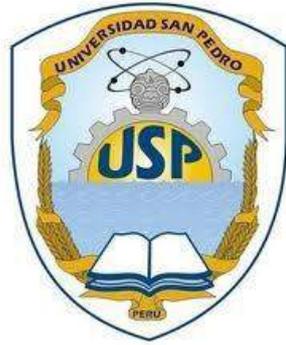


UNIVERSIDAD SAN PEDRO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Resistencia a la compresión de un mortero sustituyendo al cemento por 5% de polvo de *Argopecten Purpuratos* (concha de abanico) Y 15% de ceniza de briqueta

TESIS PARA OBTENER TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Autor:

Luna Mendieta, Mark Steven

Asesor:

Castañeda Gamboa, Rogelio Fermín

CHIMBOTE - PERÚ

2018

Palabras claves:

Tema	Resistencia del mortero
Especialidad	Tecnología del concreto

Key words:

Topic	Mortar resistance
specialization	Concrete technology

Línea de investigación:

Programa	Ingeniería Civil
Línea de Investigación	Construcción y Gestión de la construcción
OCDE	Ingeniería y tecnología Ingeniería Civil Ingeniería de la Construcción
Campo de Investigación	Materiales de la Construcción Tecnología de la Construcción y Procesos Constructivos

Titulo:

Resistencia a la compresión de un mortero sustituyendo al cemento por 5% de polvo de *Argopecten Purpuratos* (concha de abanico) y 15% ceniza de briqueta

Title:

Resistance to the compression of a mortar, replacing cement with 5% powder of *Argopecten Purpuratos* (fan shell) and 15% briquette ash.

Resumen

Esta investigación tuvo como finalidad fundamental elaborar un mortero de alta resistencia a la compresión sustituyendo al cemento por 15% ceniza de Briqueta y 5% de polvo de *Argopecten Purpuratos* (concha de abanico), evaluando que cumpla con la normativa técnica peruana.

La metodología que correspondió a esta investigación es del tipo experimental, porque evaluó mediante ensayos de laboratorio los resultados de dos grupos de estudio denominados grupo control y grupo experimental. Se utilizó ceniza de Briqueta y el polvo de *Argopecten Purpuratos* (concha de abanico) en relación al proceso de un diseño de mortero experimental con el diseño de mortero convencional.

Los ensayos que se realizaron en el laboratorio de mecánica de suelos fueron necesarios para determinar las características físicas de la arena, de igual manera se realizó el análisis térmico diferencial que determinó el grado y tiempo de calcinación de la concha de abanico y la briqueta a su vez se determinó mediante el ensayo de Fluorescencia de Rayos X la composición química que presentan las cenizas de carbón mineral, y el polvo de *Argopecten Purpuratos* (concha de abanico), a través de esto. Se pudo establecer que los principales componentes que presentan son, el óxido de silicio 75.1% y óxido de calcio 99.6% respectivamente de gran importancia en la constitución del cemento, lo cual permitió un incremento de la resistencia a la compresión en un 3.63% con respecto a un mortero elaborado de forma convencional.

Abstract

This research main purpose was to develop a mortar high compressive strength, cement replacing 15% ash and 5% briquette powder *Argopecten Purpuratos* (scallops) evaluating that meets Peruvian technical standards.

The methodology that corresponds to this research is the experimental type, because the results of the study groups called control group and experimental group are evaluated through laboratory tests. It is Briquette ash and the powder of *Argopecten Purpuratos* (fan shell) in relation to the design process of experimental mortar with the design of conventional mortar.

The tests that were carried out in the soil mechanics laboratory were necessary to determine the physical characteristics of the sand, in the same way the differential thermal analysis was carried out that determined the degree and time of calcination of the fan shell and the briquette to its The chemical composition of the mineral coal ash, and the powder of *Argopecten Purpuratos* (fan shell) were determined by means of the X-Ray Fluorescence test. It was established that the main components they present are silicon oxide 75.1% and calcium oxide 99.6% respectively, of great importance in the constitution of cement, which allowed an increase in the resistance to compression in a 3.63% with respect to a mortar prepared in a conventional manner.

Índice

Palabras claves - Línea de investigación.....	i
Título.....	ii
Resumen.....	iii
Abstract.....	iv
Índice.....	v
Índice de tablas.....	vi
Índice de figuras.....	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. METODOLOGÍA.....	44
III. RESULTADOS.....	50
IV. ANALISIS Y DISCUSIÓN.....	56
V. CONCLUSIONES.....	61
VI. RECOMENDACIONES.....	62
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
VIII. ANEXO.....	66

Índice de tablas

Tabla 1	Uso granulométrico de la arena	8
Tabla 2	Componentes químicos del cemento según su procedencia	11
Tabla 3	Porcentajes típicos de intervención de óxidos en el cemento	11
Tabla 4	Composición Química y Finura de los Cementos de los EE.UU.	13
Tabla 5	Especificación granulométrica para Mortero.....	16
Tabla 6	Requisitos para agua de mezcla	17
Tabla 7	Ingredientes para fabricación de briquetas combustibles	19
Tabla 8	Composición química de los carbones en el Perú.....	21
Tabla 9	Análisis de diversos carbones del país.....	22
Tabla 10	Clasificación nacional de los carbones	23
Tabla 11	Recopilación de aglomerantes para carbón más empleados	25
Tabla 12	Características para laboratorio	35
Tabla 13	Composición de mezcla para laboratorio.....	35
Tabla 14	Composición química de la ceniza de briqueta	38
Tabla 15	Descripción taxonómica de la concha de abanico	39
Tabla 16	Composición química según ensayo de fluorescencia.....	40
Tabla 17	Granulometría de la arena	50
Tabla 18	Propuesta necesaria para que cumpla con la gradación indicada	50
Tabla 19	Composición elemental de la muestra de ceniza de briquetas	51
Tabla 20	Composición elemental de la muestra de polvo de <i>Argopecten Purpuratos</i>	52
Tabla 21	Proporción de materiales utilizado	52
Tabla 22	Resultados del ensayo de resistencia a la compresión	55
Tabla 23	Resistencias a la compresión de cubos de mortero experimental.....	60
Tabla 24	Cálculo de la prueba ANOVA para verificar las diferencias entre las medias de las resistencias a la compresión de los cubos de mortero.	60

Índice de figuras

Figura 1	Efecto de la carga externa sobre las partículas de carbonizado	29
Figura 2	Reparto del ligante y posibles líneas de ruptura de una briqueta	30
Figura 3	Fragmentos carbonizados en dos situaciones	31
Figura 4	Mecanismo de fabricación de briquetas de carbón	37
Figura 5	Dimensiones de briquetas de carbón y biomasa de tipo prensadas	37
Figura 6	Concha de abanico <i>Argopecten Purpuratos</i>	39
Figura 7	Esquema de diseño de investigación	48
Figura 8	Curva de pérdida de masa de la Concha de abanico	53
Figura 9	Curva calorimétrica de la Concha de abanico	53
Figura 10	Curva de pérdida de masa de la ceniza de Briqueta	54
Figura 11	Curva calorimétrica de la ceniza de Briqueta.....	54
Figura 12	Resistencia promedio a la compresión	58
Figura 13	Porcentaje resistencia a la compresión.....	59
Figura 14	Obtención de muestras de ceniza de briqueta	66
Figura 15	Obtención de muestras de concha de Abanico.....	66
Figura 16	Activación mecánica de las muestras de Briqueta y concha de Abanico	67
Figura 17	Propuesta de arena manufacturada	67
Figura 18	Preparación de la mezcla de mortero	68
Figura 19	Ensayo de fluidez patrón	69
Figura 20	Ensayo de fluidez experimental	69
Figura 21	Unidades de mortero patrón	70
Figura 22	Unidades de mortero experimental	70

INTRODUCCIÓN

Por medio de revisiones tanto de fuentes impresas como digitales de los antecedentes detectados relacionados con la presente investigación mostrada desde la cobertura internacional a la local, se tienen:

Blesa, J. (2002). En su investigación pudo determinar a través de sus resultados obtenidos en el estudio sobre el seguimiento físico-químico del proceso de briquetado que: las briquetas presentan un buen comportamiento desde un punto de vista medioambiental y en lo que a resistencia mecánica se refiere, a partir de un carbón de bajo rango y biomasas, aserrín, paja, huesos de oliva y cáscara de almendra, utilizando humatos y melazas como ligantes y distintos métodos de curado, el curado de las briquetas con la temperatura se siguió en línea mediante espectrometría de masas

A su vez se demostró que el carácter hidrógeno de la biomasa actúa en las co-pirólisis favoreciendo la salida del sulfuro de hidrógeno y disminuyendo el contenido de azufre del sólido. La microscopía óptica es una técnica eficaz para conocer la uniformidad de las briquetas preparadas con humatos y melazas, con y sin calcio, y además para conocer la distribución del calcio. En el caso de las briquetas de humatos se observa que este ligante no siempre embebe las partículas de hidróxido de calcio; cuando se utilizan melazas las briquetas son más uniformes y, además, el ligante se distribuye alrededor de las partículas de caliza lo que hace que estas partículas se unan sólidamente.

Asimismo a nivel nacional **Rodríguez, W. (2010)** fundamenta en hacer útiles el recurso carbón mineral, materiales forestales y subproductos orgánicos de cierta abundancia en el territorio nacional para transformaciones dirigidas a la fabricación de un producto aglomerado combustible de particulares características, en variadas formas y especificaciones físicas y químicas útiles para múltiples industrias, operaciones y o uso domiciliario. La investigación determina que: La melaza es el adhesivo que mejora la distribución uniforme de aditivos en la briqueta mejorando sus propiedades físicas, La formación de óxidos de azufre se elimina parcialmente por adición de compuestos de calcio y magnesio, La duración media de las briquetas

minerales es de 4 Horas por kilogramo y la combustión es desde las capas externas hacia el interior sin producción de humo, mínima llama y cenizas con contenido de sales y óxidos.

Del mismo modo **Blas, W., Avendaño, S. y Prieto, M. (2002)**. En su investigación plantea posibles aplicaciones a los residuos de la concha de abanico en base a su composición química. Sobre los compuestos que contienen los residuos calcáreos de las conchas de abanico este estudio señala que la eliminación de arenilla y tierra por procesos de lavado directo en agua corriente fue del orden del 2%, luego de secar y triturar las valvas fueron sometidas a procesos de calcinación a 600°C por cuatro horas obteniéndose 98% de carbonato de calcio (CaCO_2); para luego ser sometidas a una segunda calcinación de cuatro horas adicionales a 800°C, obteniéndose 62% de óxido de calcio (CaO) a partir del carbonato de calcio, más otras sales cálcicas como CaSiO y $\text{Ca}(\text{AlO}_2)_2$. Entre las posibles aplicaciones de estos productos se plantea los productos cerámicos y la industria del cemento.

A nivel local **Benítez, C. et al. (2011)**. expresa en su informe de investigación los resultados de la utilización del polvo proveniente del reciclaje y calcinación a 800° C de los residuos calcáreos de *Argopecten Purpuratus* (conchas de abanico). Utilizado para sustituir el cemento comercial Portland tipo I en un porcentaje del 5% en el diseño de mezcla de concreto. Las mezclas de concreto obtenidas se sometieron a la medición de su resistencia en compresión para los periodos de 7, 14 y 28 días de fraguado. Que a su vez se compararon con una resistencia de diseño $f' = 210 \text{ Kg/cm}^2$ de una mezcla patrón. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: a los 7 días la resistencia de la mezcla sustituida superó a la resistencia de la mezcla estándar alcanzando los valores de 167,95 kg/cm^2 y 159,6 kg/cm^2 respectivamente. A los 14 días la resistencia de la mezcla estándar supera a la resistencia de la mezcla sustituida alcanzando los valores de 225,36 kg/cm^2 para la mezcla estándar y 193,19 kg/cm^2 para la sustituida. A los 28 días la resistencia de la mezcla estándar y sustituida supera la resistencia del diseño 210 kg/cm^2 y alcanza los valores de 273,37 kg/cm^2 para la estándar y de 225,83 kg/cm^2 para la sustituida. Por lo tanto, determino que es posible utilizar los materiales de los desechos calcáreos de conchas de abanico en beneficio del sector construcción

a través de la reducción de costos y disminución de la contaminación del medio ambiente.

De igual manera **Julián et. al. (2015)** Determino que al sustituir el cemento en porcentajes de 5%,10% y 15% por separado, por residuo de *Argopecten Purpuratus* Concha de abanico la cual fue antes activada térmicamente a 900°C por 4 horas, en un diseño de mezcla de concreto incrementa su resistencia a la compresión, dando como resultado más prometedor la sustitución al 5%, aumentando su resistencia en función sus edades de 230 kg/cm² a 290 kg/cm².

Con lo anteriormente descrito se puede afirmar que la importancia de esta investigación se basa en dos aspectos importantes el primero en solucionar problemas ambientales que generan los residuos de la concha de abanico y briqueta este último como uso de fuente de energía; La posibilidad de usarlos en otras aplicaciones podrían reducir el impacto ambiental que generan y a su vez disminuir la explotación de canteras naturales de agregados utilizadas para la constitución del cemento. El segundo aspecto está relacionado con la dosificación propuesta de estos dos materiales, a partir de ello se busca diseñar un mortero de concreto de alta resistencia a la compresión con una sustitución parcial del cemento utilizando el 5% de polvo de concha de abanico *Argopecten Purpuratos* y 15% de ceniza de briqueta, con el fin de satisfacer principalmente a la población ya que gracias a ello les daremos la posibilidad de construir sus viviendas con materiales económicos y no contaminantes mejorando así la calidad de vida de los habitantes, especialmente de Chimbote y alrededores.

Con el fin de enfrentar el problema de la contaminación ambiental que generan los residuos sólidos, en los últimos años se han intensificado las investigaciones para la reutilización de estos elementos, algunas de estas investigaciones están relacionadas con el mejoramiento de los materiales utilizados en obras de ingeniería, con el objetivo de acrecentar sus propiedades mecánicas y economizar su costo de fabricación y los que su utilización implique. Una de las últimas tecnologías desarrolladas con muchas aplicaciones en este campo es la reutilización de residuos calcáreos que sustituyan al cemento, en mezclas de mortero.

En Perú La concha de abanico la última década se ha convertido en uno de los moluscos de exportación más importante con fuertes fluctuaciones en los volúmenes. Provocando un revés en lo que a problemas ambientales severos se refiere, en la zona de Sechura, la producción local representa el 80% de la producción nacional, con cerca de 15 plantas de procesamiento. Acumulando alrededor de 25 000 toneladas métricas de residuos de concha de abanico por año. Mendo, J., et. al (2008).

Asimismo a nivel local el cultivo de concha de abanico viene generando una serie de impactos ambientales negativos en el ecosistema de la bahía de Samanco y la zona costera hasta Casma, esta se ve potenciada por prácticas insostenibles entre las cuales se incluyen la disposición de los desechos en lugares no apropiados, las cuales muchas veces son arrojados en las mismas zonas de cultivo o alrededor de las orillas. Esto acarrea el incremento de la materia orgánica y por ende el sedimento lo que eventualmente podría impactar negativamente el cultivo.

De igual interés social pero de proporciones menos significativas los residuos generados por la combustión de briquetas utilizadas como fuente de energía son evaluados y reutilizados para mejorar las propiedades mecánicas de productos prefabricados a base de concreto esto debido a su alto contenido de silicio en su composición química

Sabiendo que en los alrededores de Chimbote hay una gran cantidad de desechos de concha de abanico el cual se puede obtener fácilmente en el distrito de Samanco, y siendo el costo de adquisición de la concha de abanico significativamente más bajo que los agregados convencionales se podría ofrecer una posibilidad de concretos para aplicaciones de interés social, con costos más bajos que los convencionales, por otra parte la elevada cantidad de óxido de calcio de la concha de abanico y el alto contenido de sílice en la ceniza de briqueta podría favorecer para que se obtenga un material cementante que pueda sustituir al cemento en mezclas de mortero.

Cabe recalcar que este aporte llegaría a ser muy importante a la comunidad científica encontrando un material cementante, con nuevas y mejores características compatibles con el sostenimiento medio ambiental. Puesto que el mortero a nivel internacional es el material más utilizado en la construcción, y a menos que haya una

revolución en los materiales de construcción seguirá siéndolo, gran parte de la infraestructura de los países está elaborada con él, solo en el Perú según el Instituto Nacional de estadísticas, la albañilería se usa como material predominante de muros en un 37% de las viviendas, por lo que su conocimiento y tecnología son básicos para el ingeniero civil encargado de alguna etapa del proceso constructivo.

Por tanto se planteó el siguiente problema:

¿En qué medida la sustitución de cemento por 5% de polvo de *Argopecten Purpuratos* (concha de abanico) y 15% de ceniza de briqueta en la elaboración de un mortero mejorará su resistencia a compresión?

MORTERO

El mortero estará constituido por una mezcla de aglomerantes y agregado fino a los cuales se añadirá la máxima cantidad de agua que proporcione una mezcla trabajable, adhesiva y sin segregación del agregado. Para la elaboración del mortero destinado a obras e albañilería, se tendrá en cuenta lo indicado en las normas NTP 399.607 Y 399.610.

IMCYC (enero 2011), nos habla del Mortero es un material finamente pulverizado que puede contener uno o más de los materiales siguientes: Clinker Portland, piedra caliza, arcilla, puzolana, escoria granulada de alto horno, ceniza volante y yeso. A criterio del productor puede incorporarse, además, como auxiliar de la molienda o para impartir determinadas propiedades al mortero, otros materiales en proporción tal que no sean nocivos para el comportamiento posterior del producto. (pág. 69)

El Cemento para albañilería (mortero), al mezclarse con arena y agua, produce morteros con características especiales que son utilizados para el pegado de tabiques, enjarres, repellados, aplanados, trabajos decorativos, etc.

Características del mortero

Para su mejor especificación se divide en dos categorías; el Estado Fresco y el Estado Endurecido, recordando que las propiedades del mortero fresco condicionan el comportamiento del mortero endurecido; mientras que el estado endurecido determina su durabilidad

a. Morteros en estado fresco. Al adicionar agua al cemento, se origina una pasta de cemento, la cual pasa por una etapa inicial, en la que se desarrolla el proceso de hidratación del cemento, durante el cual presenta una consistencia plástica. Luego se inicia su endurecimiento, en el que adquiere progresivamente las características de sólido. A continuación, se detalla algunos factores que evalúan la calidad del concreto fresco.

- Obtención de la mezcla (NTP 334.003:2008): Establece el método para obtener morteros de consistencia plástica por mezcla mecánica.
- Tiempo de Utilización: se refiere al tiempo durante el cual el mortero tiene suficiente trabajabilidad, sin la adición posterior de agua para contrarrestar el fraguado.
- Fluidez del Mortero (NTP 334.057:2011): es un parámetro de la relación agua/cemento, la cual es un indicador de la trabajabilidad, se determina por medio de la mesa de sacudidas.
- Tiempo de Fraguado (NTP 334.006:2003): es el tiempo necesario para el endurecimiento completo del mortero.
- Otros requisitos del estado fresco vienen a ser la especificación del tipo de cemento a usar (NTP 334.147:200), Contenido de Iones Cloruro solubles en agua (NTP339.076:2009), tasa de absorción de agua (NTP 399.631:2010), contenido de aire (NTP334.048:2003), y los Aditivos para Morteros (NTP 399.632:2010)

b. Mortero en estado endurecido. Los factores que evalúan la calidad del mortero en estado endurecido son las siguientes

- Resistencia Mecánica a la Compresión (NTP 334.051:2006): determina la resistencia a la compresión en morteros de cemento Portland, usando especímenes cúbicos de 50 mm de lado.
- Adherencia (NTP 331.052): depende del tipo de mortero, soporte, preparación y mano de obra.
- Estabilidad dimensional (NTP 399.630:2010): durante el endurecimiento se produce una disminución del volumen llamada Retracción.

- Otros factores a tomar en cuenta es su densidad en el estado endurecido, permeabilidad al vapor de agua, y el contenido de sulfatos del agua usada para su elaboración y curado (NTP 339.229:2009)

Especificaciones.

- La resistencia de la compresión mínima es de 40kg/Cm².
- La consistencia del mortero se ajustará tratando de que alcance la mínima fluidez compatible con una fácil colocación.
- El tiempo de mezclado, una vez que el agua se agrega, no debe ser menor que 3 minutos (Rivera, 2013)

Propiedades de los morteros

a. Trabajabilidad. Esta característica se obtiene en el momento que el mortero se mantiene en estado plástico, puesto que condiciona sus características en dicha etapa, la que a su vez corresponde a la de su empleo en obra. Para que la mezcla pueda colocarse fácilmente en las formas y se obtenga un vaciado compacto y denso, es necesario que sea suficientemente plástico. Es una característica que contribuye a evitar la segregación y facilitar el manejo previo durante la colocación de la mezcla. (Rivera, 2013)

b. Plasticidad. Es la propiedad que define la trabajabilidad del mortero. Depende de la consistencia de la granulometría de la arena y de la cantidad de finos que contenga la misma. Se puede mejorar con el uso de aditivos plastificantes.

c. Retención de agua. Es la propiedad que tienen los morteros para mantener la trabajabilidad, evitando que pierda el agua de forma rápida, lo que además podría dar problemas en el fraguado del cemento.

d. Segregación. Es la separación de los componentes del mortero. Se evita añadiendo agua en exceso y utilizando arenas con tamaños no muy grandes.

e. Adherencia. Es la propiedad que mide la facilidad o resistencia que presenta el mortero al deslizamiento sobre la superficie del soporte en el que se aplica. Se mejora

mediante un mayor incremento de cemento y cal y mediante el uso de finos arcillosos en la arena.

f. Contenido de aire. Es siempre perjudicial y se encuentra como impureza gaseosa en cantidades dependientes principalmente del tamaño máximo de los agregados, y secundariamente de las características de este. Para fines de cálculo suele estimarse en un 3 % el volumen de aire naturalmente incorporado por los morteros.

g. Exudación. El proceso de exudación se produce porque los morteros están constituidos por materiales de distinto peso específico, razón por la cual los materiales más pesados tienden a decantar y los más livianos como el agua tienden a ascender.

h. Fraguado. Se define como fraguado el cambio de estado físico que sufre una pasta desde una condición blanda hasta una condición de rigidez.

i. Densidad. La densidad del mortero se define como el peso por unidad de volumen. Esta depende del peso específico y de la proporción en que participan cada uno de los diferentes materiales constituyentes del mortero. Los materiales aglomerantes del mortero pueden ser:

- Cemento Portland o cemento adicionado normalizados.
- El agregado fino será arena gruesa natural, libre de materia orgánica y sales, con las características indicadas en la Tabla 1.

Tabla 1 *Uso granulométrico de la arena*

Granulometría de la arena	
Malla ASTM	% Que pasa
N° 4 (4.75 mm)	100
N° 8 (2.36 mm)	95 a 100
N° 16 (1.18 mm)	70 a 100
N° 30 (0.60 mm)	40 a 75
N° 50 (0.30 mm)	10 a 35
N° 100 (0.15 mm)	2 a 15
N° 200 (0.075 mm)	Menos de 2

Fuente (Rivera, 2013)

Especificaciones.

- No deberá quedar retenido más del 50% de arena entre dos mallas consecutivas.
- El módulo de fineza estará comprendido entre 1,6 y 2,5.
- El porcentaje máximo de partículas quebradizas será: 1% en peso.
- No deberá emplearse arena de mar.
- El agua será potable y libre ácidos, álcalis y materia orgánica.

Clasificación de los morteros

Según la Norma ASTM C 270, los morteros se clasifican de acuerdo a sus propiedades o sus proporciones, considerando que toda especificación se realizara solo por una de ellas, nunca ambas.

a. Características del Mortero Tipo “M”:

- Es un mortero de alta resistencia a la compresión.
- Brinda mayor durabilidad en comparación de los otros tipos de morteros.
- Uso destinado a mampostería sometida a grandes fuerzas de compresión, acompañadas de congelamiento, grandes cargas laterales de tierra, vientos fuertes y temblores.
- Se recomienda su uso en estructuras en contacto con el suelo, cimentaciones, muros de contención, etc.

b. Características del Mortero Tipo “S”:

- Posee mayor adherencia que otros morteros.
- Uso en estructuras sometidas a cargas de compresión normales, pero que a la vez requieran alta adherencia.
- Debe usarse en casos donde el mortero es el único agente de adherencia con la pared, como el revestimiento de cerámicos.

c. Características del Mortero Tipo “N”:

- Es un mortero de uso general utilizado en estructuras sobre el nivel del suelo.
- Es bueno en enchapes, paredes internas y divisiones.
- Representa la mejor combinación entre resistencia, trabajabilidad y economía.

- Las mezclas de este tipo alcanzan una resistencia a la compresión cerca de 125 kg/cm². Debe tenerse en cuenta que la mano de obra y los elementos de albañilería afectan esta resistencia.

d. Características del Mortero Tipo “O”:

- Son morteros de baja resistencia y alto contenido de cal.
- Son usados en construcción de vivienda de uno o dos pisos. Es preferido por los albañiles por su alta trabajabilidad y bajo costo. (Sánchez, G., 2011)

Componentes del mortero

En un principio, se dijo que un mortero es la mezcla de un material aglomerante (cemento Portland y/o otros cementantes), un material de relleno (agregado fino o arena), agua y eventualmente cal y aditivos. La norma ASTM C-270 dentro de sus especificaciones, presenta las propiedades que estos materiales deben cumplir:

a. Cemento portland. El cemento se obtiene de la pulverización del Clinker, el cual es producido por la calcinación hasta la fusión incipiente de materiales calcáreos y arcillosos.

○ *Composición Química:* Las principales materias primas para la fabricación del cemento y las propiedades generales que intervienen son:

- ♦ **Silicato tricalcico.** El cual le confiere su resistencia inicial e influye directamente en el calor de hidratación.
- ♦ **Silicato dicalcico.** El cual define la resistencia a largo plazo y no tiene tanta incidencia en el calor de hidratación.
- ♦ **Aluminato tricalcico.** Es un catalizador en la reacción de los silicatos y ocasiona un fraguado violento. Para retrasar este fenómeno, es preciso añadirle y eso durante la fabricación del cemento.
- ♦ **Aluminio-ferrito tetracalcico.** Influye en la velocidad de hidratación y secundariamente en el calor de hidratación.
- ♦ **Componentes menores:** oxido de magnesio, potasio, sodio, manganeso y titanio. (Araujo, 2011)

La Tabla 2 muestra la procedencia de los componentes químicos principales para la elaboración del cemento portland y la Tabla 3 los porcentajes de dichos componentes

Tabla 2 Componentes químicos del cemento según su procedencia

%	Componente químico	Procedencia usual
95%<	Oxido de calcio (Ca O)	Rocas Calizas
	Oxido de Sílice (SiO ₂	Areniscas
	Oxido de Aluminio(Al ₂ O ₃)	Arcillas
	Oxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	Arcillas, Mineral de Hierro, pirita
5%<	Oxido de Magnesio, Sodio, potasio, titanio, azufre	Minerales Varios

Fuente (Rivera, 2013)

Tabla 3 Porcentajes típicos de intervención de óxidos en el cemento

Compuesto	Porcentaje	Abreviatura
(Ca O)	61% - 67%	C
(SiO ₂)	20% - 27%	S
(Al ₂ O ₃)	4% - 7%	A
(Fe ₂ O ₃)	2% - 4%	F
(SO ₃)	1% - 3%	
(Mg O)	1% - 5%	
(K ₂ O Y Na ₂ O)	0.25% - 1.5%	

Fuente (Rivera2013)

Tipos de Cementos.

- ♦ **Tipo I**, para uso general que no requiera propiedades especiales especificadas. o las condiciones de trabajo de la obra no involucran condiciones climáticas severas ni el contacto con sustancias perjudiciales como los sulfatos. En este tipo de cemento el silicato tricálcico (C3S) se encarga de generar una notable resistencia a edades cortas, como consecuencia, genera también la mayor cantidad de calor de hidratación. Por su parte el silicato dicálcico (C2S) se encarga de generar resistencia a edades tardías.

- ♦ **Tipo II**, se conoce como de moderado calor de hidratación y de moderada resistencia a los sulfatos, esto se explica por la disminución del silicato tricálcico y del aluminato tricálcico con respecto al cemento normal. El cemento tipo II se emplea en estructuras moderadamente masivas, el objetivo es el de evitar que el concreto se agriete debido a los cambios térmicos que sufre durante la hidratación.
- ♦ **Tipo III**, se conoce como de resistencia rápida, este tipo de cemento se usa cuando hay la necesidad de descimbrar rápido con el objeto de acelerar otros trabajos y poner en servicio la obra lo más pronto posible. La resistencia que desarrolla durante los primeros siete días es notable debido principalmente a la presencia de altos contenidos de silicato tricálcico y bajos contenidos del silicato dicálcico. Además de la composición química, los cementos adquieren la propiedad de ganar resistencia rápidamente cuando la finura a la que se muele el clinker es mayor que la del cemento normal.
- ♦ **Tipo IV**, de bajo calor de hidratación desarrolla su resistencia más lentamente que el cemento normal debido a los bajos contenidos de silicato tricálcico, por esta misma razón el calor que desarrolla durante la etapa de fraguado es mucho menor que el del cemento normal. El cemento tipo IV se emplea en la construcción de estructuras masivas como las presas de concreto, donde se requiere controlar el calor de hidratación a un mínimo con el objeto de evitar el agrietamiento.
- ♦ **Tipo V**, resistente a los sulfatos se emplea en todo tipo de construcciones que estarán expuestas al ataque severo de sulfatos en solución o que se construirán en ambientes industriales agresivos. Estos cementos se consideran resistentes a los sulfatos debido a su bajo contenido de aluminato tricálcico, se caracterizan por su ganancia moderada de resistencia a edades tempranas, pero al igual que el cemento de bajo calor desarrolla buena resistencia a edades tardías gracias a sus altos contenidos de silicato dicálcico. Existen otros tipos de cementos que son utilizados en estos tipos de medio.
- ♦ **Tipo IS**, El cemento Portland de escoria de alto horno se puede emplear en las construcciones de concreto en general. Para producir este tipo de cemento, la escoria del alto horno se muele junto con el clinker de cemento Portland, o puede

también molerse en forma separada y luego mezclarse con el cemento. El contenido de escoria varía entre el 25y el 70% en peso.

- ♦ **Tipo IP**, El cemento Pórtland IP puede ser empleado en construcciones en general y el tipo P se utiliza en construcciones donde no sean necesarias resistencias altas a edades tempranas. El tipo P se utiliza normalmente en estructuras masivas, como estribos, presas y pilas de cimentación. El contenido de puzolana de estos cementos se sitúa entre el 15 y el 40 % en peso.
- ♦ **Tipo S**, De escoria, se usa comúnmente en donde se requieren resistencias inferiores. Este cemento se fabrica mediante la Mezcla de escoria molida de alto horno y cemento Portland; Mezcla escoria molida y cal hidratada, Mezcla escoria molida, cemento Portland y cal hidratada
- ♦ **Tipo IPM**, El cemento Portland tipo I (PM), modificado con puzolana, se emplea en todo tipo de construcciones de concreto. El cemento se fabrica combinando cemento Portland o cemento Portland de escoria de alto horno con puzolana fina. Esto se puede lograr. Mezclando el cemento Portland con la puzolana; Mezclando el cemento Portland de escoria de alto horno con puzolana; Moliendo conjuntamente el clinker de cemento con la puzolana; Por medio de una combinación de molienda conjunta y de mezclado. El contenido de puzolana es menor del 15% en peso del cemento terminado.

La Tabla 4 muestra la composición química en porcentaje y finura de los cementos de los EE.UU.

Tabla 4 *Composición Química y Finura de los Cementos de los EE.UU.*

Tipo de cemento	Composición química en %						Finura blaine (m2/kg)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	369
I	20.5	5.4	2.6	63.9	2.1	3.0	377
II	21.2	4.6	3.5	63.8	2.1	2.7	548
III	20.6	4.9	2.8	63.4	2.2	3.5	340
IV	22.2	4.6	5.0	62.5	1.9	2.2	373
V	22.7	3.9	4.2	63.8	2.2	2.3	482

Fuente Adaptada de PCA (1996) y Gebhardt (1995).

El cemento empleado en la preparación del concreto deberá cumplir con algunos requisitos de las siguientes Normas para cemento Portland: Cemento Portland Tipo I, II y V que corresponden respectivamente a las NTP. 304.009, 334.038, 334.040. Cemento Portland Tipo IP e IPM que corresponden a la NTP. 304.044. (Vásquez, 2011)

b. Agregado fino. El agregado fino es el material proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasan el tamiz de 3/8" (9.51mm) y es retenido en el tamiz N°200 (74um). **Norma Técnica Peruana 400.011.**

○ *Propiedades Físicas.* El agregado fino a utilizarse en el concreto debe cumplir ciertos requisitos mínimos de calidad según las especificaciones técnicas de las normas peruanas NTP.

- ♦ **Peso unitario (N.T.P 400.017 / A.S.T.M C-29)** El peso unitario depende de ciertas condiciones intrínsecas de los agregados, tales como su forma, tamaño y granulometría, así como el contenido de humedad; también depende de factores externos como el grado de compactación impuesto, el tamaño máximo del agregado en relación con el volumen del recipiente, la forma de consolidación, etc.
- ♦ **Peso específico (N.T.P 400.022 / A.S.T.M C-128)** El peso específico, es la relación entre el peso del material y su volumen, su diferencia con el peso unitario está en que este no toma en cuenta el volumen que ocupan los vacíos del material. Es necesario tener este valor para realizar la dosificación de la mezcla y también para verificar que el agregado corresponda al material de peso normal.
- ♦ **Contenido de humedad (N.T.P. 400.011/ A.S.T.M. C-12)** Este valor indica el porcentaje de agua que posee el agregado y se obtiene al determinar el contenido de agua de una muestra húmeda secada al horno a 110°C, entre el peso de la materia; y a este coincide se multiplica por 100. Los agregados usualmente son considerados en un estado saturado y superficialmente seco, es decir con todos sus poros abiertos y llenos de agua y libre de humedad superficial, siendo una condición ideal para fines prácticos de diseño y dosificación ya que se supone que los agregados no añaden ni quitan agua a la mezcla.

- ♦ **Porcentaje de Absorción (N.T.P. 400.011/ A.S.T.M. C-125)** La absorción de un agregado se indica por el porcentaje total de agua interna que le es necesario tomar a un agregado para llegar a la condición de saturado con superficie seca; condición del equilibrio. Es una medida de la porosidad del agregado y su valor máximo permite saber cuánto de agua tomara el agregado en la mezcla del concreto. La absorción en el agregado fino no suele exceder del 5%.
- ♦ **Granulometría (N.T.P 400.012 / A.S.T.M C-33)** Esta propiedad caracteriza al agregado en base a la densidad de tamaños de sus partículas que lo conforman. Esta caracterización de tamaños se analiza mediante su separación en 7 fracciones, cribándola a través de las mallas normalizadas como “serie estándar” cuyas aberturas se duplican sucesivamente a partir de la más reducida que es igual a 0.150mm (N°100) y cuyo procedimiento de ensayo está dado por la norma indicada.
- ♦ **Módulo de finura (N.T.P 400.011 / A.S.T.M C-125)** Es un índice aproximado y representa el tamaño promedio de las partículas de la muestra de arena, se usa para controlar la uniformidad de los agregados. La norma establece que la arena debe tener un módulo de finura no menos a 2.35 ni mayor que 3.15.
- ♦ **Superficie específica (N.T.P 400.012/ A.S.T.M C-33)** Es la suma de las áreas superficiales de las partículas del agregado por unidad de peso, para su determinación se consideran dos hipótesis que son: que todas las partículas son esféricas y que el tamaño medio de las partículas que pasan por un tamiz y quedan retenidas en el otro es igual al promedio de las partículas.

Especificaciones

- El agregado fino será arena natural. Sus partículas serán limpias, de perfiles preferentemente angulares, duros, compactos y resistentes.
- El agregado fino deberá estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones partículas escamosas o blandas, requisitos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales u otras sustancias perjudiciales.
- No deberá quedar retenido más del 50% de arena entre dos mallas consecutivas.
- El módulo de fineza estará comprendido entre 1,6 y 2,5.

- El porcentaje máximo de partículas quebradizas será: 1% en peso.
- La arena no debe tener más del 50% de retenido entre dos tamices consecutivos, ni más del 25% en el tamiz N° 100.
- Cuando la junta tenga más de 10mm de espesor, es conveniente usar arenas más gruesas.
- Para juntas delgadas se usan arenas que pasen totalmente el tamiz N° 8. (Zuluaga, 2013)

La Tabla 5 indica los límites del uso granulométrico establecidos para la elaboración de mezclas de mortero.

Tabla 5 Especificación granulométrica para Mortero

N° Mallas	Arena manufacturada				
	Pesos retenido (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasa	Arena manufacturada (%)
# 4	0.00	0.00	0.00	100.00	100
# 8	33.00	4.80	4.80	95.20	95 - 100
# 16	171.88	25.00	29.80	70.20	70 - 100
# 30	171.88	25.00	54.80	45.20	40 - 75
# 50	141.63	20.60	75.40	24.60	20 - 40
# 100	27.50	4.00	79.40	20.60	10 - 25
# 200	110.00	16.00	95.40	4.60	0 - 10
Plato	31.63	4.60	100.00	-	-
Total	687.50	100.00	-	-	-

Fuente Tecnología de los morteros Ing. Rodrigo Salamanca Correa

c. Agua. El agua de mezclado cumple dos funciones, hidratar el cemento y proporcionar fluidez y lubricación al concreto. Es la causante de la formación de conductos capilares que interconectan poros; estos se llenan parcialmente de aire y producen concreto menos resistentes y menos durables, por lo que debe usarse el menor volumen de agua que sea posible para obtener la fluidez requerida. Ciertas impurezas en el agua pueden causar reacciones perjudiciales al concreto o alteraciones en sus propiedades como trabajabilidad, tiempos de fraguado, resistencias mecánicas, adherencia entre materiales del concreto, durabilidad, entre otros. Para la elaboración de concretos se debe usar agua potable, es decir, aquella que por sus características

químicas y físicas es útil para el consumo humano o que cumplan con los requisitos de calidad establecidos en la norma.

El agua im potable no debe utilizarse en el concreto a menos que se cumpla las siguientes condiciones:

- Tanto el agua de mezclado como el agua de curado deben estar libres de contaminantes que puedan perjudicar el fraguado o que reaccionen negativamente, en estado fresco o en estado endurecido.
- Debe estar libre de sustancias como aceites, ácidos, sustancias alcalinas y materias orgánicas. La tabla 6 detalla los requisitos que debe de cumplir el agua de mezclado

Tabla 6 *Requisitos para agua de mezcla*

Descripción	Limite permisible
Cloruros	300ppm.
Sulfatos	300ppm.
Sales de magnesio	150ppm.
Sales solubles totales	1500ppm.
PH	Mayor de 7
Sólidos en suspensión	1500 ppm.
Materia Orgánica	10 ppm.

Fuente NTP 339.088

Curado. Constituye el suministro adicional de agua para hidratar eficientemente el cemento. Este suministro depende de la humedad del ambiente, ya que la evaporación del agua libre de la pasta ocurre con rapidez cuando la humedad relativa es menor. Por otra parte, el agua y el cemento al mezclarse ocupan un espacio inicial que permanece constante y que tiende a ser llenado gradualmente por los productos de hidratación (pasta). (Citado textualmente en Gonzales H. 2017)

BRIQUETAS

La fabricación de briquetas se realiza actualmente en diversos países del mundo tal como Alemania, Estados Unidos, Corea, Argentina, Perú entre otros utilizando operaciones primarias o también se utilizan máquinas de producción continua en las que se necesita la materia prima molida y se elaboran las briquetas en forma directa por extrusión. Rodríguez, w., (2010).

Así en países desarrollados y en vías de desarrollo. El carbón utiliza adhesivos orgánicos adicionales para lograr la cohesión de las partículas y formar un sólido resistente, así como reactivos mejoradores de la combustión.

Ingredientes

Para la fabricación de briquetas Se consideran las materias primas y los aditivos para obtener una mezcla que se transforme por aglomeración en un sólido compacto con propiedad principal de combustión sin humo, libre de producir contaminación por gases ácidos. Los elementos principales son el combustible, el aglomerante para complementarse con los reactivos absorbentes de azufre, favorecedor de la combustión y reforzador de la unión entre partículas aglomeradas. Rodríguez, w., (2010).

El combustible típico es el carbón, el aglomerante puede ser un líquido que tenga propiedades de unir las partículas mediante sus propiedades físicas en una masa regular y el aglomerante es una sustancia que favorece la relación entre partículas mediante una estructura molecular físico química. El calcio es el absorbente más fuerte de azufre favoreciendo la derivación de sulfatos a las cenizas. Una sustancia que favorece la combustión reduce la temperatura de ignición para ayudar al encendido del sólido. La unión entre partículas se hace mejor con la adición de ácidos fuertes que alteran las uniones físicas en químicas dando una mejor resistencia al producto aglomerado Rodríguez, w., (2010).

La Tabla 7 detalla una lista de componentes que se utilizan en la fabricación de briquetas para los distintos tipos de carbón mineral.

Tabla 7 *Ingredientes para fabricación de briquetas combustibles*

N°	Ingrediente	Tipo
1	Combustible	Antracita
		Bituminoso o hulla
		Lignito
		Carbón vegetal
2	Aglomerante	Agua
3	Adhesivo	Almidón
		Arcilla
		Melaza
4	Desulfurante	Carbonato de Calcio
		Hidróxido de Calcio
		Carbonato de Sodio
		Hidróxido de Sodio
		Carbonato de Magnesio
5	Comburente	Clorato de Potasio
		Nitrato de Sodio
		Parafina
6	Reforzador de la unión de partículas	Ácido Clorhídrico
		Ácido Nítrico

Fuente Primer simposium el carbón 1985 UNI Perú materias primas

a. Carbón mineral. Se designa el nombre de carbón mineral a un combustible sólido generalmente estratificado, que tiene su origen en la acumulación y compactación de vegetación parcialmente descompuesta a lo largo de diferentes eras geológicas, está compuesto básicamente por dos fracciones: una de naturaleza inorgánica, constituida por minerales y otra naturaleza carbonosa formada por macéras. A causa de que las capas de vegetación han sufrido varios grados de alteración física y químicas, (citado en García, A. 1997).

Considerando el carbón como un sedimento orgánico, podemos decir que ha estado sujeto a las condiciones medioambientales existente durante millones de años en la

tierra. El proceso completo de hullaificación es pues una evolución geoquímica que comienza con la deposición de materiales orgánicos en pantanos, seguido por su metamorfosis bajo la influencia de las fuerzas geológicas (dependiente de factores tales como la profundidad de las capas, la temperatura y fuerzas tectónicas), (Bosch, 1988). Considerando al carbón desde un punto de vista químico, podemos decir que está constituido por proporciones variables de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre. Desde lignitos hasta antracitas existe una progresiva eliminación de agua y por consiguiente de hidrógeno y oxígeno, aumentando, en cambio el contenido de carbono fijo del carbón mineral, (citado en García, A. 1997).

Clasificación de los carbones. La comparación de los carbones se hace mejor basándose en su materia combustible toda vez que su contenido de cenizas y humedad varíe considerablemente.

- ♦ **Antracita**, Es el carbón con mayor contenido de carbono y el máximo poder calorífico, es un carbón muy duro, posee un color negro lustroso (brillante) y menos del 8% de materias volátiles. Arde sin llama o con llamas muy cortas y azuladas. Este carbón es indicado cuando es una combustión sin humo
- ♦ **Lignito**, Es considerado el carbón de peor calidad por sus poderes caloríficos y elevado contenido de humedad y cenizas. Tiene aspecto de madera y frecuentemente de arcilla. Están sujetos al riesgo de la combustión espontánea, solo son de interés para instalaciones que se encuentran en la boca de la mina.
- ♦ **Turba**, Es el precursor del carbón y se formó mediante la acción bacteriana y química sobre los desechos de plantas. Tiene un alto contenido de carbono fijo y un alto índice de humedad y cenizas. Se utiliza desde hace siglos como combustible para fuegos abiertos. Recientemente con la ayuda de la tecnología se han fabricado briquetas de turba y lignito para quemarlas en hornos.
- ♦ **la hulla**, es un tipo de carbón mineral que contiene entre un 80 y un 90% de carbono.
- ♦ **Bituminoso semi volátil o carbón de coque**, tiene entre 22 y 31% de materia volátil.

Carbón en el Perú. En el país se cuenta con yacimientos de carbón en La Libertad, Lambayeque, Tumbes, Cajamarca, Ancash, Junín, Amazonas, Loreto, Lima, Cerro de Pasco, Ica y Arequipa. Las zonas identificadas en las que se hallan depósitos de carbón han sido evaluadas obteniéndose las composiciones siguientes mostradas en la tabla 8 Rodríguez, w., (2010).

Tabla 8 Composición química de los carbones en el Perú

Elemento	%
Carbono	25 – 98
Hidrógeno	10 a 74
Oxígeno	< 25
Azufre	< 10
Nitrógeno	1 - 2
Elementos inorgánicos	5 - 15, hasta 50
Agua de enlace	< 42
Minerales de arcillas, pizarras, carbonatos, agua libre y roca encajonante.	< 67

Fuente Primer simposium el carbón 1985 UNI Perú

Características del carbón peruano. Se tienen carbones de tipo antracita, bituminoso, lignito, turba y tipos intermedios. Los tipos indicados para aglomerar son antracita y bituminoso, los que necesitan un proceso previo son turba y lignito generalmente para concentrar el contenido de carbono fijo.

El carbón natural en Perú se caracteriza por contener azufre formando mayoritariamente un compuesto de hierro que representa en peso 0.5% - 3.5% y en menor proporción sulfatos y Compuestos orgánicos.

El tipo antracítico es el más abundante y el que mejor calidad presenta para la conformación de briquetas por su alta capacidad calorífica, alta densidad y bajo contenido de sustancias volátiles.

La producción de carbón mineral en el Perú es aproximado al 1 % de las reservas probadas. El consumo se hace en una parte del carbón nacional y en complemento de producto importado en cantidades similares de países vecinos dirigido principalmente a las industrias de ladrillos, cemento y acero. Rodríguez, w., (2010).

En la tabla 9 observamos el análisis de diversos carbones en distintas regiones del país, luego en la Tabla 10 clasificación nacional de los carbones

Tabla 9 *Análisis de diversos carbones del país*

Yacimiento	Agua libre%	Volátiles%	C%	Ceniza %	S%	Calor experim. cal/g	Calor teórico cal/g	Rango
Tres amigos Alto Chicama	3.34	2.15	92.1	2.38	0.91	8862	7735	Antracita
La Victoria Alto Chicama	3.63	1.65	91.6	3.07	0.36	8749	7614	
Lucma Trujillo	4.45	8	83.6	3.66	0.82	8409	7640	
Sedemin Alto Chicama	3.33	3.79	87.8	5	0.7	8231	7551	
Leguía Baños Chimú	1.88	8.23	82.7	7.11	0.41	7779	7604	
Centenario Santa	4.14	4.41	71.9	19.55	0.73	7747	6225	
Cupisnique Cajamarca	5.85	7.23	55.8	31.04	0.66	6655	5259	
Hatunhuasi Junín	4.09	27.03	54.4	14.39	1.78	7976	6823	Bituminoso
Tumbes	8.33	33.86	31.5	26.3	5.66	6794	5281	
Callejón de Huaylas Ancash	18.76	24.31	25.8	31.06	0.52	6065	4100	
Yacimiento Grande Amazonas	0.8	30.42	50.8	17.9	6.04	7330	6768	
Putumayo Oriente Peruano	29.04	27.72	21.1	22.1	7.9	6656	3925	Lignito
Tumbes	12.05	28.63	24.7	34.59	5.4	5499	3315	

Fuente FIGMM-UNI Lima Perú

Tabla 10 Clasificación nacional de los carbones

Tipo	Sub tipo	C * %	Volátil %	Energía BTU/lb
Antracita	meta antracita	> 98	< 2	
	antracita	92 - 98	2 - 8	
	semi antracita	86 - 92	8 - 14	
Bituminoso	bajo volátil	78 - 86	14 - 22	> 14000
	medio volátil	69 - 78	22 - 31	
	alto volátil a			13000 - 14000
	alto volátil b	< 69	> 31	11500 - 13000
	alto volátil c			10500 - 11500
Sub bituminoso	clase a			10500 - 11500
	clase b			9500 - 10500
	clase c			8300 - 9500
Lignito	lignito a			6300 - 8300
	lignito b			< 6300
Turba				< 4000

Fuente Tesis planta de fabricación de coque FIGMM UNI

b. Aglomerantes. Las briquetas de carbón hechas con aglomerantes son generalmente prensadas en baja presión, cuando las briquetas se hacen sin aglomerantes, no obstante, el suceso del proceso depende de la trituración o de la deformación plástica de las partículas al aproximarlas con altas presiones. No sorprende que muchos componentes orgánicos puedan briquetearse solamente con presión. Las fuerzas que aglomeran estas partículas no son fuertes ni específicas, por lo tanto, es necesario solamente comprimirlas en contacto estrecho. Rodríguez, w., (2010).

Los aglomerantes de tipo matriz como melaza engastan las partículas en una fase aglomerante sustancialmente continuada, por lo tanto, las propiedades de las briquetas se determinan en gran parte por las propiedades del aglomerante. Los aglomerantes de tipo película cemento actúan como pegamentos y desarrollan su resistencia mediante la evaporación del agua o de algún volátil. Los aglomerantes de tipo solvente como agua de alquitrán se usan en algunos casos, aunque el material pueda ser briquetado solamente con presión ya que pueden utilizarse presiones menores y hacerse briquetas con una estructura más porosa. Rodríguez, w., (2010).

La elección de los aglomerantes adecuado para cada tipo de carbón, supone en gran medida, una cuestión de sentido técnico y económico, modificado por la experiencia e implementado por un sistema de ensayo y error. La selección de dicho aglomerante, debe realizarse dentro del contexto del sistema total de aglomeración, que incluye la elección del proceso, la selección del equipo correspondiente y los recursos económicos. Sin embargo, en algunos trabajos bibliográficos están recogidos ciertos sistemas de aglomeración, que han sido utilizados con resultados satisfactorios con distintos materiales carbonosos, lo cual constituye un interesante punto de partida. De cualquier modo, las propiedades deseables para que un aglomerante actué como tal serían

- Mantener a las partículas de carbón unidas fuertemente.
- Procurar la estabilidad del sistema, incluso a altas temperaturas.
- Presentar alta resistencia a la oxidación por aire y por vapor de agua.
- No promover la emisión de gases corrosivos al quemarse.
- No incrementar, considerablemente, el contenido en cenizas de la briqueta
- Ser económico para no encarecer demasiado el proceso de aglomeración

La Aglomeración. La técnica de aglomeración surgió del deseo de desarrollar técnicas para utilizar los finos de carbón generados durante el manejo y transporte del carbón. Actualmente los modernos métodos de carbón de las minas y las técnicas de limpieza generan grandes cantidades de finos que deben ser procesados. Estas cantidades oscilan entre cinco y un cincuenta por ciento del total del carbón extraído, dependiendo del carbón mineral en cuestión. Nelson, (citado en García, A. 1997).

Un proceso de aglomeración se define como cualquiera que aumente el tamaño de las partículas y produzca un compactado con o sin adición de una sustancia externa, llamada aglomerante. La aglomeración implica la conformación de partículas en piezas más grandes por medio de agitación. Korner, (citado en García, A. 1997).

La aglomeración se produce cuando partículas pequeñas de materiales sólidos se comprimen para producir formas coherentes de mayor tamaño, Young, (como se citó en Blesa J., 2002 pg. 7).

Para Rumpf, el aumento de tamaño por aglomeración es un término genérico que indica la combinación de partículas con modificación de tamaño. Según Pietsch, la aglomeración consiste en la unión de partículas de tamaño pequeño debido a fuerzas físicas que actúan a distancias cortas y para Sommer, el aumento de tamaño incluye todos los procesos en los cuales pequeñas partículas dispersas en gases o líquidos se agregan para formar un producto de mayor tamaño. Teniendo en cuenta estas propuestas y los aspectos comunes de las mismas. , (Citado textualmente en Blesa J., 2002 pg. 7).

Durante la aglomeración las fuerzas de adhesión son efectivas y el resultado es un aumento del tamaño de partícula, combinado con un cambio en la forma del producto. Tanto el transporte como el almacenamiento de materiales y el análisis cuantitativo del tamaño de partícula juegan un papel importante en las diferentes etapas de estos procesos y en el conocimiento del comportamiento de un sistema particulado. La tabla 11 muestra los materiales más habituales usados para este fin. Clásicamente se dividían únicamente en dos categorías: orgánicas e inorgánicas. En la actualidad, estos pueden dividirse dentro de cuatro categorías Grupo I Grupo II, Grupo y Grupo IV (diversos)

Tabla 11 *Recopilación de aglomerantes para carbón más empleados*

Grupo I	Grupo II	Grupo III	Grupo IV
Brea de carbón		Silicato sódico	
Asfalto	Almidones	Oxido de calcio	
Residuos de petróleo	Resinas acidas	Oxido de magnesio	
Malta	Melazas	Arcilla	Ácido húmico
Alquitranes de sub productos de coque	Pulpas de madera Pulpa vegetal	Bentonita Cemento portland	
Alquitranes de madera			

Fuente Tesis planta de fabricación de coque FIGMM UNI

Ventajas e inconvenientes de la aglomeración. Aunque la aglomeración de partículas tiene algunas veces consecuencias negativas especialmente en las aglomeraciones no provocadas, presenta claras ventajas de aplicación en muchos procesos industriales, mejorando las propiedades de las partículas. a continuación, se resumen algunas de las ventajas inherentes al aumento de tamaño de partículas sólidas Pietsch, (como se citó en Blesa J., 2002 pg. 22).

- Ausencia o muy bajo contenido de polvo, aumentando la seguridad en la manipulación y evitando pérdidas.
- Mayor facilidad de medida y dosificación.
- Aumento de la densidad de carga y disminución de volumen.
- Forma y tamaño determinados, definición del peso unitario de los aglomerados.
- Controla las propiedades del aglomerado, con variaciones de densidad y porosidad.

Fuerzas que intervienen en la aglomeración. La adherencia de partículas individuales entre sí o a una superficie sólida está controlada por la competencia entre las fuerzas de volumen y superficie. Para provocar adherencia es importante que las fuerzas de adhesión, entre las partículas que se unen, sean mayores que las fuerzas que se oponen a la adhesión, como las de gravedad e inercia como indicada en la ecuación (1).

$$Ta = \frac{\sum Ba(x)}{\sum Fo(x)} > 1 \quad \text{EC. (1)}$$

Siendo

- Ta: Adherencia
- Ba: fuerzas de adhesión
- Fo: fuerzas de oposición
- x: tamaño de las partículas

Para llegar a una situación de adherencia es necesario que el valor del cociente en esta expresión sea mayor que la unidad.

La mayoría de las fuerzas de adhesión solamente son eficaces dentro de distancias muy cortas, disminuyendo rápidamente su magnitud e intensidad cuando la distancia aumenta. Por tanto, y debido a que todas las superficies de la materia particulada son rugosas, la tendencia a la adhesión aumenta cuando disminuye el tamaño de partícula, ya que también disminuye la profundidad de las arrugas y se facilitan los puntos de contacto. A veces las partículas están en contacto, pero las superficies de contacto son tan pequeñas que, aunque actúen fuerzas de van der Waals y de valencia lo hacen muy débilmente sin producir uniones estables.

Lógicamente la adhesión de partículas grandes representa mayores dificultades, a menos que se añada un ligante o se produzcan deformaciones plásticas que aumenten el área de contacto, reduciendo así la distancia interparticular. La ruptura de materiales frágiles también aumenta la tendencia a la adhesión de los fragmentos formados.

La tendencia a la aglomeración es alta si la masa de material tiene una amplia distribución del tamaño de partícula; en este caso los huecos o zonas vacías se rellenan con las partículas más pequeñas. En tales situaciones pueden desarrollarse puentes sólidos que le dan al aglomerado una resistencia notable.

Clasificación de los métodos de aglomeración. La clasificación de los procesos de aglomeración se realiza teniendo en cuenta el mecanismo principal por el que las partículas son preparadas para su unión Sommer, (como se citó en Blesa J., 2002 pg. 13).

- ♦ **Aglomeración a presión.** Las partículas con contenidos de humedad bajos o en presencia de ligantes, forman tabletas o briquetas mediante la presión ejercida sobre ellas en prensas de tipo pistón, rodillo o extrusión. La principal fuerza enlazante es la de van der Waals, aunque la adición de ligantes amplía los mecanismos de adhesión. Los aglomerados suelen tener formas y tamaños definidos desde unos pocos milímetros hasta decímetros. Es el método más utilizado en la producción de briquetas o pellets combustibles a partir de carbón o biomasas y en la de productos farmacéuticos.
- ♦ **Aglomeración por agitación o crecimiento.** Este proceso consiste en facilitar el contacto de partículas para que se adhieran en un sistema en movimiento o en aire cuando la concentración de estas partículas es alta. Se realiza en presencia de líquidos o ligantes y el aumento de tamaño se realiza por coalescencia o crecimiento (tipo bola de nieve), basado en fuerzas capilares. Normalmente los aglomerados son esféricos con diámetros entre 0,5 y 20 mm y los equipos utilizados son mezcladores inclinados tipo tambor, cono, disco o paletas. La capacidad de producción máxima está entre 50 t/h y 200 t/h y se utiliza en la preparación de minerales de hierro, fertilizantes y productos farmacéuticos.

- ♦ **Aglomeración por atomización o pulverización.** La base de este proceso es la atomización de suspensiones mediante la evaporación del líquido por aire caliente, como si fuera una etapa preliminar de secado. Las fuerzas de adhesión son de tipo capilar, a las que sigue la formación de puentes cristalinos en los puntos de contacto. Los aglomerados tienen entre 20-500 μm ,
- ♦ **Aglomeración a presión.** La aglomeración a presión, tiene una larga tradición en la industria del carbón. Esta técnica requiere la utilización de fuerzas elevadas que actúan sobre partículas sólidas que están situadas en un volumen definido. Si se utilizan materiales con plasticidad, los cuales deforman bajo presiones altas, la aglomeración puede efectuarse sin ligantes. La resistencia de estos aglomerados, cuyo tamaño oscila desde unos pocos mm a 1 dm, se debe a alguno o algunos de los mecanismos enlazantes anteriormente citados. Cuando estos mecanismos no son suficientes para conseguir aglomerados resistentes es necesario utilizar ligantes. Las principales aplicaciones de esta técnica están en el briqueteado de carbón y productos afines, materiales refractarios, metalurgia, fertilizantes y farmacia. Los equipos más utilizados son las prensas de pistón con molde, de rodillo y de extrusión.

Mecanismos de la aglomeración a presión de carbón. Como ya se ha mencionado la producción de briquetas de carbón ha sido una de las aplicaciones industriales más importantes de la aglomeración a presión, el mecanismo de la aglomeración en presencia de Aglutinantes, ahora se presentan las transformaciones que sufren los carbonizados de carbón y materiales afines, cuando se utilizan prensas de pistón con molde.

La observación microscópica de las briquetas permite apreciar que muchas de las partículas originales del carbonizado están rotas o fragmentadas por las altas presiones soportadas durante la compactación. Si la superficie de los fragmentos es extensa será difícil que la recubra el Aglutinante, si éste se utiliza. La presión es un factor muy importante en la producción de estos aglomerados ya que produce o puede producir compactos crudos con alta densidad, alta resistencia y baja porosidad y además influye señaladamente en las propiedades del producto acabado.

Las partículas de carbonizado tienden a comportarse como sólidos frágiles, no resisten las presiones de compactación y se fracturan sucesivamente hasta que los fragmentos son capaces de soportar la presión externa aplicada. El progreso de la compactación, que se esquematiza en la Figura 1, implica el flujo de carbonizado dentro de los intersticios debido al movimiento de los fragmentos que siguen una fractura. Esto conduce a varias capas horizontales compactadas que se presionan unas a otras, desarrollando fuerzas de compresión laterales dentro del compacto.

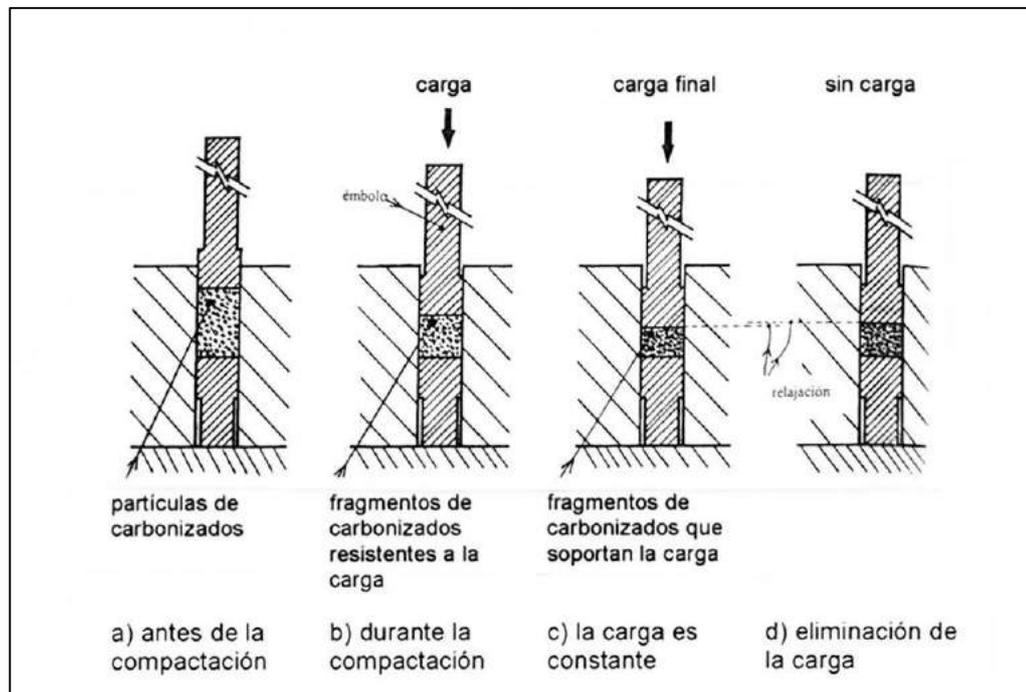


Figura 1 Efecto de la carga externa sobre las partículas de carbonizado

Al final de la etapa de alta presión en el briqueteado, se alcanza un cuasi-equilibrio en el cual el compacto soporta la presión externa y el ligante, si lo hay, está distribuido estáticamente dentro del compacto. Cuando se elimina la presión este equilibrio se altera y el carbonizado comprimido se expande y puede ocurrir algún ligero desplazamiento del ligante, además de producirse un efecto de relajación, a causa del cual los volúmenes de las briquetas crudas son algo mayores que los correspondientes bajo la presión en el molde.

La cantidad, forma y tamaño de las grietas que se forman durante el briqueteado, controlan la resistencia de las briquetas y están relacionadas con el tamaño de la

partícula del material a briquetear y con la cantidad y naturaleza del ligante, Figura 2 Taylor, (como se citó en Blesa J., 2002 pg. 22). En un sólido frágil, el tamaño de las grietas más grandes controla su resistencia, cuanto más pequeño es su tamaño más resistente es el sólido. En una briqueta cruda los intersticios vacíos son grietas potenciales ya que aquellos no suelen modificarse durante el curado.

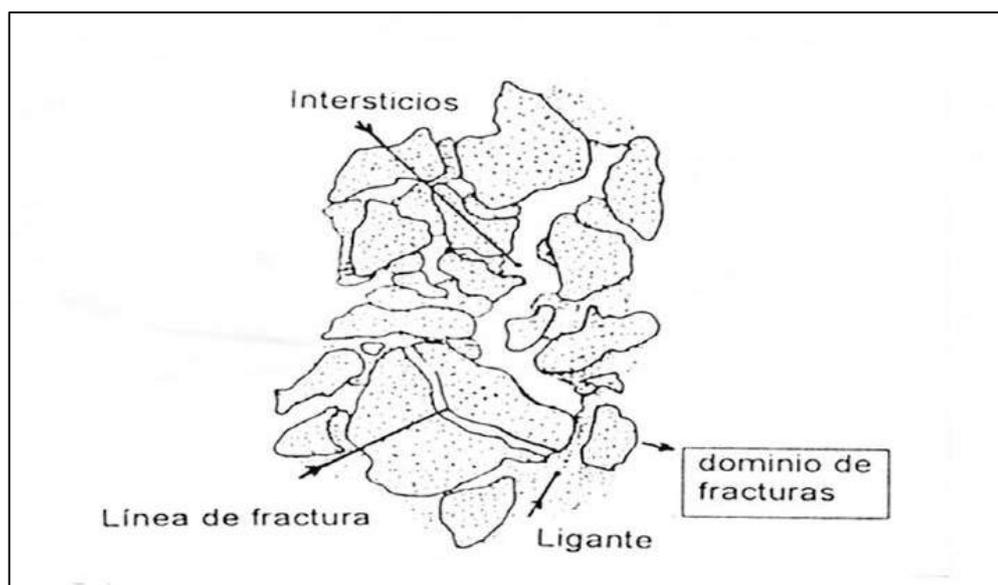


Figura 2 Reparto del ligante y posibles líneas de ruptura de una briqueta

c. los ligantes. En general se trata de productos sólidos solubles o insolubles en agua que tienen naturaleza fibrosa, buena plasticidad o son capaces de cementar y productos líquidos con la propiedad de producir adherencia entre las partículas Sergeev, Haykiri, (como se citó en Blesa J., 2002 pg. 36).

Entre los ligantes orgánicos más empleados figuran los siguientes: albuminatos, alcoholes, almidones, alquitranes, azúcares, breas, caseína, colas, dextrinas, gelatinas, humatos, ligninas-lignosulfonatos, melazas, papel, resinas, serrín, turba y entre los inorgánicos: alumbre, alúmina, arcillas, bentonita, borato de sodio, cal y cal hidratada, cemento, cloruro de magnesio, escayola, silicato de sodio, sílice y yeso. Blesa J. (2002)

o *Actuación de los ligantes.* La misión del ligante, consiste en favorecer la unión de las partículas sólidas que van a formar el aglomerado proporcionando a éste una resistencia adecuada. Esta característica fundamental e imprescindible debe cumplirla sea cual sea su estado físico, su naturaleza química y su tipo de función.

El ligante rellena progresivamente los intersticios entre los fragmentos de carbonizado y entre los que se han producido como rotura de estos, como puede verse en la Figura 3 Taylor, (como se citó en Blesa J., 2002 pg. 30). El aumento del grado de compactación produce una disminución de volumen de los intersticios y su estrechamiento provoca desplazamientos del ligante desde los intersticios rellenos a las zonas vacías próximas disminuyendo su tamaño y su longitud. Excepto para las etapas finales de compactación, el volumen total de ligante es normalmente una fracción pequeña del volumen total de los espacios intersticiales disponibles. Puede haber intersticios libres a los que accede el ligante de zonas próximas.

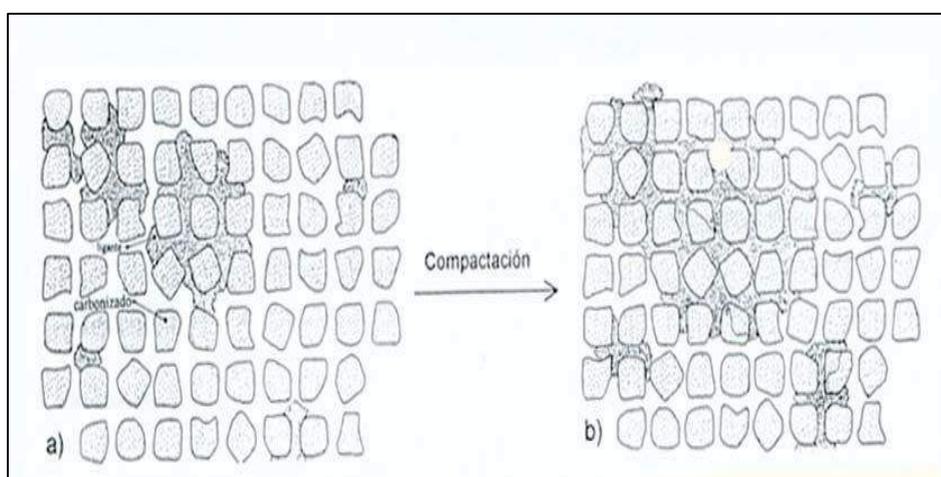


Figura 3 Fragmentos carbonizados en dos situaciones

Se ha observado experimentalmente que pequeñas variaciones en la proporción de ligante modifican la resistencia de las briquetas Schinzel, Taylor, (como se citó en Blesa J., 2002 pg. 30). Si el ligante está en proporciones bajas los intersticios no están saturados y la resistencia de la briketa puede ser insuficiente. Las proporciones medias representan una zona límite entre un régimen de presión casi despreciable y otro en el que el ligante está a presión alta y va relleno progresivamente los intersticios produciendo una briketa resistente. Por encima de una determinada proporción de ligante se produce su introducción por grietas y líneas delgadas favoreciendo la unión de los fragmentos, dejando pocas grietas sin puentes y aumentando más la resistencia de las briquetas.

Variables más influyentes para la elección del proceso de briqueteado

Debido a la disponibilidad de una amplia variedad de métodos de aumento de tamaño por briqueteado, su elección precisa el estudio cuidadoso de una serie de parámetros, lo que proporcionará las bases para la toma de las decisiones más adecuadas. Para el briqueteado del carbón y materiales afines estos parámetros son los que se detallan seguidamente:

a. Características de la materia prima. El tamaño de la partícula y su distribución es un factor muy importante a tener en cuenta. Las partículas menores de 0,1 mm suelen aglomerarse por crecimiento y por encima de ese tamaño se utilizan los métodos de presión. Generalmente es más difícil aglomerar distribuciones de tamaño de partícula estrecha o incluso tamaños únicos. Los mejores resultados se obtienen mezclando partículas de distintos tamaños, las partículas grandes se mezclan con las pequeñas y éstas actúan como matriz de unión consiguiendo aglomerados resistentes. Ji, (como se citó en Blesa J., 2002 pg. 23).

Los métodos de aglomeración a presión son los más utilizados para la aglomeración de carbón y biomásas y sus mezclas, tanto para los materiales originales como para sus carbonizados. Normalmente, la mejor situación se produce cuando se dispone de una distribución del tamaño de partícula muy amplio, por ejemplo, de 150 μm a 10 mm. En el briqueteado de carbones pardos y lignitos una buena distribución está entre 4 y 0,1 mm, siendo el tamaño < 1 mm mayoritario; en mezclas de antracita y lignito se han utilizado tamaños < 5 mm carbonizados con tamaño < 4 mm y partículas de carbón < 3 mm con finos También se ha trabajado con biomásas de tamaño de partícula < 2 mm. (Citado textualmente en Blesa J., 2002, pg. 24).

El contenido en humedad puede llegar a ser crítico puesto que la presencia de agua libre hace necesaria su eliminación o ajuste, especialmente en el briqueteado sin ligantes. En el aglomerado de carbones de bajo rango, debe ajustarse el contenido de humedad óptimo en cada caso para realizar una aglomeración eficaz. En el caso de utilizar ligantes el agua libre puede ser una parte del sistema de unión que, mediante diferentes mecanismos, desarrolla la resistencia mecánica de las briquetas con enlaces

entre grupos hidroxilo y carboxilo. El agua es el ligante más universal en los procesos de aumento de tamaño. Hay que tener en cuenta que, cuando se realiza el briqueteado a presión, los líquidos presentes tienen que alojarse en el volumen de poros residual del sólido y este volumen va disminuyendo conforme avanza la aglomeración y esto provoca la detención de la densificación, produciendo briquetas de baja calidad. El límite máximo de humedad está marcado por la porosidad del aglomerado, pequeños excesos pueden provocar la conversión del aglomerado en barro. (Citado textualmente en Blesa J., 2002, pg. 24).

Se han preparado briquetas resistentes partiendo de carbón pardo y lignitos con un grado de humedad adecuado y sin la adición de ligantes, y también con turba. En algunos casos la humedad óptima se ajusta alrededor del 16-17 %, entonces se utilizan presiones bajas de briqueteado y debe decrecer la humedad conforme aumenta la presión, con humedades del 17-19 % y tamaños de partícula entre 1 y 2 mm se han conseguido briquetas con resistencias elevadas e incluso se han briqueteado carbones de bajo rango eslovacos con el 25 % de humedad. (Citado textualmente en Blesa J., 2002, pg. 24).

b. características químicas y físicas. Comprenden tanto la posibilidad de establecer uniones químicas entre las partículas, o entre ellas y los ligantes. A veces, se puede aprovechar el potencial ligante inherente al material, como ocurre con algunos carbones de bajo rango, carbones con propiedades coquizantes y sus mezclas y algunas biomásas; esto podría considerarse también como características enlazantes. En el caso de la obtención de briquetas combustibles sin humo, partiendo de mezclas de carbonizados de carbón y biomasa, las propiedades aglomerantes de los materiales se han limitado tanto, que es necesaria la utilización de ligantes para obtener briquetas resistentes Blesa J., (2002).

Por otra parte, la densidad de partícula y la porosidad, elasticidad, plasticidad, fragilidad y abrasividad influyen también en la elección del método de briqueteado. La densidad y porosidad marcarán el peso y algunas propiedades del aglomerado y la elasticidad y plasticidad pueden indicar las presiones de briqueteado a utilizar, especialmente en aquellos materiales que manifiestan propiedades plásticas y que por

tanto facilitan la unión entre partículas, como es el caso de algunas biomásas fibrosas. Zhaoa. (Como se citó en Blesa J., 2002, pg. 24)

c. Métodos de aglomeración. Se puede optar por la operación continua o discontinua. Esta última se caracteriza por su limitada capacidad de producción, sin embargo se obtienen briquetas muy uniformes. Las operaciones continuas son más adecuadas para grandes producciones aunque esto lleve consigo variaciones en la calidad del aglomerado.

La elección de la presión de trabajo se basa en resultados experimentales y debe tener en cuenta el destino final de las briquetas y la relación resistencia mecánica/economía. En este aspecto la variación de las presiones utilizadas es amplísima y va desde 5 MPa para briquetear plásticos triturados con polvo de lignito, 50-250 MPa para briquetear lignito mezclado con diferentes biomásas hasta 800 MPa para hacerlo con mezclas de lignitos y madera. El intervalo de presiones más frecuente está entre 75-150 MPa tanto para briquetear carbones solos o mezclados entre sí o sus mezclas con otros materiales. (Citado textualmente en Blesa J., 2002, pg. 27)

d. Características del producto. Unas determinadas dimensiones y formas para las briquetas, más o menos estrictas, influirá en la elección del método de briqueteado. Estas exigencias vendrán marcadas por el destino final del producto.

Las briquetas producidas en prensas de rodillo tienen, en general, forma ovoide o cilíndrica y pesan entre 16 y 80 g, se utilizan principalmente en estufas domésticas y deben tener un tamaño adecuado para no plantear problemas de carga, no pasar a través de la parrilla y no producir resistencia al paso del aire. El objetivo, en este caso, es encontrar formas y tamaños que tengan alto volumen de huecos y poca pérdida de carga. A veces, las briquetas adquieren formas de panal de miel o de embudo para facilitar el paso de aire y mejorar la combustión. Li, Wang, M., (como se citó en Blesa J., 2002 pg. 25).

En la producción de aglomerados para uso industrial, Las briquetas hechas en prensas tipo pistón, son normalmente de forma cúbica o de ladrillo con un peso entre 500 y 2.000 g. bien como combustible o como producto intermedio para la producción de

coques, la tolerancia es más alta. La elección de la *presión de trabajo* se basa en resultados experimentales y debe tener en cuenta el destino final de las briquetas y la relación resistencia mecánica/economía.

Producción a nivel de laboratorio

Se realiza la fabricación utilizando la molienda, mezclado y aglomerado, el material debe cumplir las características mostradas en la Tabla 12. Rodríguez, W. (2010).

Tabla 12 *Características para laboratorio*

Combustible	Antracita
Densidad	1.5 g/cm ³
Granulometría	100% - m ₆
Humedad física	Natural
Contenido de azufre	< 1%
Tecnología	Carbón mineral de bajo volátil.

Fuente Rodríguez, w. (2010)

En Laboratorio se incluye el chancado de carbón con una distribución de tamaño menor a 3.32mm, adición de agua, arcilla y un reactivo de calcio en la siguiente proporción Carbón 1000 g., Agua 350 g., Arcilla 60 g., Óxido de Calcio 37.5 g. La Tabla 13 establece la composición de una mezcla típica para aglomerado de briquetas

Tabla 13 *Composición de mezcla para laboratorio*

Ingredientes	%en peso
Carbón	69
Agua	24
Arcilla	4
Cal	3

Fuente Rodríguez, W. (2010)

Diversas tecnologías.

Las tecnologías de fabricación son dependientes del material básico utilizado que tiene características propias y usos aplicativos particulares, el carbón pulverizado disponible en grandes cantidades tiene empleos diversos industriales como combustible en las operaciones metalúrgicas, como producción de sinter inyectado en alto horno, calcinación de cemento etc. Rodríguez, W. (2010).

Briquetado con carbón Mineral de Bajos Volátiles. Se usa el carbón de tipo antracita, bituminoso y sub bituminoso alto y bajo; Estas briquetas son útiles para uso industrial en altos hornos, cúpulas de fundición, secadores y calentadores Rodríguez, W. (2010). La fabricación incluye la aplicación de las siguientes operaciones:

- ♦ **Chancado.** Se tritura el carbón por medio de una chancadora de quijadas o de martillos y se clasifica hasta obtener un tamaño menor a 6 mallas o 3.3 mm, ésta operación produce la liberación parcial de azufre molecular.
- ♦ **Lavado.** Se realiza a través de un lavador de espiral en contracorriente en el cual se elimina parte de las impurezas y se hacen más puras las partículas de carbón. Este lavado disminuye la densidad del carbón, la producción de cenizas y el consumo de desulfurizante.
- ♦ **Molienda.** Se realiza por trituradora de rodillos hasta obtener la granulometría de 14 mallas o 1.2 mm adecuada para el aglomerado.
- ♦ **Mezcla.** A través de un mezclador tipo espiral vertical u horizontal; se agregan el adhesivo, el aglomerante, el neutralizador de azufre y el comburente.
- ♦ **Prensado.** Se utiliza una prensa mecánica sobre una matriz metálica conteniendo los moldes interiores. Puede utilizarse una matriz de rodillos con depresiones de formas variables mostradas en la Figura 4 para obtener briquetas de distintas dimensiones Figura 5
- ♦ **Ventilado.** Es útil para consolidar la briqueta; por que el producto elimina la humedad física y adquiere sus propiedades definitivas para la disposición final.

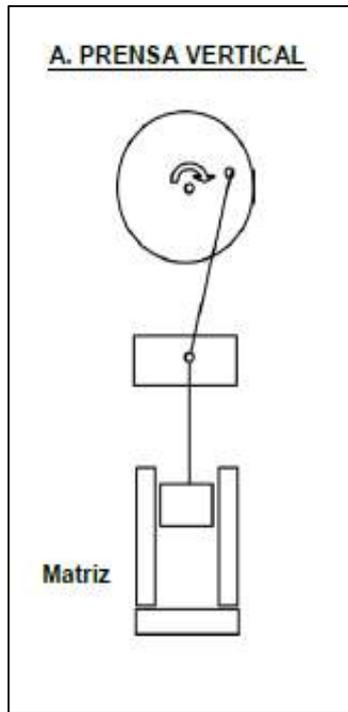


Figura 4 Mecanismo de fabricación de briquetas de carbón

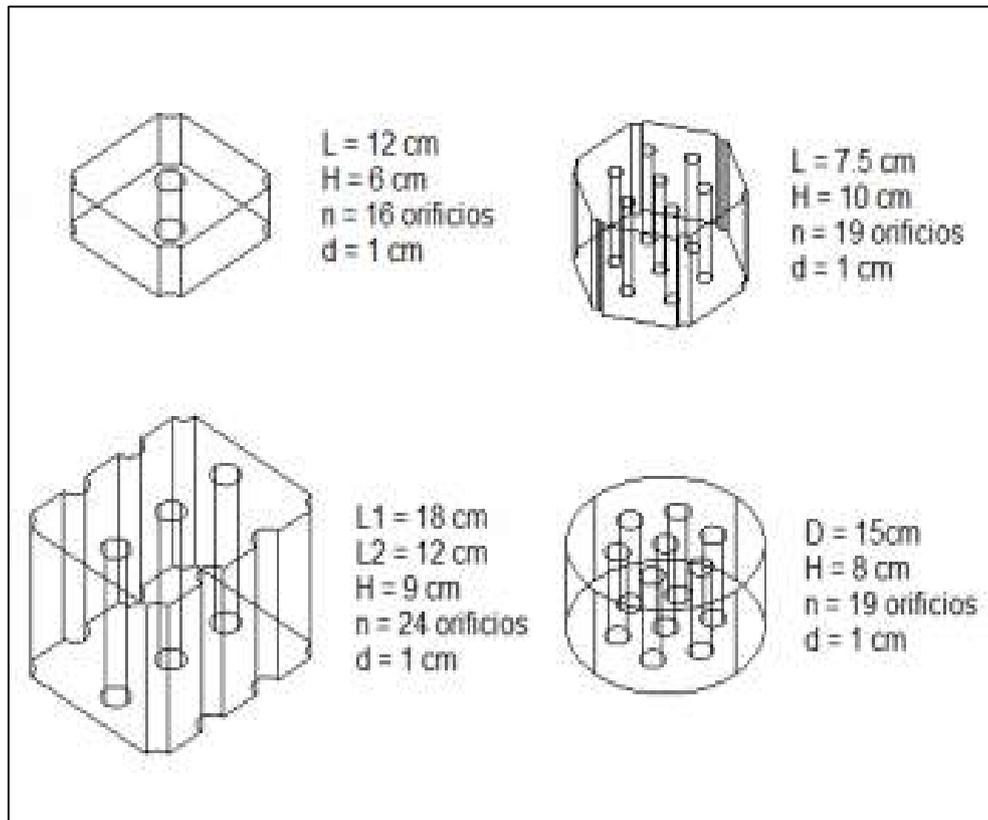


Figura 5 Dimensiones de briquetas de carbón y biomasa de tipo prensadas

Propiedades químicas de la ceniza de briqueta

La ceniza de la briqueta consta de un alto contenido de sílice como se aprecia en la Tabla 14 superando los porcentajes de sílice establecidos por la norma ASTM C-270 para un cemento tipo I además con un bajo porcentaje de potasio inferior al 1.5% que es perjudicial para el concreto

Tabla 14 Composición química de la ceniza de briqueta

Óxido	(% Óxidos)	(% Normalizado)
Al ₂ O ₃	12.972	17.420
SiO ₂	52.171	70.061
SO ₂	0.262	0.352
K ₂ O	1.477	1.982
CaO	2.273	2.918
TiO ₂	0.409	0.549
V ₂ O ₅	0.024	0.033
MnO	0.091	0.122
Fe ₂ O ₃	4.711	6.326
Co ₃ O ₄	0.010	0.013
Ni ₂ O ₃	0.008	0.011
CuO	0.010	0.013
ZnO	0.009	0.013
Rb ₂ O	0.010	0.013
SrO	0.038	0.051
ZrO ₂	0.025	0.033
BaO	<u>0.066</u>	<u>0.088</u>
Totales	74.465	100.00

Fuente Laboratorio de Arquiometria UNMSM

CONCHAS DE ABANICO *Argopecten Purpuratus*

La concha de abanico es un molusco cuyas valvas tienen forma de abanico. Se produce en zonas arenosas, algosas y de manglares, sobre fondo de roca, guijarro y grava. Se compone del tallo o callo, que es un musculo de color blanco, y de la gónada, también conocido como coral que es de color rojo.



Figura 6 Concha de abanico *Argopecten Purpuratus*

La concha de abanico presenta dos valvas comprimidas, articuladas dorsalmente, con 23 a 26 costillas radiales que delimitan surcos en los que se encuentran estriaciones transversales. La Tabla 15 brinda una descripción taxonómica, descrita por Lamarck en 1819.

Tabla 15 Descripción taxonómica de la concha de abanico

Descripción Taxonómica	
Phylum	Mollusca
Clase	Pelecípoda
Orden	Pterioidea
Familia	Pectinidae
Genero	<i>Argopecten</i>
Especie	<i>Argopecten Purpuratus</i>

Lamarck 1819

Actualmente las principales áreas de cultivo de conchas de abanico se encuentran en las costas de Piura Sechura, Ancash, en zonas como Samanco y Guaynumá, entre otros; mientras que, en Lima, sobresale la zona de Pucusana. Asimismo, destacan bancos naturales ubicados en, Paracas Pisco, Lobos de Tierra Lambayeque, Bahía de Independencia e Isla San Lorenzo Lima. Conchas de abanico, (2010)

El cultivo de "concha de abanico" (*Argopecten Purpuratus*) es una actividad acuícola que viene adquiriendo una gran importancia. En los últimos años, esta especie se ha constituido en el principal producto de exportación de la acuicultura peruana, siendo los destinos tradicionales Francia y USA.

Características de las conchas de abanico.-

Las conchas de abanico están conformadas por caparazones de carbonato cálcico. Al ser triturado y calcinado se obtiene un aproximado de 99% de calcio (Tabla 16) el cual se puede usar como un sustituto parcial del cemento además por ser un material inorgánico.

Tabla 16 Composición química según ensayo de fluorescencia

Composición química expresada como óxidos	Resultados (%)	Método utilizado
Oxido de Calcio (CaO)	99.493	Espectrometría de Rayos X
Oxido de Estroncio (SrO)	0.323	
Óxido de Azufre (SO ₂)	0.194	
Composición química expresada como elementos	Resultados (%)	Método utilizado
Calcio (Ca)	99.367	Espectrometría de Rayos X
Estroncio (Sr)	0.402	
Azufre (S)	0.231	

Fuente Laboratorio de ensayo de materiales UNI.

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable dependiente: Resistencia a la compresión.

Definición conceptual. La resistencia a la compresión es el esfuerzo máximo que presenta un material a la compresión sin romperse. La resistencia a la compresión ($f'c$) es su propiedad más importante del mortero, normalmente, se expresa en (kg/cm²), megapascales (MPa) o en (lb/pulg² o psi) y se usa como control de calidad en la dosificación de los agregados.

Definición operacional. El valor de la resistencia a la compresión de la unidad de mortero, $f'c$, será determinado realizando El ensayo de resistencia a la compresión dicho ensayo consiste en llevar la pieza a la falla y registrar la carga de rotura en el área de contacto, para determinar el esfuerzo de compresión máximo mediante la ecuación 2. Gere J. y Goodno B. (2013)

$$F'c = \frac{W}{A} \quad \text{EC. (2)}$$

Dónde:

- $f'c$ = resistencia a la compresión de ladrillo Pa x 104 o Kgf/cm²
- W = carga máxima de rotura) en N o Kgf
- A = promedio área bruta de las superficies del espécimen en cm².

La máquina de ensayos será una prensa hidráulica o mecánica, que disponga de varias escalas de manera que se pueda escoger la apropiada, según el valor medio del ensayo a efectuar, de forma que ningún resultado individual quede por debajo de la décima parte del valor máximo de la gama de medida empleada. Debe permitir la aplicación de la carga de una manera continua y progresiva.

Dimensiones

- ♦ **Carga axial.** Se define como una fuerza que actúa a lo largo del eje longitudinal de un miembro estructural aplicada al centroide de la sección transversal del mismo produciendo un esfuerzo Uniforme. También llamada fuerza axial.

Indicador. Resistencia promedio de los especímenes ensayados

- ♦ **Ph. del concreto** NTP 339.229:2009 en el estado endurecido deberá ser mayor
Indicador. Porcentaje de Ph.
- ♦ **Contenido de sulfatos del agua.** usada para su elaboración y curado (NTP 339.229:2009)
Indicador. Porcentaje de sulfatos

Variable independiente: Diseño de mezcla de mortero.

Definición conceptual. El diseño de mezcla se puede definir como el proceso de selección más adecuado, conveniente y económico de sus componentes como son: agua, cemento y agregados con la finalidad de obtener un producto que en el estado fresco tenga trabajabilidad y consistencia adecuada, además en estado endurecido cumpla con los requisitos establecidos por el diseñador o indicado en los requerimientos del proyecto y especificaciones técnicas. (Sánchez G, 2011)

Definición operacional. Para la fabricación de mortero se realizarán 2 composiciones, una muestra patrón con 0% de sustitución del cemento y otra experimental con 5 y 15 % de sustitución por polvo de concha de abanico y ceniza de briqueta respectivamente. Se homogenizaron las materias primas en cantidades según indica el análisis y se le adicionara agua hasta obtener una masa plástica

Dimensiones.

- ♦ **Dosificación mortero patrón** El diseño de mezcla será de forma convencional homogenizando los componentes comunes como arena cemento y agua
Indicador: Porcentaje de materiales
- ♦ **Dosificación Mortero con 5% de concha de abanico y 15% de ceniza de briqueta** Se sustituirá el cemento con la dosificación especificada
Indicador. Porcentaje de materiales
- ♦ **Fluidez del Mortero** NTP 334.057:2011 es un parámetro de la relación agua/cemento, la cual es un indicador de la trabajabilidad, se determina por medio de la mesa de sacudidas.
Indicador. Porcentaje de fluidez

Se plantea la siguiente hipótesis indicando que: si sustituyo parcialmente el cemento por 5% de polvo de *Argopecten Purpuratus* (concha de abanico) y 15% de ceniza de briqueta en un diseño de mezcla. Mejoraría la resistencia a la compresión de un mortero con respecto a uno elaborado con diseño convencional

El objetivo general de esta investigación es: Determinar la resistencia a la compresión de una un mortero de concreto cuando se le sustituya el cemento por 5 % de polvo *Argopecten Porpuratos* concha de abanico y 15% de Ceniza de briqueta

Como objetivos específicos tenemos:

- Realizar la gradación del agregado para determinar el porcentaje del tamaño de las partículas.
- Determinar el grado y tiempo de calcinación de la concha de abanico y la briqueta mediante el Análisis térmico diferencial
- Activar térmicamente la concha de abanico
- Determinar la composición química por el método de fluorescencia de rayos-X (FRX) y el Ph. de la ceniza de briqueta, el Ph del cemento al 100% y con sustitución del 5 de polvo de concha de abanico y 15% por ceniza de briqueta respectivamente.
- Determinar la relación agua – cemento de la muestra patrón.
- Determinar analizar y comparar estadísticamente el grado de relación alcanzados de la resistencia a la compresión en las unidades de mortero patrón y las unidades experimentales

METODOLOGÍA

Métodos de investigación

El método de investigación que se aplica es experimental basada en la observación científica, ya que dentro del trabajo la variable independiente que es el diseño de mezcla de mortero para elaborar un mortero el cual ha sufrido una transformación que se llama manipulación de la variable que consiste en sustituir al cemento por un 5% de polvo de concha de abanico y 15% ceniza de briqueta. Lo que se busca es comparar los resultados obtenidos con el diseño de mezcla convencional

Tratando de que su resistencia aumente o esté dentro de los estándares establecidos en la norma técnica peruana NTP. 334.051, apoyándose en la aplicación de pruebas y ensayos.

Proceso y análisis de los datos

De una población de 3 briquetas trituradas, se obtuvo una muestra significativa de 500 g. luego se pasó por la malla N° 200, para poder realizar el análisis térmico diferencial

De igual forma la muestra de conchas de abanico se adquirió de la empresa Acuapesca ubicada en la carretera Panamericana Norte Km. 383.3 – Casma. El material se encontró en estado húmedo, con materia orgánica por lo que se procedió al lavado con abundante agua y detergente industrial luego se seleccionó para obtener una muestra uniforme.

De la muestra de conchas de abanico obtenida se realizó el secado a temperatura de 110 °C, luego se trituro tamizo y paso por la malla N° 200, para poder realizar el análisis térmico diferencial en el laboratorio de polímeros de la universidad nacional de Trujillo.

Posteriormente con los resultados ya obtenidos se realizó la activación de la concha de abanico la muestra seleccionada anteriormente fue llevada a la mufla y calcinada a 700 °C durante un tiempo de 2 ½ h, finalmente se tamizó el material obtenido por la malla número 200. Paralelamente a los procesos antes mencionados se extrajo una muestra

de arena de la cantera Besique ubicada aproximadamente en el km 412 panamericana norte

Luego de solicitar y Coordinar el acceso a Laboratorio de Mecánica de Suelos, se realizaron los ensayos de las características de los agregados como: gradación, peso unitario, peso compactado, absorción- gravedad específica, y contenido de humedad.

Del cemento, polvo de concha de abanico y cenizas de briqueta, y de la combinación de 80% cemento + 5% de polvo de concha de abanico y 15 % cenizas de briqueta, se tomó una muestra de 30g. De cada una, para determinar su Ph

Se Calculó el diseño de la relación agua/cemento, con el fin de elaborar los especímenes de morteros patrón y experimental. La fluidez de la mezcla patrón sirvió como punto de partida para elaborar la mezcla experimental con la sustitución parcial del cemento por polvo de concha de abanico y cenizas de briqueta en una dosificación de 80, 5 y 15 % respectivamente. Luego de elaborar los especímenes se procedió a colocarlos en agua para el respectivo curado. Finalmente se realizó los ensayos de mortero endurecido elaborados con mezcla patrón y experimental.

Se aplicó un registro de apuntes, mediante fotografía y fichas para ver el desarrollo de los especímenes en sus diferentes días de análisis. Los datos fueron procesados en el programa Excel (tablas, gráficos, porcentajes).

Procedimiento metodológico de los ensayos realizados

Procedimiento para la elaboración de morteros. Seguidamente se indican los equipos que se emplearan para la elaboración de los morteros.

- Moldes cúbicos de bronce, de lados de 5cm (5cm x 5cm x 5cm).
- Barra compactadora de madera de roble lisa, de sección transversal de 13 mm por 25 mm y una longitud de 120 mm a 150 mm, su cara de impacto debe ser plana y en Angulo recto.
- Cuchara para el vaciado y plancha de albañilería (badilejo) de acero.
- Cinta transparente para el forrado del molde cubico

Así mismo nos establece el procedimiento para elaboración de los mismos, se coloca la paleta mezcladora y el recipiente de mezclado secos en su posición de trabajo en la mezcladora. Luego se introduce los materiales para una amasada en el recipiente y se mezcla en la siguiente forma:

- Se vierte toda el agua de mezclado en el recipiente.
- Se agrega el cemento al agua y se mezcla durante 30s a la velocidad lenta (140 ± 5 r/min)
- Se agrega lentamente la totalidad de la arena en un periodo de 30s, mientras se mezcla a velocidad lenta.
- Se detiene la mezcladora, se cambia a velocidad media (285 ± 10 r/min) y se mezcla durante 30s.
- Se detiene la mezcladora y se deja reposar el mortero durante 90s. Durante los primeros 15s de este intervalo, se arrastra hacia el fondo con el raspador, el mortero adherido a la pared del recipiente. Durante el resto del intervalo, se tapa el recipiente, Finalmente se mezcla durante 60s a velocidad media (285 ± 10 r/min).

Luego se Comienza a moldear los especímenes dentro de un tiempo total no mayor de 2 min y 30 s después de completar la mezcla inicial de la amasada del mortero. Se coloca una capa de mortero de alrededor de 25 mm (1pulg) (aproximadamente la mitad de la profundidad del molde) en todos los compartimientos del cubo, posteriormente se apisona manualmente el mortero en cada compartimiento cúbico 32 veces en aproximadamente 10 s en 4 rondas, cada ronda en ángulos rectos respecto a las otras que consiste en ocho golpes adjuntos sobre la superficie del espécimen, siendo justo la suficiente para asegurar el llenado uniforme de los moldes. Antes de seguir con el próximo. Cuando el apisonado de la primera capa en todos los compartimientos cúbicos se ha completado, se llenarán los compartimientos con el mortero restante y luego se apisona como se especificó para la primera capa

Durante el apisonado de la segunda capa, se introduce el mortero forzado hacia fuera sobre la parte superior de los moldes después de cada ronda de apisonado. Al completar, la parte superior de todos los cubos se extendió levemente por encima. Se introduce el mortero que haya sido forzado hacia fuera por sobre las partes superiores

de los moldes. Se suaviza y nivela los cubos pasando el lado plano de una paleta (con el borde levemente levantado) Se cortó el mortero a una superficie plana a nivel con la parte superior del molde. Luego de cada proceso de apisonado se realiza el vibrado manual de mortero.

Procedimiento para la fluidez de morteros. Después de un 1 minuto de terminada la operación de mezclado, se limpia y se seca la plataforma de la mesa de flujo, se coloca el molde en el centro, se vierte en el molde una capa del mortero que se requería ensayar, de unos 25 mm (1") de espesor, y se apisona con 20 golpes del compactador, uniformemente distribuidos. Con una segunda capa de mortero, se llena totalmente el molde y se apisona como la primera capa. Se retira el exceso de mortero de la capa superior y se alisa la superficie por medio de un palustre, se deja caer la mesa de flujo desde una altura de 12.7 mm (½") 25 veces en 15 segundos. Luego se mide el diámetro de la base de la muestra, por lo menos en cuatro puntos equidistantes y se calculó el diámetro promedio.

La fluidez es el aumento del diámetro de la muestra, expresado como un porcentaje del diámetro de la base mayor del molde, determinado según la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Fluidez} = \frac{\text{diametro promedio(cm)} - 10.16\text{cm}}{10.16 \text{ cm}} * 100 \quad \text{EC. (3)}$$

Procedimiento para ensayo resistencia a la compresión de morteros. Remueva el agua de almacenamiento. Limpie cada espécimen para obtener condiciones de superficie seca. Retire algún grano de arena flojo o incrustaciones de las caras que estarán en contacto con los soportes de la máquina de ensayo, revise las caras con una escuadra. Si existe curvatura apreciable descarte el espécimen. Mida ambos lados y Pese el espécimen anote los resultados y registre los valores en centímetro y gramos respectivamente; Coloque cuidadosamente el espécimen en la máquina de ensayo bajo el centro del soporte superior de la máquina de ensayo anote el valor de la carga máxima total indicada por el equipo de ensayo, y calcule la resistencia a la compresión como se indica en la ecuación (2) pg.42

Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación. El tipo de investigación correspondiente será de tipo Aplicada, precedentemente los resultados serán utilizados para la solución de problemas relacionados al mortero de concreto generando uno me mejor resistencia a la compresión con respecto a los convencionales esto servirá como una técnica nueva para el proceso constructivo. A su vez esta investigación será aplicada, porque buscamos resolver un problema conocido y encontrar respuestas a preguntas específicas. Usando métodos innovadores y sobre todo naturales a bajo costo, ya que teniendo en cuenta los conocimientos previos ya estudiados, comprobaremos de manera experimental la resistencia a la compresión de un mortero de concreto utilizando 5% de concha de abanico y 15% de ceniza de briqueta en comparación de un mortero de concreto convencional.

Diseño de investigación. El diseño que le corresponderá a esta investigación será experimental, porque se evaluarán los resultados de dos grupos de estudio denominados. Grupo Control y Grupo Experimental, en donde se utilizará como material el 5% de concha de abanico y 15% de ceniza de briqueta en relación al proceso de un mortero de concreto experimental con el de un mortero de concreto convencional.

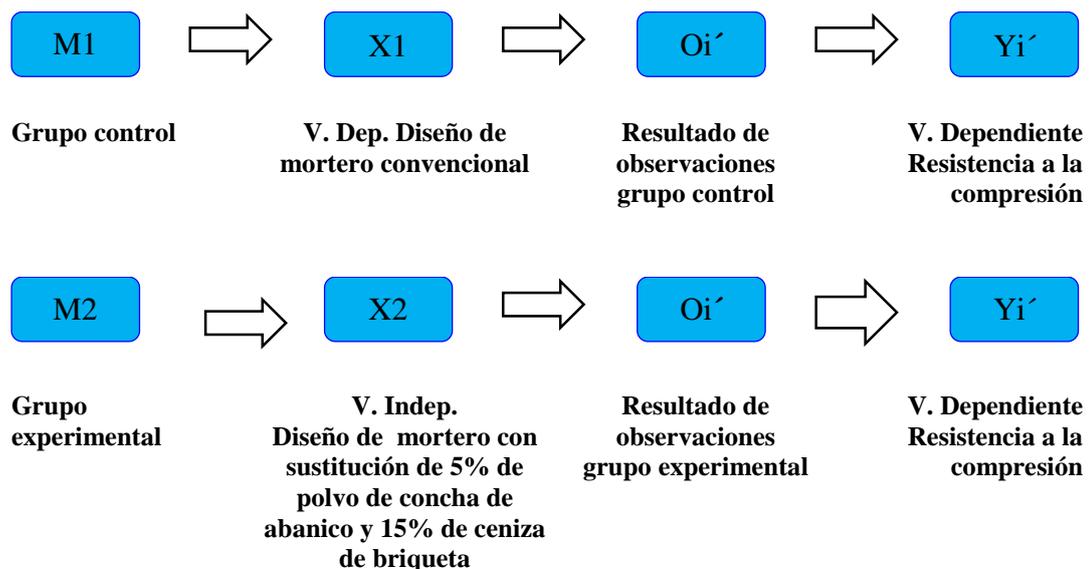


Figura 7 Esquema de diseño de investigación

Donde:

- **M1:** Muestra 1 de Elementos en Grupo control (especímenes mortero de concreto elaboradas con mezcla convencional)
- **M2:** Muestra 2 de Elementos en Grupo Experimental (especímenes mortero de concreto con mezcla experimental de concreto con mezcla experimental, sustituyendo al cemento por 5% de polvo *Argopecten Purpuratus* (concha de abanico) Y 15 % de ceniza de briqueta)
- **X1:** Variable independiente (Diseño de mezcla de mortero elaborado de manera convencional (propiedades).
- **X2:** Variable independiente (Diseño de mezcla de mortero sustituyendo al cemento por 5% de polvo de concha de abanico y 15% de ceniza de briqueta, propiedades)
- **Y1:** Variable dependiente (resistencia a la compresión de un mortero elaborado de manera convencional).
- **Y1:** Variable dependiente (resistencia a la compresión en un espécimen de mortero modificado con una sustitución al cemento por 5% de polvo de concha de abanico y 15% de ceniza de briqueta).
- **O1:** Observaciones (resultados) posibles de obtenerse en grupo control.
- **O1:** Observaciones (resultados) posibles de obtenerse en grupo experimental.

Unidad de análisis: espécimen de mortero.

Población Conjunto de especímenes de mortero elaborada de manera convencional y experimental sustituyendo al cemento por 5% de polvo de concha de abanico y 15% de ceniza de briqueta. Debemos tomar un conjunto de 18 especímenes de mortero como población, debido a que la Cantidad mínima para realizar el ensayo de resistencia a la compresión según normatividad son 3 unidades debiéndose considerar 3 unidades como mínimo por edad (3,14 y 28 días) para dos dosificaciones NTP. 334.051

Muestra. Conjunto de Testigos de mortero con forma de cubo de 5cm de arista seleccionado de manera no aleatoria de acuerdo a sus dosificaciones que serán utilizados en el laboratorio de Mecánica de Suelos para determinar su resistencia a la compresión con el fin de fundamentar nuestra hipótesis.

RESULTADOS

Ensayos físicos de la arena

- ♦ Granulometría:

Tabla 17 *Granulometría de la arena*

N° MALLAS	ARENA MANUFACTURADA				
	PESOS RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA	ARENA MANUFACTURADA (%)
# 4	5.2	1.04	1.04	98.96	100
# 8	94.6	18.92	19.96	80.04	95 - 100
# 16	192.1	38.42	58.38	41.62	70 - 100
# 30	103.5	20.7	79.08	20.92	40 - 75
# 50	49.8	9.96	89.04	10.96	20 - 40
# 100	26.8	5.36	94.4	5.60	10 - 25
# 200	14.1	2.82	97.22	2.78	0 - 10
PLATO	11.5	2.3	99.52	0.48	-
PÉRDIDAS	2.4	0.48	100	0.00	-
TOTAL	500	100			-

Fuente Laboratorio de suelos y pavimentos USP.

- Humedad natural: 0.84 %
- Peso unitario suelto corregido por humedad: 1661 kg/m³
- Peso unitario compactado corregido por humedad: 1822 kg/m³
- Peso específico: 2.71 g/cm³
- Absorción: 0.85

Tabla 18 *Propuesta necesaria para que cumpla con la gradación indicada*

N° MALLAS	ARENA MANUFACTURADA				
	PESOS RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA	ARENA MANUFACTURADA (%)
# 4	0.00	0.00	0.00	100.00	100
# 8	33.00	4.80	4.80	95.20	95 - 100
# 16	171.88	25.00	29.80	70.20	70 - 100
# 30	171.88	25.00	54.80	45.20	40 - 75
# 50	141.63	20.60	75.40	24.60	20 - 40
# 100	27.50	4.00	79.40	20.60	10 - 25
# 200	110.00	16.00	95.40	4.60	0 - 10
PLATO	31.63	4.60	100.00		-
TOTAL	687.50	100.00			-

Fuente Elaboración propia

Análisis de Ph.

- Ceniza de briqueta: 6.78%
- Polvo de concha de abanico: 13.42%
- Cemento Pacasmayo TIPO I 100%: 13.51%
- Cemento Pacasmayo TIPO I sustituido por 15% de ceniza de briqueta y 5% de polvo de concha de abanico: 13.32%

Composición química por FRDX

Tabla 19 *Composición elemental de la muestra de ceniza de briquetas*

Óxido	(% Óxidos)	(% Normalizado)
Al ₂ O ₃	12.972	17.420
SiO ₂	52.171	70.061
SO ₂	0.262	0.352
K ₂ O	1.477	1.982
CaO	2.273	2.918
TiO ₂	0.409	0.549
V ₂ O ₅	0.024	0.033
MnO	0.091	0.122
Fe ₂ O ₃	4.711	6.326
Co ₃ O ₄	0.010	0.013
Ni ₂ O ₃	0.008	0.011
CuO	0.010	0.013
ZnO	0.009	0.013
Rb ₂ O	0.010	0.013
SrO	0.038	0.051
ZrO ₂	0.025	0.033
BaO	<u>0.066</u>	<u>0.088</u>
Totales	74.465	100.000

Fuente Laboratorio de Arquiometria UNMSM.

Tabla 20 Composición elemental de la muestra de polvo de *Argopecten Purpuratos*

Óxido	(% Óxidos)	(% Normalizado)
Al ₂ O ₃	16.283	17.982
SiO ₂	1.481	1.635
P ₂ O ₅	0.051	0.056
SO ₂	0.649	0.717
ClO ₂	0.059	0.066
CaO	71.848	79.343
TiO ₂	0.009	0.009
Cr ₂ O ₃	0.002	0.003
Fe ₂ O ₃	0.010	0.013
Ni ₂ O ₃	0.008	0.011
ZnO	0.008	0.009
SrO	0.153	0.168
ZrO ₂	0.027	0.029
Nd ₂ O ₃	<u>0.021</u>	<u>0.023</u>
Totales	90.554	100.000

Fuente Laboratorio de Arquiometria UNMSM

Ensayo de fluidez

- Mortero patrón: 7.23 %
- Mortero experimental: 7.40%

Dosificación muestra patrón y experimental

Tabla 21 Proporción de materiales utilizado

Descripción	Relación		Agregado Fino (gr.)	Aglomerante			Agua (gr.)
	Arena Cemento	Agua Cemento		Cemento (gr.)	Polvo de Concha de Abanico 5% (gr.)	Cenizas de Briqueta 15% (gr.)	
Patrón	2.75	0.485	687.50	250.00	0.00	0.00	121.30
Experimental	2.75	0.537	687.50	200.00	12.50	37.50	134.30
Fluidez Patrón	2.75	0.485	458.40	166.70	0.00	0.00	80.80
Fluidez Exper.	2.75	0.537	458.40	133.40	8.30	25.00	89.50

Fuente Elaboración propia

Análisis térmico diferencial

- Temperatura de calcinación de la concha de abanico = 700 ° C

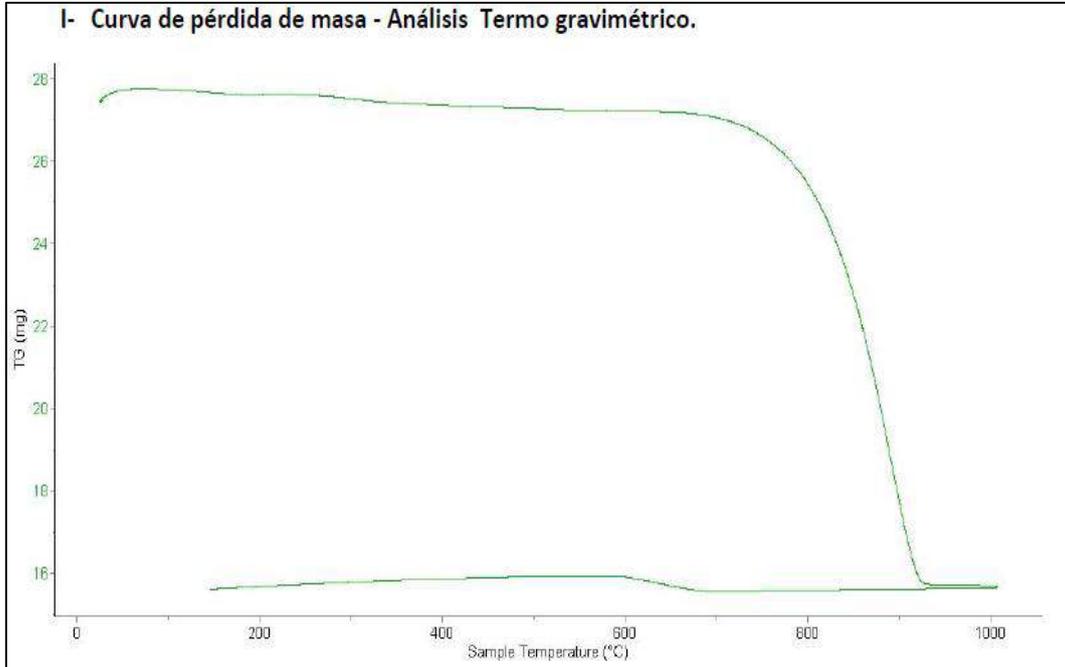


Figura 8 Curva de pérdida de masa de la Concha de abanico

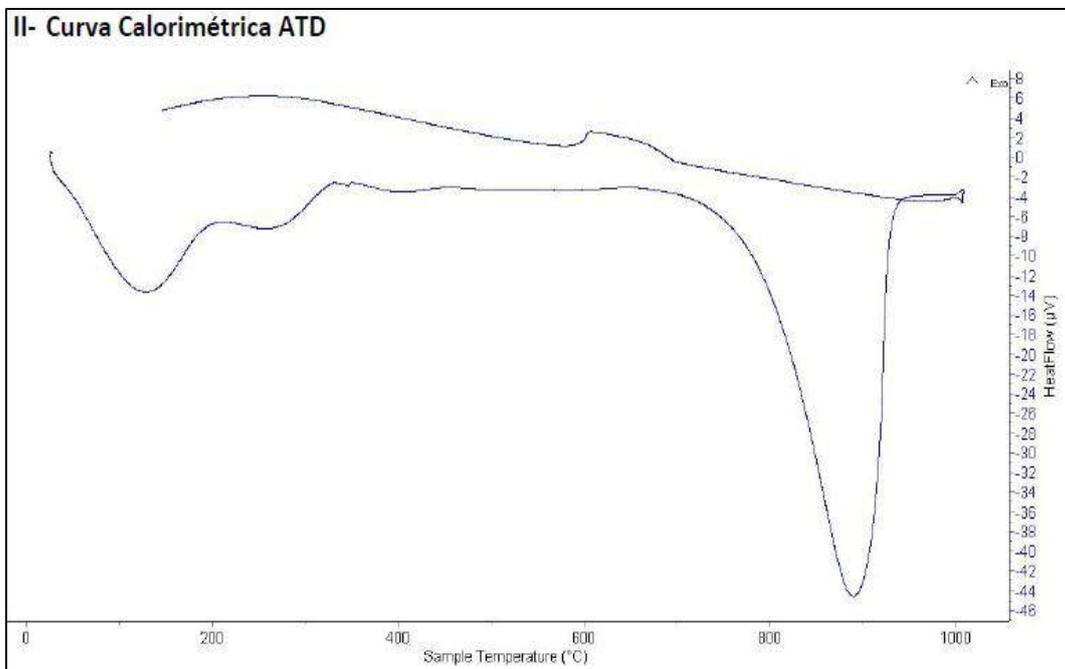


Figura 9 Curva calorimétrica de la Concha de abanico

- Temperatura de calcinación de la briqueta = 570 °C

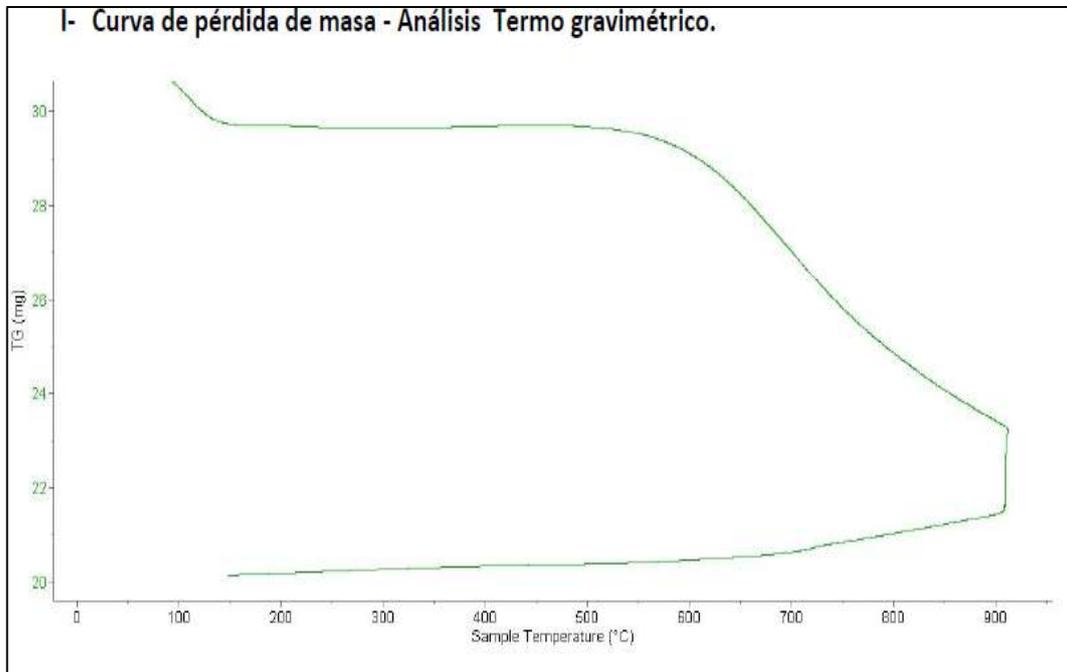


Figura 10 Curva de pérdida de masa de la ceniza de Briqueta

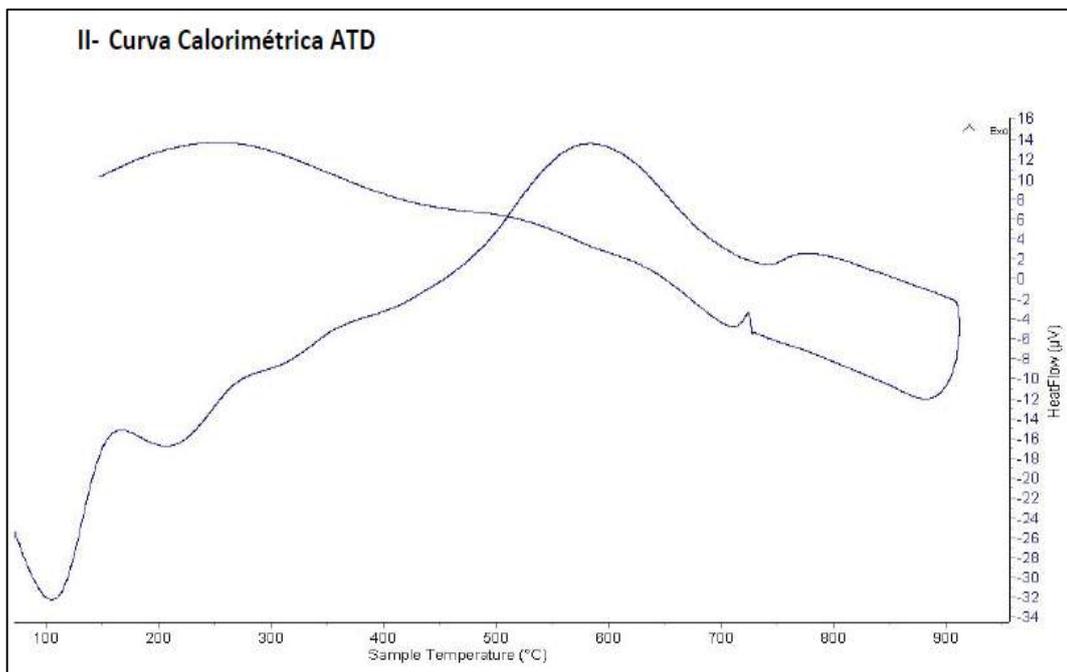


Figura 11 Curva calorimétrica de la ceniza de Briqueta

Tabla 22 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión

N° Días	Tipo de muestra	Fecha de moldeo	Fecha de rotura	Dimensiones			Peso al desmoldar (gr)	Peso después del curado (gr)	Área (cm ²)	Carga máxima (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia promedio (Kg/cm ²)	Resistencia (%)	Dispersión (%)	Desv. estand.	Coef. variación
				Lado 1 (cm)	Lado 2 (cm)	Lado 3 (cm)										
PATRÓN																
3	PATRÓN -1	11/12/17	14/12/17	5.00	5.01	5.00	303.40	304.90	25.05	7920.00	316.17	303.39	65.17	7.46	11.41	3.76
	PATRÓN -2	11/12/17	14/12/17	5.01	5.00	5.00	302.60	304.10	25.05	7370.00	294.21					
	PATRÓN -3	11/12/17	14/12/17	5.02	5.01	5.01	301.80	303.30	25.15	7540.00	299.80					
7	PATRÓN -1	07/12/17	14/12/17	5.00	5.02	5.01	302.00	303.50	25.10	8940.00	356.18	363.90	78.17	4.14	7.40	2.03
	PATRÓN -2	07/12/17	14/12/17	5.02	5.01	5.01	301.90	303.10	25.15	9170.00	364.61					
	PATRÓN -3	07/12/17	14/12/17	5.01	5.01	5.01	301.80	303.00	25.10	9310.00	370.91					
28	PATRÓN -1	16/11/17	14/12/17	5.03	5.03	5.03	317.50	318.80	25.30	11530.00	455.72	465.53	100.00	4.61	10.58	2.27
	PATRÓN -2	16/11/17	14/12/17	5.02	5.01	5.01	317.50	317.80	25.15	11990.00	476.74					
	PATRÓN -3	16/11/17	14/12/17	5.03	5.02	5.03	319.50	321.10	25.25	11720.00	464.15					
EXPERIMENTAL																
3	EXP-1	11/12/17	14/12/17	5.01	5.04	5.01	310.50	312.40	25.25	5020.00	198.81	206.70	44.40	8.75	8.80	4.26
	EXP-2	11/12/17	14/12/17	5.05	5.03	5.03	310.20	312.10	25.40	5210.00	205.11					
	EXP-3	11/12/17	14/12/17	5.03	5.03	5.01	309.80	310.70	25.30	5470.00	216.20					
7	EXP-1	07/12/17	14/12/17	5.02	5.01	5.05	319.00	320.00	25.15	9100.00	361.83	372.72	80.06	5.84	10.58	2.84
	EXP-2	07/12/17	14/12/17	5.04	5.01	5.03	318.60	320.50	25.25	9670.00	382.96					
	EXP-3	07/12/17	14/12/17	5.02	5.01	5.01	319.50	320.10	25.15	9390.00	373.36					
28	EXP-1	16/11/17	14/12/17	5.01	5.01	5.02	303.20	303.80	25.10	12190.00	485.66	483.58	103.88	2.65	6.55	1.35
	EXP-2	16/11/17	14/12/17	5.01	5.00	5.01	304.80	305.40	25.05	11930.00	476.25					
	EXP-3	16/11/17	14/12/17	5.02	5.00	5.02	304.80	305.00	25.10	12270.00	488.84					

Fuente Laboratorio de suelos y pavimentos USP.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Las propuestas para la gradación de arena cumplen con las proporciones de los tamices especificados en la NTP 399.607 pasando el 100% del agregado por la malla N° 4 de igual forma las mallas 50 y 100 no retienen más del 25% obteniendo un módulo de fineza de 2.44 para una relación arena/cemento igual a 2.75

Para la elaboración de una unidad de mortero el MTC E617. Específica utilizar 166.7 gr de cemento con una relación agua /cemento de 0.485, a partir de esto se determina la cantidad de agua a usar en el mortero patrón:

Agua = $166.7 * 0.485 = 80.8$ gr (r. a/c = 0.485) con el cual se obtuvo una fluidez de 7.23%

Para determinar la relación agua cemento con las proporciones de los materiales para el diseño de mezcla experimental se buscó un porcentaje de fluidez cercana al del mortero patrón, obteniendo una fluidez igual a 7.41%. A partir de esa fluidez se estableció el incremento de agua en 10.77% generando una relación a/c de 0.537 con respecto a la relación a/c del mortero patrón esto debido a que la ceniza de briqueta por su consistencia porosa y el polvo de concha de abanico para su hidratación requieren una mayor cantidad de agua

La reducción del valor del Ph. de la mezcla de cemento sustituido por 5% de polvo de concha de abanico y 15% de ceniza de briqueta fueron poco significativas con respecto al PH del cemento portland tipo I, esto debido a que la ceniza de briqueta utilizada en esta investigación tiene un Ph. ligeramente ácido de 6.78. Rodríguez W. (2010) indica que la formación de óxidos de azufre producida durante el proceso de combustión, se elimina parcialmente por adición de compuestos de calcio,

La Tabla 19 y Tabla 20 del ensayo de FDRX muestra la composición química de la ceniza de briqueta y concha de abanico respectivamente donde se refleja el bajo porcentaje de óxido de calcio igual a 2.918% este déficit se contrarresta con la adición de polvo de concha de abanico con un porcentaje igual a 79.34% de igual forma se visualiza que la ceniza de briqueta tiene mayor concentración de silicio de 70.061% en comparación al polvo de concha de abanico con un porcentaje de 1.635% en

conclusión el óxido de calcio contrarresta la presencia de óxidos de azufre en la ceniza de briqueta y a su vez acelera el tiempo de fraguado del concreto y el óxido de silicio le brinda mayor resistencia a edades prolongadas.

Blas, W., Avendaño, S., Prieto, M. (2002). Determino que a 800 ° C durante 4 horas se obtiene 62% de óxido de calcio, en esta investigación el ensayo de ATD. En la curva termo gravimétrica Figura 7 determinó que la concha de abanico muestra una estabilidad térmica desde la temperatura ambiente hasta los 700° C en donde a partir del cual el material empieza a descomponerse y con ello a perder masa, el material llega a perder un total de 46% de masa con respecto al inicial cuando alcanza la máxima temperatura de ensayo. La curva del análisis calorimétrico Figura 8 muestra un pico de absorción térmico a aproximadamente 110° C, posteriormente a una temperatura de aproximadamente 895° C se muestra un gran pico endotérmico con una gran posibilidad de existir cambio y en las características del material. En conclusión, la concha de abanico se activa a 700 ° C durante 2 1/2 horas para obtener 79.34% de óxido de calcio

Por otra parte, la termo gravimetría de la ceniza de briqueta Figura 9 muestra una importante estabilidad térmica desde la temperatura ambiente hasta los 570° C después el material empieza a descomponerse progresivamente y como consecuencia de ello llega a perder un total de 28% de masa con respecto al inicial cuando alcanza la máxima temperatura. La curva del análisis calorimétrico Figura10 muestra un pico de absorción térmico a aproximadamente 100°C, posteriormente se muestra una banda de liberación calorífica aproximadamente a 580° C indicando un posible cambio de fase y cambio en las características del material.

En la Tabla 28 se observa que para ninguna edad la dispersión de la resistencia a la compresión en el grupo de especímenes supera el 10% cumpliendo con lo establecido en NTP 334.051:2006. A su vez se verifica que el promedio de variabilidad de la resistencia a la compresión de los especímenes de mortero con respecto a su resistencia promedio equivale de manera porcentual a 2.27% a los 28 días de edad para las muestras con diseño patrón y 1.35% a los 28 días de edad para las muestras con diseño experimental

Al observar la figura 12 se puede determinar que a los tres días de curado la resistencia a la compresión promedio de las unidades de mortero experimental no superó a los del mortero patrón, sin embargo a los 14 días se observa un leve incremento de 363.90 Kg/cm² a 372.72 kg /cm², y con respecto a los 28 días existe un incremento más significativo con un promedio de 465.53 Kg/cm² para las muestras de mortero experimentales a 483.48 Kg/cm² para las muestras elaboradas de forma convencional

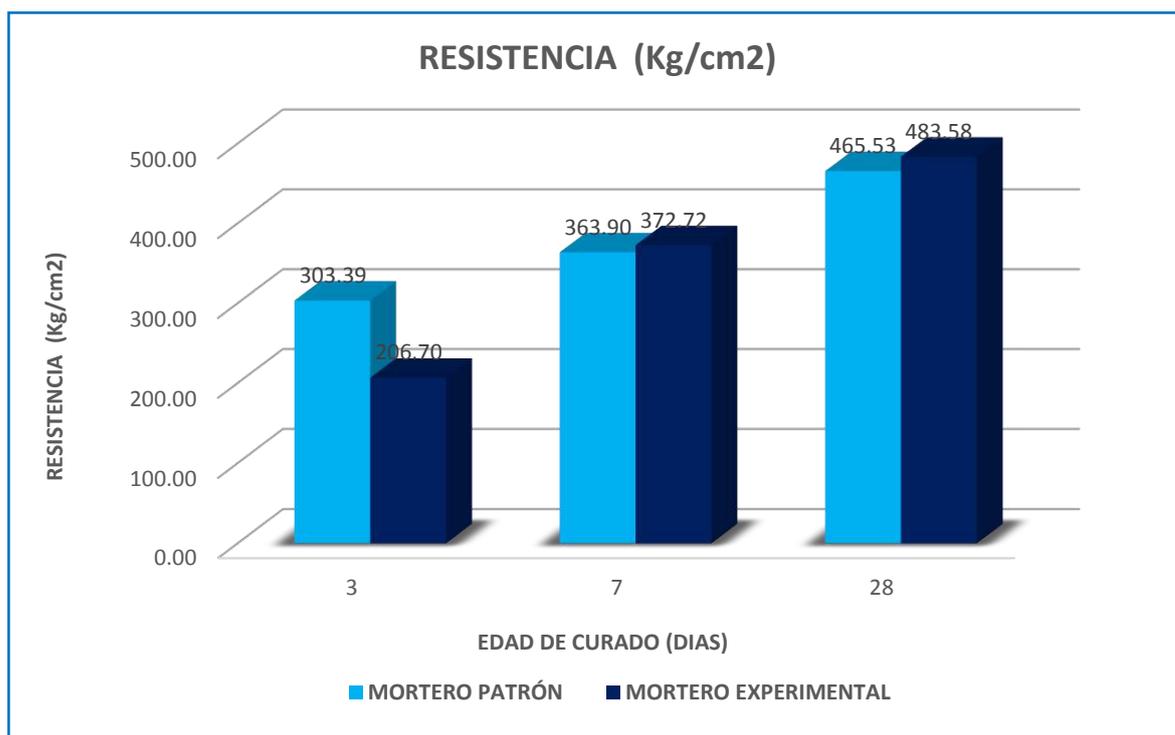


Figura 12 Resistencia promedio a la compresión

La figura 13 refleja que la resistencia incrementa de forma paulatina a través de los días de curado demostrando así que a los 28 días de edad el promedio de la resistencia a la compresión de las unidades de mortero experimental superan en 3.88 % a las unidades de mortero patrón

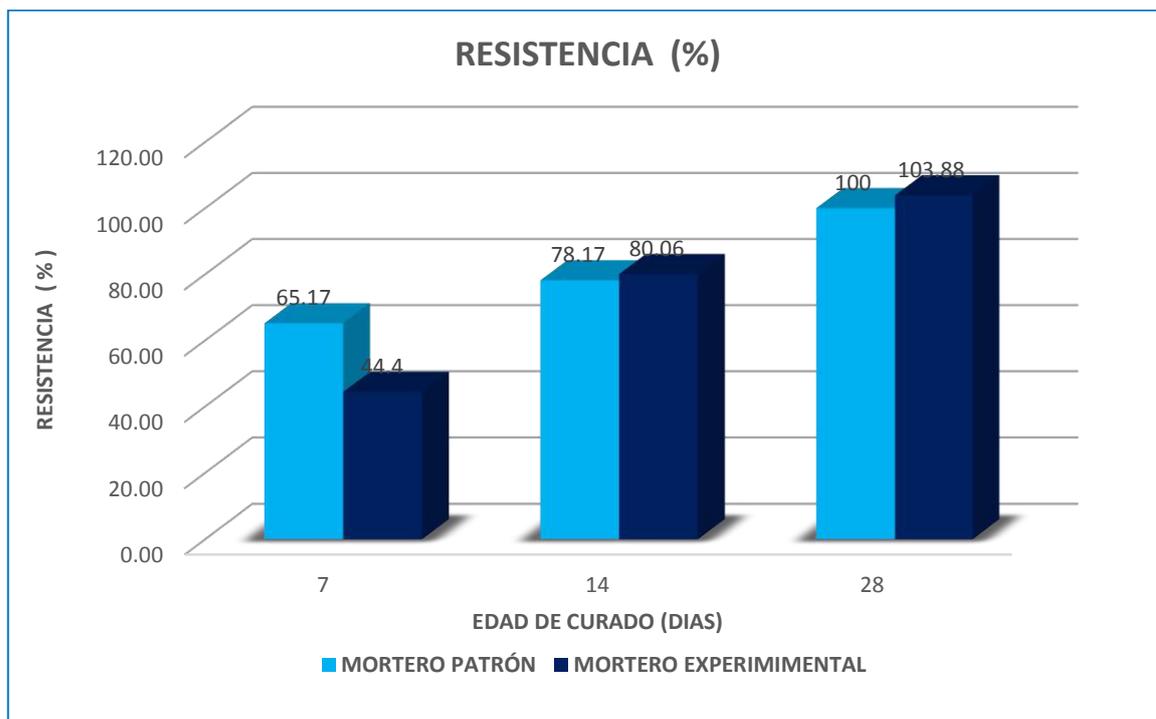


Figura 13 Porcentaje resistencia a la compresión

En forma global se puede decir que la resistencia a la compresión de las muestras de mortero elaboradas con un diseño experimental presentan una leve superioridad en comparación a las elaboradas con un diseño convencional, esto se debe al aporte que brindan las propiedades puzolanas de la ceniza de briqueta y concha de abanico, influenciando en los resultados a edades prolongadas.

Validación estadística

Tabla 23 Resistencias a la compresión de cubos de mortero experimental

Días de curado	Resistencia de mortero con polvo de concha de abanico y ceniza de briqueta	
	0%	Mezcla (5% concha de abanico y 15% ceniza briqueta)
3	303,39	206,70
7	363,90	372,72
28	465,53	483,58

Fuente Laboratorio de suelos y pavimentos USP.

En la tabla 24 se puede apreciar que las resistencias a la compresión de los cubos de mortero son mayores a los 28 días de curado. Después de verificar el cumplimiento de los supuestos de normalidad con Shapiro-Wilk (con $p > 0.05$ para las dos muestras) y homogeneidad de varianzas con la prueba F ($p = 0.587$, $p > 0.05$) de las resistencias medias obtenidas en los cubos de mortero para cada tratamiento (sustitución de un porcentaje de cemento por una mezcla de polvo de concha de abanico y ceniza de briqueta ceniza) se procedió a realizar la prueba ANOVA.

Tabla 24 Cálculo de la prueba ANOVA para verificar las diferencias entre las medias de las resistencias a la compresión de los cubos de mortero.

Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig
Mezcla	4824.036	1	4824.036	2.297	0.269
Días de curado	51124.872	2	25562.436	12.172	0.076
Error	4200.261	2	2100.131		
Total	60149.170	5			

Fuente Laboratorio de suelos y pavimentos USP.

En la tabla 25 se puede visualizar que para la sustitución de cemento por una mezcla de 5% de polvo de concha de abanico y 15% de ceniza de briqueta, el $p\text{-valué} > \alpha$ ($p = 0.269$, $p > 0.05$) entonces podemos decir que los datos muestran suficientes evidencias para aceptar la hipótesis nula (las resistencias medias son iguales). También se tienen que para los días de curado $p\text{-valué} > \alpha$ ($p = 0.076$, $p > 0.05$) entonces podemos decir que no existe un efecto significativo en las resistencias medias de los cubos de mortero a consecuencias de los días de curado.

CONCLUSIONES

La gradación de la arena proponiendo una cantidad adecuada de material retenido en los tamices que indica la NTP.399.607 cumplió con el módulo de fineza menor a 2.75

Luego de activar mecánicamente las conchas de abanicos y ceniza de briqueta fueron sometidas a procesos de calcinación controlada a una temperatura máxima de 700°C y 570° respectivamente con un tiempo de permanencia 2 ½ horas obteniéndose 79.34% de óxido de calcio (CaO), del polvo de concha de abanico y 70.061% de óxido de silicio (SiO₂) de la ceniza de briqueta.

La combinación del cemento concha de abanico y ceniza de briqueta en 80,5 Y 15% respectivamente contiene un alto potencial de hidrogeno de 13.36% lo cual le hace un material altamente alcalino.

La porosidad de los compuestos a sustituir como son la ceniza de briqueta y polvo de concha de abanico. Permitieron un incremento de agua de 10.72 % para las muestras experimentales Con esto se obtuvo una relación a/c de 0.537 con una fluidez semejante a la mezcla patrón partir de una relación a/c de 0.485

Los especímenes de mortero experimental en el ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días de curado presentan un incremento de 3.88 % de su resistencia, con respecto a las unidades de mortero patrón. Por lo que podemos concluir que con nivel de 5% de significancia las resistencias medias en kg/cm² logradas en los cubos de mortero, con sustitución del cemento por una mezcla de polvo de *Argopecten Purpuratos* (concha de abanico) y ceniza de briqueta en 5% y 15% respectivamente, son iguales. Es decir, no existe una diferencia significativa entre las resistencias medias de los cubos de mortero.

RECOMENDACIONES

Con el fin de mejorar los resultados obtenidos de las muestras experimentales Se recomienda incrementar el porcentaje de sustitución de polvo de concha de abanico esto aumentara la alcalinidad de la mezcla de mortero que influye directamente en su resistencia a la compresión

De igual modo se sugiere ser riguroso con la gradación de la arena. Hacer una selección adecuada del tamaño de las partículas, para una mezcla de mortero influye directamente el requerimiento de agua, por lo tanto, da mejores resultados en cuanto a trabajabilidad y resistencia a la compresión se refiere.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM: C 270 – 91a. *Especificación estándar para mortero usado en mampostería*
- Blas, W., Avendaño, S. y Prieto, M. (2002). *Aprovechamiento de residuos en el procesamiento de la concha de abanico (*Argopecten Purpuratus*) en la Bahía de Paracas.*
- Blesa, J. (2002). *Briqueteado de lignitos con aditivos. Seguimiento fisico-químico del proceso* (Tesis doctoral). Instituto Carboquímica, Zaragoza España
- Conchas de abanico, (2010) recuperado el 15 de octubre del 2017 de:
http://perufish.blogspot.com/2010/04/conchas-de-abanico_29.html
- García, A. (1997). *Reducción de NOx con briquetas de carbón.* (Tesis doctoral) universidad de alicante. España.
- Gere, J. y Goodno, B. (2013). *Mecánica de materiales* octava edición. (Obra original publicada en el 2013), por Cengage Learning Editores S.A. México.
- Gonzales, H. (2017). *Resistencia del mortero con cemento sustituido por el 13% por una combinación de arcilla y concha cuchara* (Tesis de Título). Universidad San Pedro.
- IMCYC (enero 2011). *Cemento para albañilería (Mortero)*
- Julián C. et. al. (2015). *Resistencia de nuevos materiales para sustituir el cemento en concreto.*
- Julián, C. et. al. (2011). *sustitución parcial del cemento por residuos calcáreos de *Argopecten Purpuratus* (Conchas de abanico) en mezclas de concreto.*
- Mendo, J., Wolff, M., Carbajal, W., Gonzáles, I. y Badjeck, M. (2008). *Manejo y explotación de los principales bancos naturales de concha de abanico (*Argopecten Purpuratus*) en la costa Peruana.* En A. Lovatelli, A. Farías e I. Uriarte (eds).
- NTP 334.003 (1998). *Cementos. Procedimiento para la obtención de pastas y morteros de consistencia plástica por mezcla mecánica.*

- NTP 334.006 (2013). *Cementos. Determinación del tiempo de fraguado del cemento hidráulico utilizando agua de vicat.*
- NTP 334.048 (2014). *Cementos. Determinación del contenido de aire en morteros de cemento hidráulico*
- NTP 334.051(2006). *Cementos: método de Ensayo para determinar la Resistencia a la Compresión de morteros de cemento portland usando especímenes cúbicos de 50 mm de lado.*
- NTP 334.052 (2008). *Cementos. Método de ensayo para determinar el falso fraguado del cemento. Método de la pasta*
- NTP 334.057 (2002). *Cementos. Métodos de ensayo para determinar la fluidez de morteros de cemento portland.*
- NTP 334.076 (1997). *Cementos. Aparatos para la determinación de los cambios de longitud de pastas de cementos y morteros fraguados. Requisitos.*
- NTP 334.147 (2004). *Cementos. Especificaciones normalizadas del cemento para mortero.*
- NTP 400.011 (2008). *Agregados. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos). 2ª Edición*
- NTP 400.012 (2013). *Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. 3ª Edición*
- NTP 400.017 (2011). *Agregados. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados. 3a. Edición (Basada ASTM C 29/C29M-2009)*
- NTP 400.022 (2013). *Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. 3a Edición*
- Rivera, L. y Gerardo, A. (2013). *Concreto Simple*. Popayán. unicauca. Editorial unicauca.

Rodríguez, W. (2010). *Optimización de producción de briquetas de carbón y biomasa*
(Tesis de título). Universidad nacional de ingeniería.

Sánchez, G. y Rodríguez, D. (2011). *Tecnología de Concreto y Mortero*.

Vásquez (2011) *Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento*.

Zuluaga (2013). *Agregados para el concreto*.

ANEXO



Figura 14 Obtención de muestras de ceniza de briqueta



Figura 15 Obtención de muestras de concha de Abanico



Figura 16 Activación mecánica de las muestras de Briqueta y concha de Abanico



Figura 17 Propuesta de arena manufacturada



Figura 18 Preparación de la mezcla de mortero



Figura 19 Ensayo de fluidez patrón



Figura 20 Ensayo de fluidez experimental



Figura 21 Unidades de mortero patrón



Figura 22 Unidades de mortero experimental



Informe N°124-LAQ/2017

Análisis de una muestra de ceniza de briquetas de carbón mineral por fluorescencia de rayos-X dispersiva en energía (FRXDE).

Introducción.

Se analizó por fluorescencia de rayos-X dispersiva en energía (FRXDE) una muestra de ceniza de briquetas de carbón mineral del Sr. Mark Steven Luna Mendieta, alumno de la Universidad San Pedro, sede Chimbote, y como parte de su proyecto de tesis titulada:

“Resistencia a la compresión de un mortero sustituyendo al cemento por 5% de polvo de *Argopecten purpuratos* (concha de abanico) y 15% de ceniza de briqueta”

La muestra es de color crema y en forma de polvo.

Arreglo experimental.

Se utilizó un espectrómetro de FRXDE marca Amptek con ánodo de oro que operó a un voltaje de 30 kV y una corriente de 15 μ A. Los espectros se acumularon durante un intervalo neto de 300 s utilizando 2048 canales, con ángulos de incidencia y salida de alrededor de 45°; distancia muestra a fuente de rayos-X de 4 cm y distancia de muestra a detector de 2 cm. La tasa de conteo, la cual depende de la geometría del arreglo experimental y de la composición elemental de la muestra, fue de alrededor de 2460 cts/s

Esta técnica permite detectar la presencia de elementos químicos de número atómico Z igual y mayor que 13 mediante la detección de los rayos-X característicos que emiten los átomos. Las energías de estos rayos-X característicos aumentan con el valor de Z y pueden ser detectados siempre y cuando posean suficiente energía para poder penetrar la ventana del detector. Por esta limitación los picos de Mg (Z=12) no pueden ser registrados en el espectro.

La fuente de rayos-X utilizada emite rayos-X en dos componentes: un espectro con una distribución continua de 0 a 30 keV, y la otra que contiene los rayos-X característicos del tipo K y M de oro que se producen por el bombardeo del ánodo por electrones energéticos. Como consecuencia de esto, los espectros de FRXDE poseen tres componentes principales: una componente continua que es consecuencia de la dispersión por la muestra de los rayos-X de la



componente continua de la fuente, un espectro discreto producido por la dispersión en la muestra de los rayos-X característicos de oro de la fuente, y el espectro discreto de los rayos-X característicos emitidos por la muestra.

La presencia en el espectro de los rayos-X de oro dispersados por la muestra interfiere con la detección de los rayos-X característicos de elementos como germanio, selenio y bromo, a menos que se encuentren en altas concentraciones.

El análisis elemental de las muestras se hace primero de manera cualitativa para identificar la presencia de elementos en la muestra. Para el análisis cuantitativo se utiliza un programa que se basa en el método de parámetros fundamentales y simula todo el arreglo experimental incluyendo: composición elemental de la muestra, geometría experimental, distribución espectral de los rayos-X que emite la fuente y su interacción con la muestra y el proceso de detección. En esta etapa se puede identificar la presencia de picos de rayos-X característicos que pudieron haber pasado inadvertidos en la parte cualitativa por superponerse a picos más intensos. Este programa se calibra usando una muestra de referencia certificada denominada “Suelo de San Joaquín” adquirida de la NIST.

Resultados.

La Figura 1 muestra el espectro de FRXDE de la muestra en línea roja en escala semi-logarítmica. La línea azul representa el espectro simulado. Cubre el rango de energías de 1 a 18 keV que es el rango de interés en este estudio. En el espectro se puede observar la presencia del pico de argón, que es un gas inerte presente en el aire que respiramos.

La Tabla 1 muestra los resultados del análisis elemental de esta muestra de ceniza de briquetas de carbón mineral. Las concentraciones están dadas en % de la masa total en términos de los óxidos más estables que pueden formar y luego se normalizan para dar un total de 100%. Debe recalarse que la técnica da directamente la concentración de los elementos químicos. Estos resultados se utilizan luego para determinar la concentración de los óxidos.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
Laboratorio de Arqueometría

Tabla 1. Composición elemental de la muestra de ceniza de briquetas de carbón mineral.

Óxido	(% Óxidos)	(% Normalizado)
Al ₂ O ₃	12.972	17.420
SiO ₂	52.171	70.061
SO ₂	0.262	0.352
K ₂ O	1.477	1.982
CaO	2.273	2.918
TiO ₂	0.409	0.549
V ₂ O ₅	0.024	0.033
MnO	0.091	0.122
Fe ₂ O ₃	4.711	6.326
Co ₃ O ₄	0.010	0.013
Ni ₂ O ₃	0.008	0.011
CuO	0.010	0.013
ZnO	0.009	0.013
Rb ₂ O	0.010	0.013
SrO	0.038	0.051
ZrO ₂	0.025	0.033
BaO	<u>0.066</u>	<u>0.088</u>
Totales	74.465	100.00

La suma en términos de óxidos no llega al 100% indicando que no se ha detectado picos de algunos elementos livianos, que pueden haber compuesto diferentes que óxidos o hay una deficiencia en la calibración del instrumento.

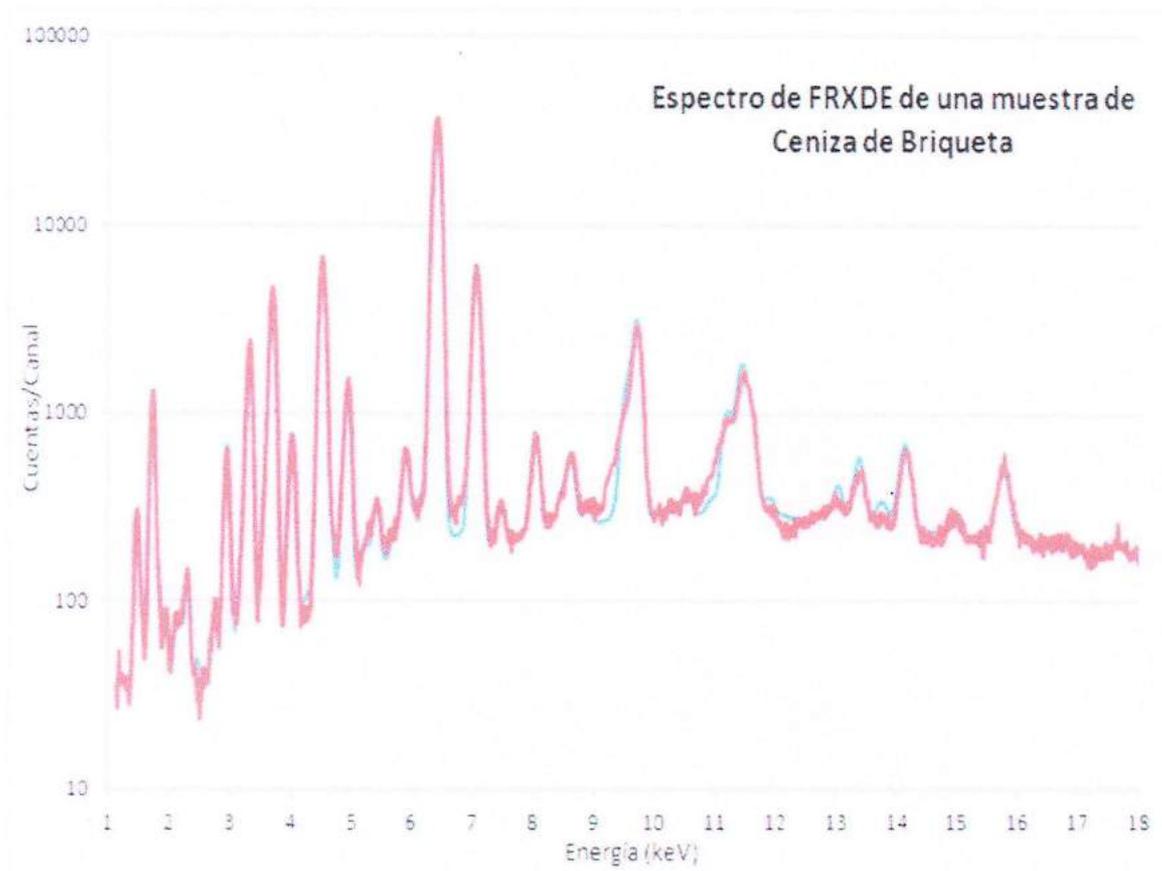


Figura 1. Espectro de FRXDE de una muestra de ceniza de briqueta en escala semi logarítmica. Incluye el pico de Ar del aire y los picos de rayos-X de Au dispersados por la muestra. La curva en azul muestra el espectro simulado

Investigador Responsable:

Dr. Jorge A. Bravo Cabrejos
Laboratorio de Arqueometría



Lima, 28 de diciembre del 2017



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

Laboratorio de Arqueometría

Informe N°125-LAQ/2017

Análisis de una muestra de polvo de concha de abanico por fluorescencia de rayos-X dispersiva en energía (FRXDE).

Introducción.

Se analizó por fluorescencia de rayos-X dispersiva en energía (FRXDE) una muestra de polvo de concha de abanico a pedido del Sr. Mark Steven Luna Mendieta, alumno de la Universidad San Pedro, sede Chimbote, y como parte de su proyecto de tesis titulada:

“Resistencia a la compresión de un mortero sustituyendo al cemento por 5% de polvo de Argopecten purpuratos (concha de abanico) y 15% de ceniza de briqueta”

La muestra está en forma de grano fino de color blanco.

Arreglo experimental.

Se utilizó un espectrómetro de FRXDE marca Amptek con ánodo de oro que operó a un voltaje de 30 kV y una corriente de 10 μ A. Los espectros se acumularon durante un intervalo neto de 300 s utilizando 2048 canales, con ángulos de incidencia y salida de alrededor de 45°; distancia muestra a fuente de rayos-X de 4 cm y distancia de muestra a detector de 2 cm. aprox. La tasa de conteo, la cual depende de la geometría del arreglo experimental y de la composición elemental de la muestra, fue de alrededor de 6900 cts/s

Esta técnica permite detectar la presencia de elementos químicos de número atómico Z igual y mayor que 13 mediante la detección de los rayos-X característicos que emiten los átomos. Las energías de estos rayos-X característicos aumentan con el valor de Z y pueden ser detectados siempre y cuando posean suficiente energía para poder penetrar la ventana del detector. Por esta limitación los picos de Mg (Z=12) no pueden ser registrados en el espectro.

La fuente de rayos-X utilizada emite rayos-X en dos componentes: un espectro con una distribución continua de 0 a 30 keV, y la otra que contiene los rayos-X característicos del tipo K y M de oro que se producen por el bombardeo del ánodo por electrones energéticos. Como consecuencia de esto, los espectros de FRXDE poseen tres componentes principales: una



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

Laboratorio de Arqueometría

componente continua que es consecuencia de la dispersión por la muestra de los rayos-X de la componente continua de la fuente, un espectro discreto producido por la dispersión en la muestra de los rayos-X característicos de oro de la fuente, y el espectro discreto de los rayos-X característicos emitidos por la muestra de acuerdo a los elementos que contiene.

La presencia en el espectro de los rayos-X de oro dispersados por la muestra interfiere con la detección de los rayos-X característicos de elementos como germanio, selenio y bromo, a menos que se encuentren en altas concentraciones.

El análisis elemental de las muestras se hace primero de manera cualitativa para identificar la presencia de elementos en la muestra. Para el análisis cuantitativo se utiliza un programa que se basa en el método de parámetros fundamentales y simula todo el arreglo experimental incluyendo: composición elemental de la muestra, geometría experimental, distribución espectral de los rayos-X que emite la fuente y su interacción con la muestra y el proceso de detección. En esta etapa se puede identificar la presencia de picos de rayos-X característicos que pudieron haber pasado inadvertidos en la parte cualitativa por superponerse a picos más intensos. Este programa se calibra usando una muestra de referencia certificada denominada "Suelo de San Joaquín" adquirida de la NIST.

Resultados.

La Figura 1 muestra el espectro de FRXDE de la muestra en línea roja en escala semi-logarítmica. La línea azul representa el espectro simulado. Cubre el rango de energías de 1 a 18 keV que es el rango de interés en este estudio. En el espectro se puede observar la presencia del pico de argón, que es un gas inerte presente en el aire que respiramos.

La Tabla 1 muestra los resultados del análisis elemental de esta muestra de ceniza de briquetas de carbón mineral. Las concentraciones están dadas en % de la masa total en términos de los óxidos más estables que pueden formar y luego se normalizan para dar un total de 100%. Debe recalcarse que la técnica da directamente la concentración de los elementos químicos. Estos resultados se utilizan luego para determinar la concentración de los óxidos.



Tabla 1. Composición elemental de la muestra de polvo de concha de abanico

en % de masa.

Óxido	% masa	Normalizado
Al ₂ O ₃	16.283	17.982
SiO ₂	1.481	1.635
P ₂ O ₅	0.051	0.056
SO ₂	0.649	0.717
ClO ₂	0.059	0.066
CaO	71.848	79.343
TiO ₂	0.009	0.009
Cr ₂ O ₃	0.002	0.003
Fe ₂ O ₃	0.009	0.010
Ni ₂ O ₃	0.002	0.002
ZnO	0.008	0.009
SrO	0.153	0.168
ZrO ₂	0.027	0.029
Nd ₂ O ₃	0.021	0.023
Totales	90.554	100.00

La suma en términos de contenido de óxidos es menor que 100% indicando que la muestra puede contener compuestos de Na y Mg que esta técnica no detecta y/o contiene compuestos diferentes de óxidos y/o hay una deficiencia en la calibración del instrumento. Para aclarar esta situación se sugiere hacer un análisis por difracción de rayos-X para determinar los compuestos que contiene la muestra.



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
Laboratorio de Arqueometría



Figura 1. Espectro de FRXDE de una muestra de polvo de concha de abanico en escala semi logarítmica. Incluye el pico de Ar del aire y los picos de rayos-X de Au dispersados por la muestra. La curva en azul muestra el espectro simulado

Investigador Responsable:

Dr. Jorge A. Bravo Cabrejos
Laboratorio de Arqueometría



Lima, 28 de diciembre del 2017



INFORME DE ANÁLISIS

SOLICITANTE	: LUNA MENDIETA MARK
MUESTRA	: Cemento, Cenizas de Briquetas, Cenizas de concha de abanico
FECHA DE INGRESO	: 07 DE DICIEMBRE DEL 2017
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

CEMENTO PACASMAYO TIPO I

DETERMINACIONES	Unidades	Resultados
pH	-	13.51

Argopecten purpuratos (cenizas de concha de abanico)

DETERMINACIONES	Unidades	Resultados
pH	-	13.42

Cenizas de briquetas(carbón mineral tarcillo)

DETERMINACIONES	Unidades	Resultados
pH	-	6.78

Cemento 80% ,cenizas de briquetas 15%, concha de abanico 5%

DETERMINACIONES	Unidades	Resultados
pH	-	13.32

TRUJILLO 11 DE DICIEMBRE DEL 2017





Trujillo, 23 de Diciembre del 2017

INFORME N° 123 - DIC 17

Solicitante: Luna Mendieta Mark-- Universidad San Pedro

RUC/DNI:

Supervisor:

1. MUESTRA: Concha abanico (1 gr)

N° de Muestras	Código de Muestra	Cantidad de muestra ensayada	Procedencia
1	CA-123D	28.1 mg

2. ENSAYOS A APLICAR

- Análisis térmico por calorimetría diferencial de barrido DSC/ Análisis térmico Diferencial DTA.
- Análisis Termogravimétrico TGA.

3. EQUIPO EMPLEADO Y CONDICIONES

- Analizador Térmico simultáneo TG_DTA_DSC Cap. Máx.: 1600°C SetSys_Evolution, cumple con normas ASTM ISO 11357, ASTM E967, ASTM E968, ASTM E793, ASTM D3895, ASTM D3417, ASTM D3418, DIN 51004, DIN 51007, DIN 53765.
- Tasa de calentamiento: 20 °C/min
- Gas de Trabajo - Flujo: Nitrógeno, 10 ml/min
- Rango de Trabajo: 25 – 900 °C.
- Masa de muestra analizada: 28.1 mg.

Jefe de Laboratorio:

Ing. Danny Chávez Novoa

Analista responsable:

Ing. Danny Chávez Novoa

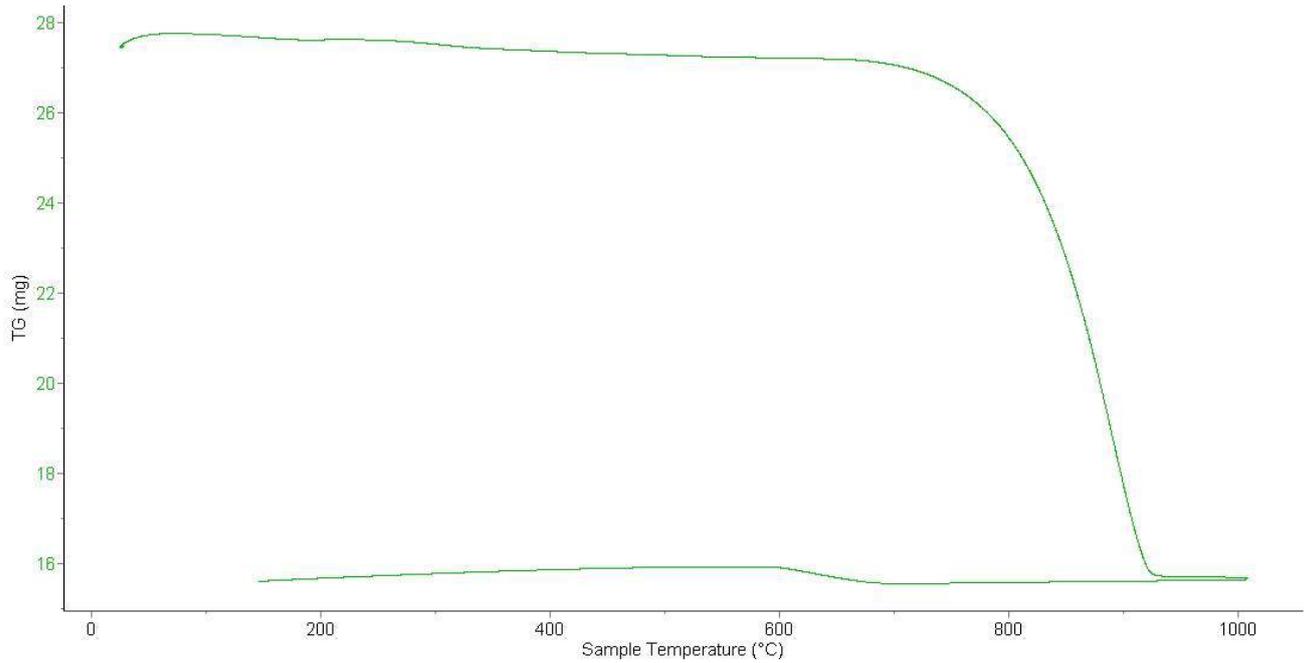


Trujillo, 23 de Diciembre del 2017

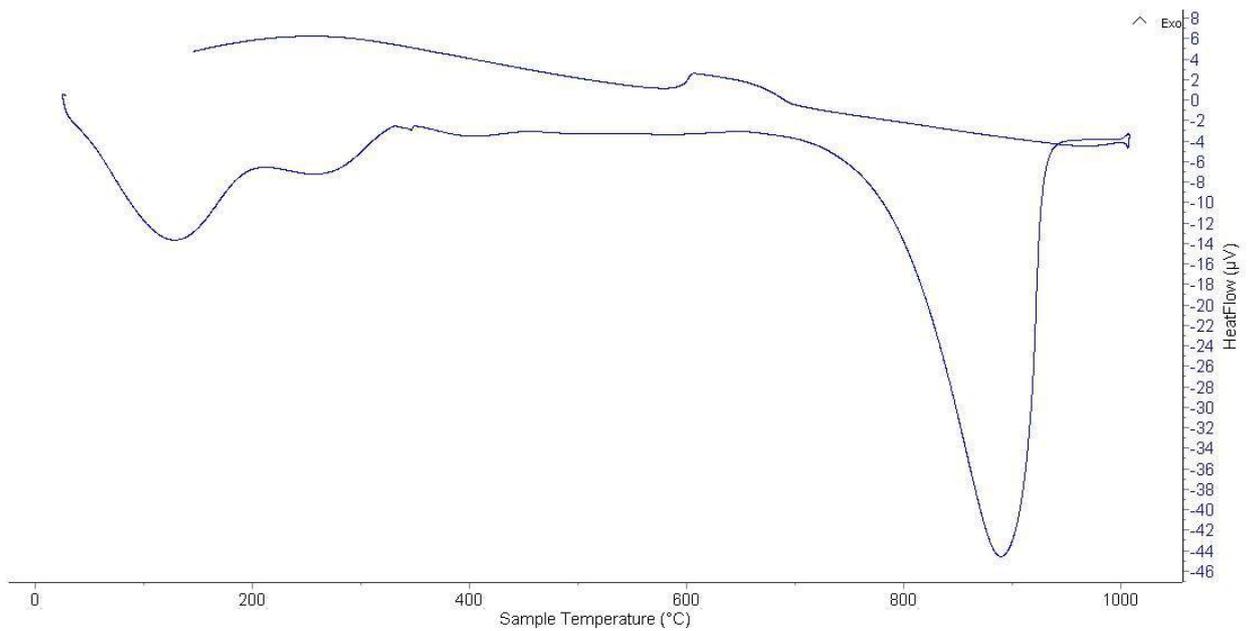
INFORME N° 123 - DIC 17

4. Resultados:

I- Curva de pérdida de masa - Análisis Termo gravimétrico.



II- Curva Calorimétrica ATD





Trujillo, 23 de Diciembre del 2017

INFORME N° 123 - DIC 17

5. CONCLUSION:

1. Según la Termogravimetría se muestra la importante característica de la estabilidad térmica desde la temperatura ambiente hasta los 700°C en donde a partir del cual el material comienza a descomponerse y con ello a perder masa, el material llega a perder un total de 46% de masa respecto al inicial cuando alcanza la máxima temperatura de ensayo.
2. De acuerdo al análisis calorimétrico, la curva muestra un pico de absorción térmica a aproximadamente 110°C, posteriormente a una temperatura de aproximadamente 895°C se muestra un gran pico endotérmico con gran posibilidad de existir cambio estructural y en las características del material.

Trujillo, 23 de Diciembre del 2017

Ing. Danny Mesías Chávez Novoa
Jefe de Laboratorio de Polímeros
Departamento Ingeniería de Materiales - UNT



Trujillo, 23 de Diciembre del 2017

INFORME N° 124 - DIC 17

Solicitante: Luna Mendieta Mark-- Universidad San Pedro

RUC/DNI:

Supervisor:

1. MUESTRA: Briqueta: Carbon mineral +arcilla (1 gr)

N° de Muestras	Código de Muestra	Cantidad de muestra ensayada	Procedencia
1	BR-124D	30.7 mg

2. ENSAYOS A APLICAR

- Análisis térmico por calorimetría diferencial de barrido DSC/ Análisis térmico Diferencial DTA.
- Análisis Termogravimétrico TGA.

3. EQUIPO EMPLEADO Y CONDICIONES

- Analizador Térmico simultáneo TG_DTA_DSC Cap. Máx.: 1600°C SetSys_Evolution, cumple con normas ASTM ISO 11357, ASTM E967, ASTM E968, ASTM E793, ASTM D3895, ASTM D3417, ASTM D3418, DIN 51004, DIN 51007, DIN 53765.
- Tasa de calentamiento: 20 °C/min
- Gas de Trabajo - Flujo: Nitrógeno, 10 ml/min
- Rango de Trabajo: 25 – 900 °C.
- Masa de muestra analizada: 30.7 mg.

Jefe de Laboratorio:

Ing. Danny Chávez Novoa

Analista responsable:

Ing. Danny Chávez Novoa

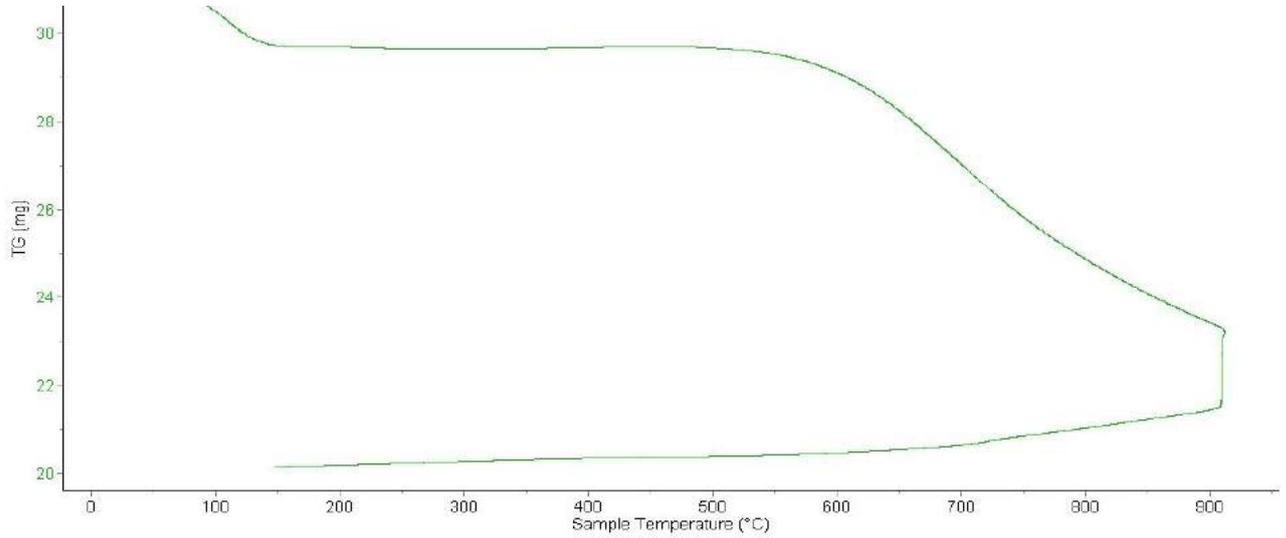


Trujillo, 23 de Diciembre del 2017

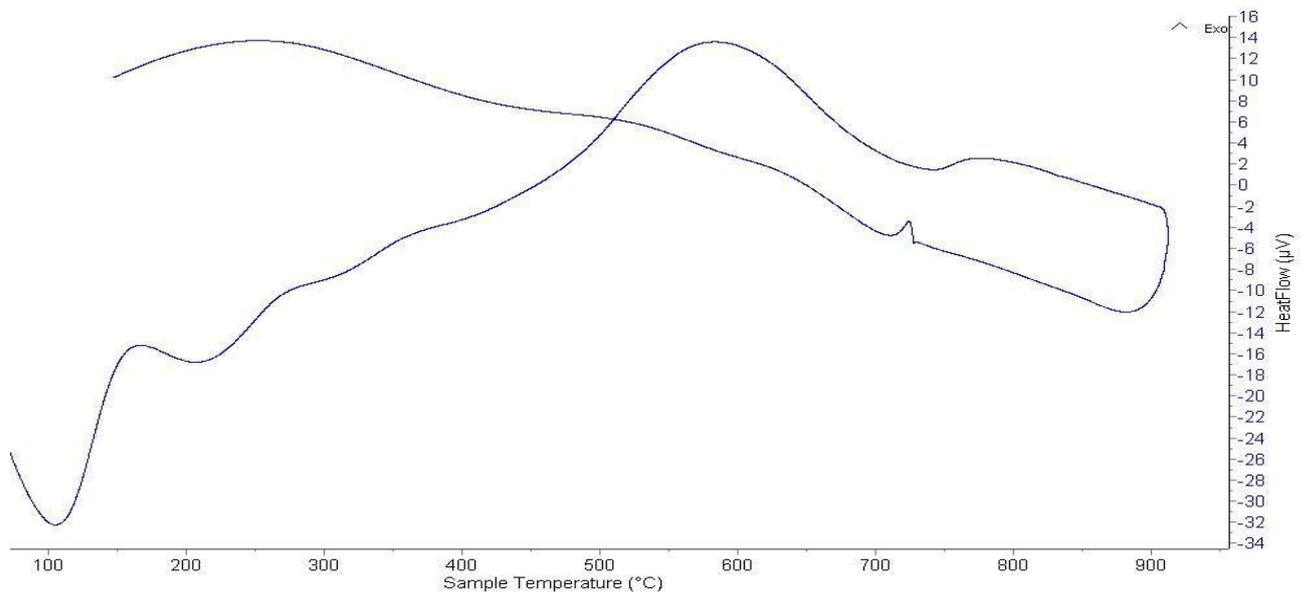
INFORME N° 124 - DIC 17

4. Resultados:

I- Curva de pérdida de masa - Análisis Termo gravimétrico.



II- Curva Calorimétrica ATD





Trujillo, 23 de Diciembre del 2017

INFORME N° 124 - DIC 17

5. CONCLUSION:

1. Según el análisis Termo gravimétrico se muestra una importante estabilidad térmica del material hasta entre 570°C, después el material comienza a descomponerse progresivamente y como consecuencia de ello llega a perder un total de 28% de su masa inicial cuando se alcanza la máxima temperatura de ensayo.
2. De acuerdo al análisis calorimétrico, la curva muestra un pico de absorción térmico a aproximadamente 100°C, posteriormente se muestra una banda de liberación calorífica aproximadamente a 580°C, indicando un posible cambio de fase y cambio en las características del material.

Trujillo, 23 de Diciembre del 2017



Ing. Danny Mesías Chávez Novoa
Jefe de Laboratorio de Polímeros
Departamento Ingeniería de Materiales - UNT



CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO FINO (ASTM D-2216)

SOLICITA : BACH: MARK LUNA MENDIETA
TESIS : RESISTENCIA A LA COMPRESION DE UN MORTERO SUSTITUYENDO AL CEMENTO POR 5% DE POLVO DE ARGOPECTEN PURPURATOS (CONCHA DE ABANICO) Y 15% DE CENIZA DE BRIQUETA
LUGAR : CHIMBOTE – PROVINCIA DEL SANTA – ANCASH
CANTERA : VESIQUE
MATERIAL : ARENA GRUESA
FECHA : 14/11/2017

PRUEBA N°	01	02
TARA N°		
TARA + SUELO HUMEDO (gr)	794	831
TARA + SUELO SECO (gr)	788.8	825.8
PESO DEL AGUA (gr)	5.2	5.2
PESO DE LA TARA (gr)	168.6	204.6
PESO DEL SUELO SECO (gr)	620.2	621.2
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	0.84	0.84
PROM. CONTENIDO HUMEDAD (%)	0.84	

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
JEFATURA
Ing. Jorge Montañez Reyes
JEFE



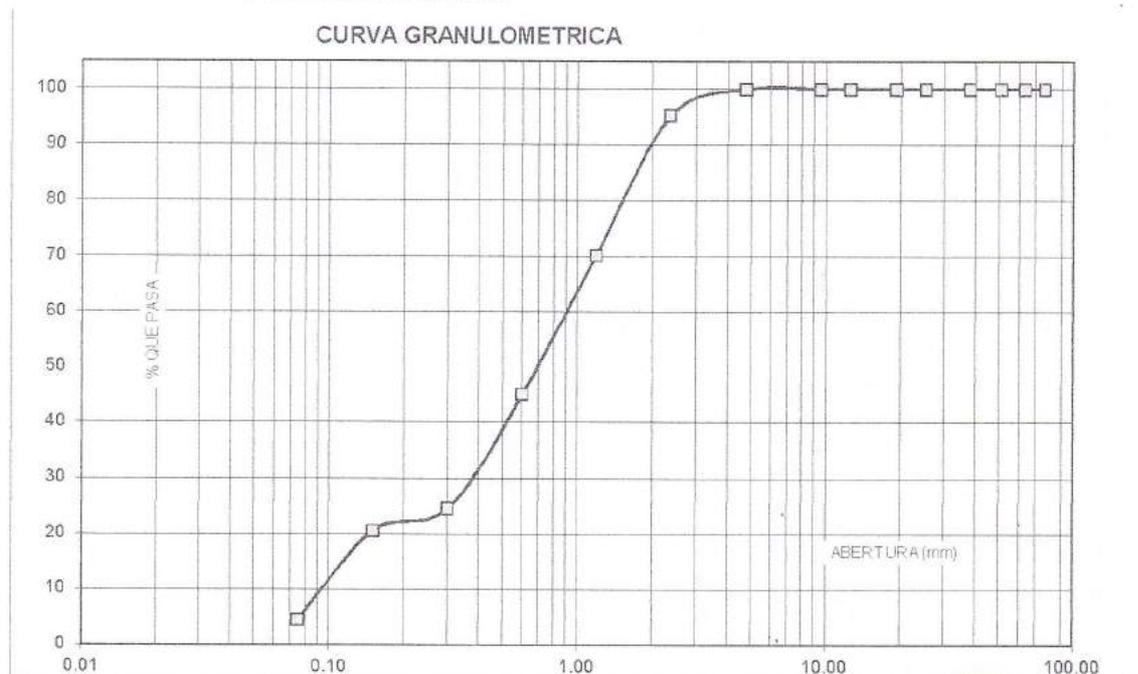
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO (ASTM C 136-06)

SOLICITA : BACH: MARK LUNA MENDIETA
 TESIS : RESISTENCIA A LA COMPRESION DE UN MORTERO SUSTITUYENDO AL CEMENTO POR 5% DE POLVO DE
 ARGOPecten PURPURATOS (CONCHA DE ABANICO) Y 15% DE CENIZA DE BRIQUETA
 LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
 CANTERA : VESIQUE
 MATERIAL : ARENA GRUESA
 FECHA : 14/11/2017

TAMIZ		Peso retenido	% ret. Parcial	% ret. Acumu.	% Que pasa
N°	Abert.(mm)	(gr.)	(%)	(%)	(gr.)
3"	76.20	0.0	0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.50	0.0	0.0	0.0	100.0
2"	50.80	0.0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.10	0.0	0.0	0.0	100.0
1"	25.40	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.10	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.50	0.0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.52	0.0	0.0	0.0	100.0
N° 4	4.76	0.0	0.0	0.0	100.0
N° 8	2.36	33.00	4.8	4.8	95.2
N° 16	1.18	171.88	25.0	29.8	70.2
N° 30	0.60	171.88	25.0	54.8	45.2
N° 50	0.30	141.63	20.6	75.4	24.6
N° 100	0.15	27.50	4.0	79.4	20.6
N° 200	0.08	110.00	16.0	95.4	4.6
PLATO	ASTM C-117-04	31.63	4.6	100.0	0.0
TOTAL		687.5	100.0		

PROPIEDADES FISICAS	
Módulo de Fineza	2.44

OBSERVACIONES
La Muestra tomada identificada por el solicitante.



Finos		Arena			Grava	
Limo y Arcilla	Fina	Media	Gruesa	Fina	Gruesa	



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
 Ing. Jorge Montañez Reyes
 JEFE



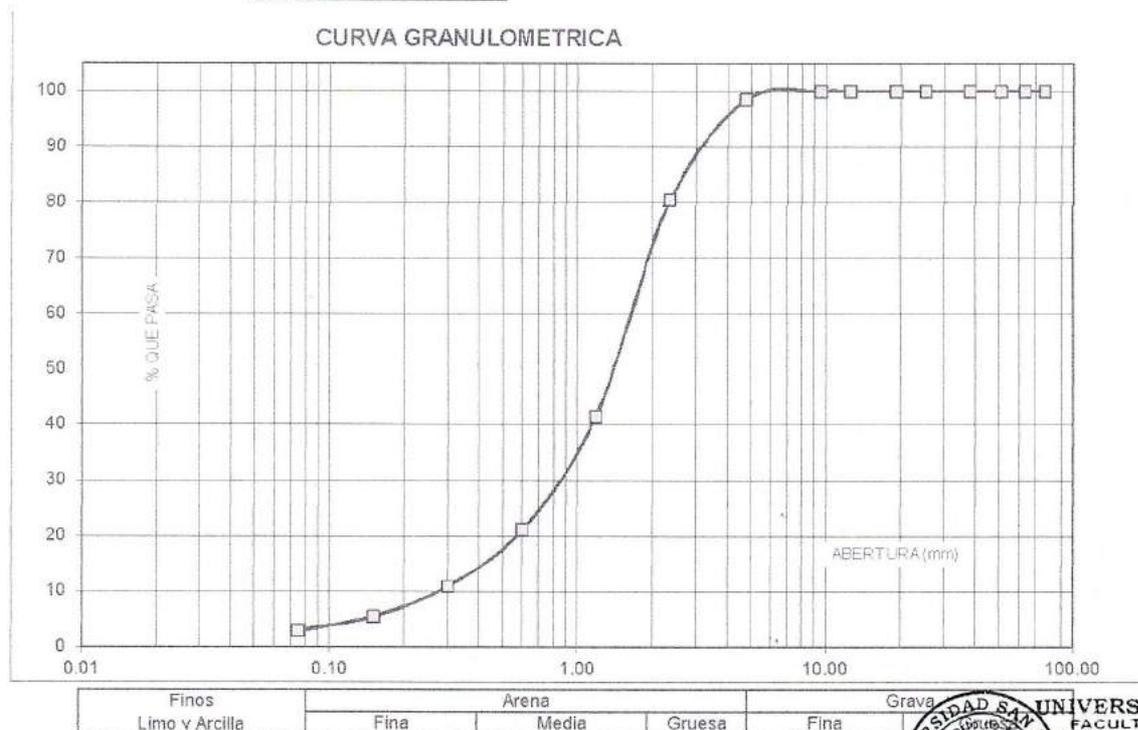
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO (ASTM C 136-06)

SOLICITA : BACH: MARK LUNA MENDIETA
 TESIS : RESISTENCIA A LA COMPRESION DE UN MORTERO SUSTITUYENDO AL CEMENTO POR 5% DE POLVO DE
 ARGOPecten PURPURATOS (CONCHA DE ABANICO) Y 15% DE CENIZA DE BRIQUETA
 LUGAR : CHIMBOTE – PROVINCIA DEL SANTA – ANCASH
 CANTERA : VESIQUE
 MATERIAL : ARENA GRUESA
 FECHA : 14/11/2017

TAMIZ		Peso retenido	% ret. Parcial	% ret. Acumu.	% Que pasa
N°	Abert.(mm)	(gr.)	(%)	(%)	(gr.)
3"	76.20	0.0	0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.50	0.0	0.0	0.0	100.0
2"	50.80	0.0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.10	0.0	0.0	0.0	100.0
1"	25.40	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.10	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.50	0.0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.52	0.0	0.0	0.0	100.0
N° 4	4.76	7.2	1.4	1.4	98.6
N° 8	2.36	90.50	18.1	19.5	80.5
N° 16	1.18	194.60	38.9	58.5	41.5
N° 30	0.60	101.40	20.3	78.7	21.3
N° 50	0.30	51.50	10.3	89.0	11.0
N° 100	0.15	27.00	5.4	94.4	5.6
N° 200	0.08	12.30	2.5	96.9	3.1
PLATO	ASTM C-117-04	15.50	3.1	100.0	0.0
TOTAL		500.0	100.0		

PROPIEDADES FISICAS	
Módulo de Fineza	3.42

OBSERVACIONES
La Muestra tomada identificada por el solicitante.



Finos	Arena			Grava
Limo y Arcilla	Fina	Media	Gruesa	Fina



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
 Ing. Jorge Montañez Reyes
 JEFE



PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO (ASTM C29 / C29M - 09)

SOLICITA : BACH. MARK LUNA-MENIETA
TESIS : RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN MORTERO SUSTITUYENDO AL CEMENTO POR 5% DE POLVO DE
ARCOPECTEN PURPURATUS (CONCHA DE ABANICO) Y 15% DE CENIZA DE BRIQUETA
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
CANTERA : VESIQUE
MATERIAL : ARENA GRUESA
FECHA : 14/11/2017

PESO UNITARIO SUELTO

Ensayo N°	01	02	03
Peso de molde + muestra	7950	8000	8000
Peso de molde	3326	3326	3326
Peso de muestra	4624	4674	4674
Volumen de molde	2780	2780	2780
Peso unitario (Kg/m ³)	1663	1681	1681
Peso unitario prom. (Kg/m³)		1675	
CORREGIDO POR HUMEDAD		1661	

PESO UNITARIO COMPACTADO

Ensayo N°	01	02	03
Peso de molde + muestra	8400	8450	8450
Peso de molde	3326	3326	3326
Peso de muestra	5074	5124	5124
Volumen de molde	2780	2780	2780
Peso unitario (Kg/m ³)	1825	1843	1843
Peso unitario prom. (Kg/m³)		1837	
CORREGIDO POR HUMEDAD		1822	



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
Mark Luna
Ing. Jorge Montañez Reyes
JEPE



GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION AGREGADO FINO
(Según norma ASTM C-127)

SOLICITA : BACH: MARK LUNA MENDIETA
TESIS : RESISTENCIA A LA COMPRESION DE UN MORTERO SUSTITUYENDO AL CEMENTO POR 5% DE POLVO DE
ARGOPECTEN PURPURATOS (CONCHA DE ABANICO) Y 15% DE CENIZA DE BRIQUETA
LUGAR : CHIMBOTE – PROVINCIA DEL SANTA – ANCASH
CANTERA : VESIQUE
FECHA : 14/11/2017

A	Peso de material saturado superficialmente seco (aire) gr.	300.00	300.00
B	Peso de picnometro + agua gr.	666.70	667.70
C	Volumen de masa + volumen de vacios (A+B) cm ³	966.70	967.70
D	Peso de picnometro + agua + material gr.	857.60	857.54
E	Volumen de masa + volumen de vacios (C-D) cm ³	109.10	110.16
F	Peso de material seco en estufa gr.	297.50	297.45
G	Volumen de masa (E-(A-F))	106.60	107.61
H	P.e. Bulk (Base Seca) F/E	2.727	2.700
I	P.e. Bulk (Base Saturada) A/E	2.750	2.723
J	P.e. Aparente (Base Seca) F/E	2.791	2.764
K	Absorción (%) ((D-A/A)x100)	0.84	0.86

P.e. Bulk (Base Seca) : 2.714
P.e. Bulk (Base Saturada) : 2.737
P.e. Aparente (Base Seca) : 2.777
Absorción (%) : 0.85



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales

Ing. Jorge Montañez Reyes
JEFE



**ENSAYO PARA LA DETERMINACION DE FLUIDEZ DE LAS PASTAS DE
MORTERO-PATRON
(MTC E 616-NTP 334.126)**

SOLICITA : BACH. MARK LUNA MENDIETA
TESIS : RESISTENCIA A LA COMPRESION DE UN MORTERO SUSTITUYENDO AL CEMENTO POR 5% DE POLVO DE
ARGOPECTEN PURPURATOS (CONCHA DE ABANICO) Y 15% DE CENIZA DE BRIQUETA
CANTERA : VESIQUE
FECHA : 14/11/2017
RELACION A/C : 0.605

D(FLUIDEZ)	DIAMETRO PROMEDIO	DIAMETRO INICIAL	FLUIDEZ %
10.84	10.90	10.16	7.23
10.77			
11.12			
10.85			

OBSERVACIÓN La fluidez se debe encontrar dentro del rango 110 +/-5%

**UNIVERSIDAD SAN PEDRO**
FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
Jorge Montañez Reyes
Ing. Jorge Montañez Reyes
JEFE



ENSAYO PARA LA DETERMINACION DE FLUIDEZ DE LAS PASTAS DE
MORTERO-EXPERIMENTAL
(MTC E 616-NTP 334.126)

SOLICITA BACH. MARK LUNA MENDIETA.

TESIS RESISTENCIA A LA COMPRESION DE UN MORTERO SUSTITUYENDO AL CEMENTO POR 5% DE POLVO DE
ARGOPECTEN PURPURATOS (CONCHA DE ABANICO) Y 15% DE CENIZA DE BRIQUETA.

CANTERA VESIQUE

FECHA 14/11/2017

RELACION A/C 0.61

D(FLUIDEZ)	DIAMETRO PROMEDIO	DIAMETRO INICIAL	FLUIDEZ %
10.90	10.91	10.16	7.41
11.00			
10.80			
10.95			

OBSERVACIÓN La fluidez se debe encontrar dentro del rango 110 +/-5%



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales

Jorge Montañez Reyes
Ing. Jorge Montañez Reyes
JEFE



ENSAYO A LA COMPRESION DE CUBOS 5.08 cm PATRON (ASTM C 109)

SOLICITA : BACH: MARK LUNA MENDIETA
TESIS : RESISTENCIA A LA COMPRESION DE UN MORTERO SUSTITUYENDO AL CEMENTO POR 5% DE POLVO DE
ARGOPECTEN PURPURATOS (CONCHA DE ABANICO) Y 15% DE CENIZA DE BRIQUETA
LUGAR : CHIMBOTE-SANTA - ANCASH
FECHA : 18/08/2017

N°	TESTIGO ELEMENTO	FECHA DE ROTURA	Peso	Densidad	Longitud	Longitud	Longitud	Area	Carga	Resistencia
			Muestra (gr)	(gr/cm ³)	(a) (cm)	(b) (cm)	(c) (cm)	(a ² b) (cm ²)	Maxima (kg)	f _c (kg/cm ²)
01	PATRON 3 DIAS	14/12/2017	304.9	2.434	5.00	5.01	5.00	25.05	7920.00	316.17
02	PATRON 3 DIAS	14/12/2017	304.1	2.428	5.01	5.00	5.00	25.05	7370.00	294.21
03	PATRON 3 DIAS	14/12/2017	303.3	2.407	5.02	5.01	5.01	25.15	7540.00	299.80
04	PATRON 7 DIAS	14/12/2017	303.5	2.413	5.00	5.02	5.01	25.10	8940.00	356.18
05	PATRON 7 DIAS	14/12/2017	303.1	2.406	5.02	5.01	5.01	25.15	9170.00	364.61
06	PATRON 7 DIAS	14/12/2017	303.0	2.410	5.01	5.01	5.01	25.10	9310.00	370.91
07	PATRON 28 DIAS	14/12/2017	318.8	2.505	5.03	5.03	5.03	25.30	11530.00	455.72
08	PATRON 28 DIAS	14/12/2017	317.8	2.522	5.02	5.01	5.01	25.15	11990.00	476.74
09	PATRON 28 DIAS	14/12/2017	321.1	2.528	5.03	5.02	5.03	25.25	11720.00	464.15



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
Ing. Jorge Montañez Reyes
JEFE



ENSAYO A LA COMPRESION DE CUBOS 5.08 cm-EXPERIMENTAL
(ASTM C 109)

SOLICITA : BACH: MARK LUNA MENDIETA
TESIS : RESISTENCIA A LA COMPRESION DE UN MORTERO SUSTITUYENDO AL CEMENTO POR 5% DE POLVO DE
ARGOPECTEN PURPURATOS (CONCHA DE ABANICO) Y 15% DE CENIZA DE BRIQUETA
LUGAR : BACH: MARK LUNA MENDIETA
FECHA : 18/08/2017

TESTIGO		FECHA DE ROTURA	Peso	Densidad	Longitud	Longitud	Longitud	Area	Carga	Resistencia
Nº	ELEMENTO		Muestra	(gr/cm3)	(a)	(b)	(c)	(a*b)	Maxima	f'c
			(gr)		(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(kg)	(kg/cm ²)
01	EXPERIMENTAL 3 DIAS	14/12/2017	312.0	2.466	5.01	5.04	5.01	25.25	5020.00	198.81
02	EXPERIMENTAL 3 DIAS	14/12/2017	312.1	2.443	5.05	5.03	5.03	25.40	5210.00	205.11
03	EXPERIMENTAL 3 DIAS	14/12/2017	310.7	2.451	5.03	5.03	5.01	25.30	5470.00	216.20
04	EXPERIMENTAL 7 DIAS	14/12/2017	320.0	2.520	5.02	5.01	5.05	25.15	9100.00	361.83
05	EXPERIMENTAL 7 DIAS	14/12/2017	320.5	2.523	5.04	5.01	5.03	25.25	9670.00	382.96
06	EXPERIMENTAL 7 DIAS	14/12/2017	320.1	2.540	5.02	5.01	5.01	25.15	9390.00	373.36
07	EXPERIMENTAL 28 DIAS	14/12/2017	303.8	2.411	5.01	5.01	5.02	25.10	12190.00	485.66
08	EXPERIMENTAL 28 DIAS	14/12/2017	305.4	2.433	5.01	5.00	5.01	25.05	11930.00	476.25
09	EXPERIMENTAL 28 DIAS	14/12/2017	305	2.421	5.02	5.00	5.02	25.10	12270.00	488.84



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
Ing. Jorge Montañez Reyes
JEFE