



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LADRILLOS DE ARENA CON INYECCIÓN DE CO₂ CON 03 GRANULOMETRÍAS DIFERENTES DE LA CANTERA SAPOS, CAJAMARCA 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO CIVIL

Autor:

Brayan Stiven Gálvez Cubas

Asesor:

Ing. Anita Alva Sarmiento

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

A mis queridos padres Euler Américo Gálvez Briceño, Gladys Aurora Cubas Muñoz y hermana Meliza Gálvez Cubas quien siempre me ha enseñado con su ejemplo, Gracias a ellos por dedicar gran parte de sus vidas a compartir conmigo y por darme aliento para culminar con éxito mi formación académica, así como también a todas aquellas personas que me enseñaron a nunca rendirme y que me apoyaron de una u otra manera en esta esta etapa de mi vida gracias por todo.

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarme la fortaleza para seguir adelante y no flaquear en los problemas que se me presentaron, enseñándome a encarar las adversidades y no desfallecer en el intento. A mi asesor, el Ing. ANITA ALVA SARMIENTO, por su ayuda invaluable en la organización y revisión permanente de este trabajo para incorporarle mejoras significativas, al director de la carrera de la facultad de Ingeniería Civil, el Doc. Ing. ORLANDO AGUILAR ALIAGA, quien con sus sabios consejos encaminó nuestras ideas e inquietudes a lo largo de la carrera y por último a la Universidad Privada del Norte por haberme brindado una enseñanza de calidad junto a su plana docente quienes en estos años me guiaron y acompañaron en las diferentes etapas de la carrera, sus valiosos aportes fueron el principal complemento para el desarrollo teórico y práctico de esta investigación.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
TABLA DE CONTENIDOS.....	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE ECUACIONES	10
RESUMEN	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Realidad problemática	12
1.2. Formulación del problema	23
1.3. Objetivos.....	23
1.3.1. Objetivo general	23
1.3.2. Objetivos específicos.....	24
1.4. Hipótesis	24
1.4.1. Hipótesis general.....	24
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	25
2.1. Tipo de investigación.....	25
2.2.1. Población.....	25
2.2.2. Muestra	25
2.2. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	25
2.3. Procedimiento	27
CAPÍTULO III. RESULTADOS	45
3.1. Resultados de las características físicas del agregado.....	45
3.1.1. Análisis granulométrico	45
3.1.2. Contenido de humedad	47
3.1.3. Densidad del agregado	48
3.2. Resultados de las unidades de ladrillos	48
3.2.1 Ensayo de variación dimensional.....	49
3.2.2 Ensayo de succión.....	56
3.2.3 Ensayo de absorción.....	58
3.2.4 Ensayo de alabeo	60
3.2.5 Ensayo a compresión.....	62

3.2.6 Ensayo a tracción.....	65
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	68
4.1. Discusión.....	68
4.2 Conclusiones.....	72
REFERENCIAS	74
ANEXOS	76
Anexo 1: Panel fotográfico	76
Anexo 2: Ficha técnica de CO₂	83
Anexo 3: Ficha técnica de silicato de sodio.....	84
Anexo 4 Protocolos.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Ubicación de las empresas productoras de ladrillos en forma artesanal en el departamento de Cajamarca</i>	14
Tabla 2 <i>Aplicabilidad de los métodos de formado a las diferentes materias primas para unidades de albañilería</i>	19
Tabla 3 <i>Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales.</i>	21
Tabla 4 <i>Clasificación de la unidad de albañilería para fines estructurales</i>	22
Tabla 5 <i>Coordenadas UTM cantera “Sapos”</i>	28
Tabla 6 <i>Norma de ensayos</i>	30
Tabla 7 <i>Resultado del ensayo análisis granulométrico</i>	45
Tabla 8 <i>Resultado del ensayo contenido de humedad del agregado fino</i>	47
Tabla 9 <i>Resultado del ensayo densidad del agregado fino</i>	48
Tabla 10 <i>Resultado ensayo variación dimensional largo - ladrillo Tipo 1 tamiz (N° 30, 50, 100)</i>	49
Tabla 11 <i>Resultado ensayo variación dimensional ancho - ladrillo tipo 1 tamiz (N° 30, 50, 100)</i>	49
Tabla 12 <i>Resultado ensayo variación dimensional altura - ladrillo tipo 1 tamiz (N° 30, 50, 100)</i>	49
Tabla 13 <i>Resultado ensayo variación dimensional largo - ladrillo tipo 2 tamiz (N° 4, 8, 16)</i>	51
Tabla 14 <i>Resultado ensayo variación dimensional largo - ladrillo tipo 2 tamiz (N° 4, 8, 16)</i>	51
Tabla 15 <i>Resultado ensayo variación dimensional largo - ladrillo tipo 2 tamiz (N° 4, 8, 16)</i>	52
Tabla 16 <i>Resultado ensayo variación dimensional largo- ladrillo tipo 3 tamiz (estado natural)</i>	53
Tabla 17 <i>Resultado ensayo variación dimensional largo- ladrillo tipo 3 tamiz (estado natural)</i>	53
Tabla 18 <i>Resultado ensayo variación dimensional largo- ladrillo tipo 3 tamiz (estado natural)</i>	54
Tabla 19 <i>Resumen de dimensiones promedio</i>	55
Tabla 20 <i>Resultados de ensayo a succión ladrillo tipo 1 tamiz (N° 30, 50, 100)</i>	56
Tabla 21 <i>Resultados de ensayo a succión ladrillo tipo 2 tamiz (N° 4, 8, 16)</i>	56
Tabla 22 <i>Resultados de ensayo a succión ladrillo tipo 3 estado natural</i>	57
Tabla 23 <i>Resumen de succión promedio</i>	57
Tabla 24 <i>Resultados de ensayo de absorción ladrillo tipo 1 tamiz (N° 30, 50, 100)</i>	58
Tabla 25 <i>Resultados de ensayo de absorción ladrillo tipo 2 tamiz (N° 4, 8, 16)</i>	58
Tabla 26 <i>Resultados de ensayo de absorción ladrillo tipo 3 estado natural</i>	58
Tabla 27 <i>Resumen de absorción promedio</i>	59
Tabla 28 <i>Resultados de ensayo de alabeo ladrillo tipo 1 tamiz (N° 30, 50, 100)</i>	60
Tabla 29 <i>Resultados de ensayo de alabeo ladrillo tipo 2 tamiz (N° 4, 8, 16)</i>	60
Tabla 30 <i>Resultados de ensayo de alabeo ladrillo tipo 3 tamiz estado natural</i>	60
Tabla 31 <i>Resumen del alabeo promedio</i>	61
Tabla 32 <i>Resultados de ensayo a compresión ladrillo tipo 1 tamiz (N° 30, 50, 100)</i>	62
Tabla 33 <i>Resultados de ensayo a compresión ladrillo Tipo 2 tamiz (N° 4, 8, 16)</i>	62
Tabla 34 <i>Resultados de ensayo a compresión ladrillo Tipo 3 estado natural</i>	63

Tabla 35 <i>Resumen de resistencia a compresión promedio</i>	63
Tabla 36 <i>Resultados de ensayo a tracción ladrillo tipo 1 tamiz (N° 30, 50, 100)</i>	65
Tabla 37 <i>Resultados de ensayo a tracción ladrillo tipo 2 tamiz (N° 4, 8, 16)</i>	65
Tabla 38 <i>Resultados de ensayo a tracción ladrillo tipo 3 estado natural</i>	66
Tabla 39 <i>Resumen de resistencia a tracción promedio</i>	66

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1:</i> Curva normalizada para los diferentes tipos de materiales de las unidades de albañilería de arcilla, concreto y sílice –cal (García, 2002).	20
<i>Figura 2:</i> Inyectando CO ₂ (Inagawa, 2011).....	27
.....	27
<i>Figura 3:</i> Ubicación cantera “Sapos”	28
<i>Figura 4:</i> Se muestra la ruta de acceso a la cantera (línea color celeste), tomando como punto de partida la plaza de armas de Cajamarca, siguiendo por el Jr. dos de mayo en dirección a la Av. hoyos rubio, seguimos rumbo a la vía de avitamiento norte hasta llegar al ovalo musical seguidamente se sigue hasta llegar al desvío de Llacanora y lo sapos.....	29
<i>Figura 5:</i> En primera instancia se consideró la cantera “sapos” que se encuentra camino a Namora, posteriormente se tomaron sacos de 50 kg para muestras representativas de dicha cantera las cuales serán utilizadas para los diferentes ensayos.	29
<i>Figura 6:</i> Tamizado del material.....	32
<i>Figura 7:</i> Identificación de los recipientes.....	33
<i>Figura 8:</i> Llenado de material suelto	34
<i>Figura 9:</i> Apisonado del material	36
<i>Figura 10:</i> Medición de unidades de albañilería.....	37
<i>Figura 11:</i> Unidad de albañilería en contacto con el agua.....	39
<i>Figura 12:</i> Midiendo la concavidad y convexidad.....	41
<i>Figura 13:</i> Unidades sometidas a compresión	43
<i>Figura 14:</i> Unidades sometidas a tracción	44
<i>Figura 15:</i> En esta figura podemos apreciar la curva granulométrica que se encuentra dentro de los límites granulométricos indicados en la norma E 070	46
<i>Figura 16:</i> En esta figura podemos apreciar la variación dimensional promedio de los ladrillos M1,7 A M1,11	50
<i>Figura 17:</i> En esta figura podemos apreciar la variación dimensional promedio de los ladrillos M 2,7 A M 2,11	52
<i>Figura 18:</i> En esta figura podemos apreciar la variación dimensional promedio de los ladrillos M 3,7 A M 3,11	54
<i>Figura 19:</i> Comparación promedio de los tres tipos de ladrillos M1 A M3.....	55
Nota. Esta tabla muestra el resumen promedio del ensayo de succión de los tres tipos de ladrillos M1, A M3	57
<i>Figura 20:</i> Comparación promedio de los tres tipos de ladrillos M1 A M3	57
<i>Figura 21:</i> Comparación promedio de los tres tipos de ladrillos M1 A M3	59
<i>Figura 22:</i> Comparación promedio de los tres tipos de ladrillos M1 A M3	61
<i>Figura 23:</i> Comparación compresión promedio de los tres tipos de ladrillos M1 A M3 ...	64
<i>Figura 24:</i> Comparación promedio de los tres tipos de ladrillos M1 A M3	67
<i>Figura 25:</i> Peso de la muestra para granulometría.....	76
<i>Figura 26:</i> Análisis granulométrico	76
<i>Figura 27:</i> Granulometría 01.....	76
<i>Figura 28:</i> Granulometría 02	76
<i>Figura 29:</i> Aseguramiento del molde con abrazaderas.....	77
<i>Figura 30:</i> Medición de la cantidad de arena.....	77
<i>Figura 31:</i> Medición del silicato de sodio	77

<i>Figura 32:</i> Vaciado del silicato sobre la arena.....	77
<i>Figura 33:</i> Compactado de la arena en 3 capas.....	77
<i>Figura 34:</i> Acabado del ladrillo	77
<i>Figura 35:</i> Inyección del CO ₂ con un tiempo de 10 s por orificio que tenga el molde	78
<i>Figura 36:</i> Inyección del CO ₂ con un tiempo de 10 s por orificio que tenga el molde	78
<i>Figura 37:</i> Desencofrado de ladrillo después de la inyección de CO ₂	78
<i>Figura 38:</i> Puntos de inyección de CO ₂	78
<i>Figura 39:</i> Enumeración de las unidades	79
<i>Figura 40:</i> Unidad final.....	79
<i>Figura 41:</i> Variación dimensional de la unidad.....	79
<i>Figura 42:</i> Variación dimensional de la unidad.....	79
<i>Figura 43:</i> Limpieza de la unidad	80
<i>Figura 44:</i> Medida del alabeo de la unidad arena	80
<i>Figura 45:</i> Peso en estado natural de la unidad.....	80
<i>Figura 46:</i> Saturación de la unidad	80
<i>Figura 47:</i> Peso de la unidad secado superficial	80
<i>Figura 48:</i> Succión de la unidad	80
<i>Figura 49:</i> Sumergido superficial durante 1 minuto	81
<i>Figura 50:</i> Peso de la unidad.....	81
<i>Figura 51:</i> Muestras para compresión y tracción.....	81
<i>Figura 52:</i> Deformímetro	81
<i>Figura 53:</i> Toma de datos esfuerzo vs deformación	81
<i>Figura 54:</i> Falla a compresión	82
<i>Figura 55:</i> Falla a tracción	82

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación N° 1: Módulo de fineza	31
Ecuación N° 2: Contenido de humedad.....	33
Ecuación N° 3: Densidad del agregado suelto seco.....	34
Ecuación N° 4: Densidad del agregado compactado seco.....	35
Ecuación N° 5: Cálculo de succión.....	38
Ecuación N° 6: Cálculo de absorción.....	40
Ecuación N° 7: Cálculo de compresión.....	43
Ecuación N° 8: Cálculo de tracción	44

RESUMEN

Esta investigación tuvo como finalidad determinar las propiedades físico mecánicas de las unidades de ladrillos de arena con inyección de CO₂, utilizando 03 granulometrías de la cantera Sapos y verificando que cumplan con las exigencias que indica la Norma Peruana E.070 - Albañilería, 2006. Este estudio se enmarcó dentro de una investigación experimental, ya que se van a alterar las propiedades de una de las variables para ver su influencia en la otra, Así mismo, se presentó un nuevo proceso de elaboración de un ladrillo alternativo, sin cocción, con inyección de gas (CO₂) los cuales son más rápidos de realizar y alcanzan su resistencia en un solo día. Los prototipos se elaboraron en tres etapas y se diferenciaron en la granulometría, de las propiedades más importantes se concluyó que la granulometría N° 1 es la que menos variación presenta en sus dimensiones y la N° 2 es la que mayor variación presenta. De la resistencia a compresión ninguna de las granulometrías alcanza la resistencia mínima que exige la norma E.070 que es de 50kg/cm² para un ladrillo tipo I. Siendo la resistencia más alta 19.53 kg/cm² en la granulometría N° 1. La hipótesis cumple parcialmente ya que los ensayos de variación dimensional, alabeo, absorción cumplen con lo establecido en la norma E070 sin embargo los ensayos de succión, tracción y compresión, no cumplen. Por lo tanto, estos ladrillos serán de uso exclusivo para tabiquería, mampostería, jardinería y muros no portantes.

Palabras clave: dióxido de carbono, succión, tracción.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El concepto de la sustentabilidad que desde hace varias décadas ha llamado la atención a especialistas de diferentes disciplinas: biólogos, sociólogos, antropólogos, geógrafos, ingenieros civiles, urbanistas y arquitectos, entre otros, quienes han intentado definir cada vez con mayor precisión su significado; actualmente ésta ha tomado gran importancia debido al temor mundial por el calentamiento global, el cambio climático, y las consecuencias catastróficas que ambos conllevan. Con esta perspectiva se iniciaron programas y proyectos que trabajarían para construir nuevas vías y alternativas con el objetivo de enfrentar los problemas ambientales y al mismo tiempo, mejorar el aprovechamiento de los recursos naturales para las generaciones presentes y futuras. Esto significa que los efectos de las actividades humanas se mantengan dentro de límites que eviten la destrucción de la diversidad, la complejidad y el funcionamiento de los sistemas ecológicos que soportan la vida (Blackman, 1998).

En América latina, la mayor parte de la elaboración de ladrillos es de manera artesanal, lo cual es poco eficiente y genera mayores contaminantes. Las emisiones de los hornos de las ladrilleras no sólo afectan el aire que se respira, si no que cuando llueve los contaminantes concentrados en la atmósfera caen sobre ecosistemas acuáticos y terrestres (Caballero, 2016).

En México la producción artesanal de ladrillos es una actividad que desde hace años brinda empleo a miles de familias mexicanas, sin embargo, también es una fábrica de contaminación que afecta al medio ambiente y deteriora la salud de las personas. Algunos contaminantes que se emiten son óxido de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de azufre. Estas partículas se generan durante el proceso de cocción del ladrillo, el cual puede ir de 48 a 72 horas y el impacto al medio ambiente depende de las horas trabajadas, de la carga y de la cantidad de combustible utilizada en el proceso. Estas ladrilleras están muy cerca de las zonas urbanas densamente pobladas, entonces no nada más afecta a la persona que trabaja en eso, sino que por esta dinámica de viento también viajan los contaminantes y afectan a personas que incluso ni compran el ladrillo (Caballero, 2016).

En el Perú existen un total de 1548 microempresas ladrilleras de producción artesanal en los departamentos de Puno, Cajamarca, La Libertad, Lambayeque, Piura, Ayacucho, Arequipa y Cusco (Pral, 2009).

El proceso productivo está representado básicamente por el horno y un espacio de terreno como patio de labranza. Las ladrilleras artesanales emplean hornos fijos de fuego directo, techo abierto y tiro ascendente para la cocción también denominada quemado o simplemente quema de ladrillos. Estos elementos y compuestos provocan irritación a la piel, ojos y membranas mucosas, trastornos en las vías respiratorias, en el sistema nervioso central, depresión y eventualmente cáncer; características que los hacen inaceptables para ser utilizados con este fin (Gutiérrez, 2014).

En Cajamarca el horno utilizado para la cocción de los ladrillos se denomina escocés y de tipo intermitente con techo abierto a la atmósfera su funcionamiento es periódico o por campaña, las etapas de precalentamiento, cocción y enfriamiento se realizan en un ciclo completo. En el sector utilizan los siguientes combustibles Carbón mineral Leña, el encendido se inicia en la parte inferior del horno, con leña y kerosén en un promedio de 12 horas hasta que el carbón haya encendido. El periodo de cocción con carbón es de 8 días y enfriamiento en horno de 8 días así mismo el problema de salud identificados son de enfermedades respiratorias. Entonces, presentamos ladrillos con estructura CO₂ los cuales permiten tener ladrillos en un solo día que no requiere de refuerzo de armaduras o casi ninguno (Pral, 2009).

Tabla 1

Ubicación de las empresas productoras de ladrillos en forma artesanal en el departamento de Cajamarca

Departamento	Provincia	Distrito	Zonas	N° de ladrilleras
Cajamarca	Cajamarca	Baños del Inca	En Centros Poblados de Cerrillo, Huacataz Otuzco y Santa Bárbara	227
Cajamarca	Cajabamba	Cajabamba	Caserío Machaguay	10
Cajamarca	Hualgayoc	Bambamarca	A Pan Alto	6
Total				243

Fuente: Dirección regional de producción Cajamarca – Sub dirección de industrias.

De los párrafos antes mencionados se puede decir que en nuestro país y mundo entero estamos atravesando por una gran crisis debido al calentamiento global, que desde hace décadas el ser humano se ha encargado de la destrucción de la diversidad y el funcionamiento de los sistemas ecológicos que soportan la vida, así mismo, uno de los

factores que contribuyen a este problema, es la elaboración de ladrillos artesanales debido a que el proceso productivo está representado básicamente por hornos fijos de fuego directo y un espacio de terreno como patio de labranza, lo que hacen perjudicial al ambiente porque lo realizan a tajo abierto y sin medidas de protección, así mismo, es una actividad que no podemos cortar ya que de esta dependen muchas familias, además que el ladrillo es indispensable para la construcción. Con esta perspectiva se iniciaron programas y proyectos que trabajarían para construir nuevas vías y alternativas con el objetivo de enfrentar los problemas ambientales y al mismo tiempo, mejorar el aprovechamiento de los recursos naturales. Una solución viable serían los ladrillos con inyección de CO₂, hechos con material que está al alcance de cualquiera, mostrándoles una mejor salida en cuanto a tiempo, costo y así mismo siendo amigable con el ambiente ya que para hacer estos ladrillos no se requiere de ningún quemado.

Imagawa (2011), en la empresa TIS Y PARTNERS ha creado ladrillos de estructura de CO₂. Tuvo el objeto de crear ladrillos hechos de un material de construcción que en poco tiempo adquiere una resistencia a la tracción 2,5 veces la del hormigón, y su componente principal es arena. A este material innovador se le ha llamado estructura de CO₂, ya que para provocar que la arena del molde endurezca se le inyecta CO₂. Sabemos que el hormigón necesita 28 días para adquirir el 100% de su capacidad mecánica, pero con estructura CO₂ podemos obtener ladrillos más resistentes, y en un solo día. Estaríamos hablando de un material estructural que se consigue sin el empleo de tecnología avanzada, y en un tiempo récord. Los resultados obtenidos son ladrillos con estructura CO₂ con una resistencia a la compresión equivalente al hormigón

ordinario (244.7319 kg/cm²) y sin necesidad de utilizar barras de refuerzo, resistencia a la tracción equivalente a la resistencia a la compresión.

Maroto (2008), en el centro para la innovación en captura y almacenamiento de carbono de la Universidad de Nottingham (Reino Unido), una de las diez mejores del país y situada a una hora de Londres, ha desarrollado varios sistemas que convierten al CO₂ en un gas útil, en metano, o en ladrillos para la construcción, pasar de un gas a un producto sólido es lo que la naturaleza hace por sí sola a lo largo de mucho tiempo. Lo que hemos logrado en una investigación que lleva más de ocho años y que está más avanzada que la del gas natural es acelerar el proceso mediante unos reactores que reducen el tiempo de cientos de años a horas. El CO₂ se transformaría en carbonatos y en materiales de construcción. Se puede hacer de cualquier tamaño, de la medida que quieras. Los resultados obtenidos, levantarán una planta piloto, pero están en conversaciones con empresas para convertirlo ya en un proceso industrial.

Real (2013), en su tesis denominado: “Influencia del curado con CO₂ en mampostería fabricada con sistemas cementantes ternarios”. En esta tesis se realizaron bloques de concreto con materiales cementantes alternativos, considerando subproductos industriales. Se diseñaron mezclas de concreto para que los bloques cumplieran las normas mexicanas. Los bloques fueron sometidos a un curado a vapor de agua y otros en una atmósfera de alta concentración de CO₂. En el caso del curado a vapor, se utilizó una temperatura de 60°C y HR > 90%. En el proceso de curado con CO₂, los especímenes se mantuvieron entre 27°-30°C, HR 60 - 70% y una concentración del 20% de CO₂. Se estudiaron mezclas binarias y ternarias basadas en cemento portland ordinario (CP), ceniza volante (CV) y cal (Cao). Se analizó la caracterización de los

materiales, las proporciones de mezcla y los ensayos de resistencia a la compresión y absorción de los bloques de concreto. El uso de métodos termo gravimétricos mostró el efecto del vapor de agua y la carbonatación en pastas representativas de los bloques de concreto, determinando la concentración de la portlandita y los carbonatos, así como la concentración del CO₂ fijado en el bloque. Los resultados mostraron que es posible tener un ahorro en el consumo de cemento del 30%, resistencias a la compresión superiores a la referencia hasta en un 7%, en promedio, absorciones menores que el 8% y una fijación de CO₂ en un 7%.

Es necesario conocer el significado de algunos términos tales como:

Arena: El principal componente de la arena es la sílice o dióxido de silicio (SiO₂), y su origen es muy variado; puede extraerse de los ríos o lagos, en algunas ocasiones se encuentra en los depósitos volcánicos, o puede provenir a partir de roca triturada por medios mecánicos. En general, la propiedad fundamental de la arena proviene de su capacidad para reducir las fisuras que aparecen en la mezcla al endurecerse. Su uso extendido y frecuente en la construcción en virtud de su composición, tendrá diferentes características. Cuando la arena está constituida por partículas pequeñas de rocas trituradas su uso frecuente será para la elaboración de mortero y concreto, cuando la arena es gruesa se utiliza con gravilla para la fabricación del concreto para pisos y si la arena es fina, el uso más común es para los trabajos generales de construcción o albañilería, y trabajos de mampostería (Ferrex, 2010).

Arena sílica: La arena sílica o arena de sílice se obtiene al combinar sílice con oxígeno. Se compone por granitos de cuarzo con forma angular, es un mineral de alta

pureza, producto de una roca intrusiva (granito) de color blanco cremoso. Este tipo de arena es la más común y posee características como alto punto de fusión dureza, transparencia, resistencia química. Por su versatilidad, la arena sílica suele tener las siguientes aplicaciones como fabricación de piezas de fundición, industria de resinas y vidrio, morteros para construcción, material filtrante en plantas de tratamiento y purificación (QuimiNet, 2011).

Silicato de sodio: El silicato de sodio o silicato sódico es el nombre común que se utiliza para los compuestos de fórmula Na_2SiO_3 , también conocido como vidrio o cristal líquido, puedes encontrar los silicatos de sodio en estado líquido o en estado sólido. En estado puro no presentan color o son de color blanco. Son utilizados en la industria como adhesivos, detergentes, ingredientes en compuestos de limpieza, cementos, capas protectoras, anticorrosivos, insumos químicos, etc. (QuimiNet, 2011).

Estructura ecológica de CO₂: La eco-estructura del CO₂ es un nuevo material de construcción del siglo 22 que se solidifica al instante mediante el uso de CO₂. Desde el punto de vista de la conservación del medio ambiente, estamos llamando la atención de todo el mundo. Aplicamos el "método de tipo de gas", arena de sílice + resina epoxi que está disponible a buen precio en cualquier parte del mundo al absorber CO₂ en esto, la fuerza se desarrolla para que sea más fuerte que el concreto.

Unidad de Albañilería: La unidad de albañilería es el componente básico para la construcción de la albañilería, se elabora de materias primas diversas como la arcilla, concreto y la mezcla de sílice y cal. Se forma mediante el moldeo y compactación;

produciéndose a través de fábricas industriales, bajo un control de calidad o en precarias canchas artesanales, sin ningún control de calidad; por lo que no debe extrañar las formas, tipos, dimensiones y pesos sean variables y pueden ser sólidas, huecas, alveolares o tubulares. Las unidades de albañilería se denominan ladrillos o bloques. Los ladrillos se caracterizan por tener dimensiones y pesos que hacen manejables con una sola mano en el proceso de asentado. Se denomina bloque a aquella unidad que por su dimensión y peso requiere de las dos manos para su manipuleo (Bartolomé, 1994).

El formado de las unidades de arcilla se realiza por casi todos los métodos del moldeo con presión, sin presión y por extrusión. En la tabla 2 se indican los diferentes tipos de formado y su aplicabilidad a las diferentes materias primas con que se elaboran las unidades de albañilería.

Tabla 2
Aplicabilidad de los métodos de formado a las diferentes materias primas para unidades de albañilería

	Corte	Moldeo			Extrusión
		Sin presión	Con presión	Vibración Vibro-compresión	
Arcilla		•	•		•
Concreto		•		•	•
Silice-cal Piedra	•		•		
Suelo- cemento		•	•		

Fuente: Gallegos y Casabonne, 2005.

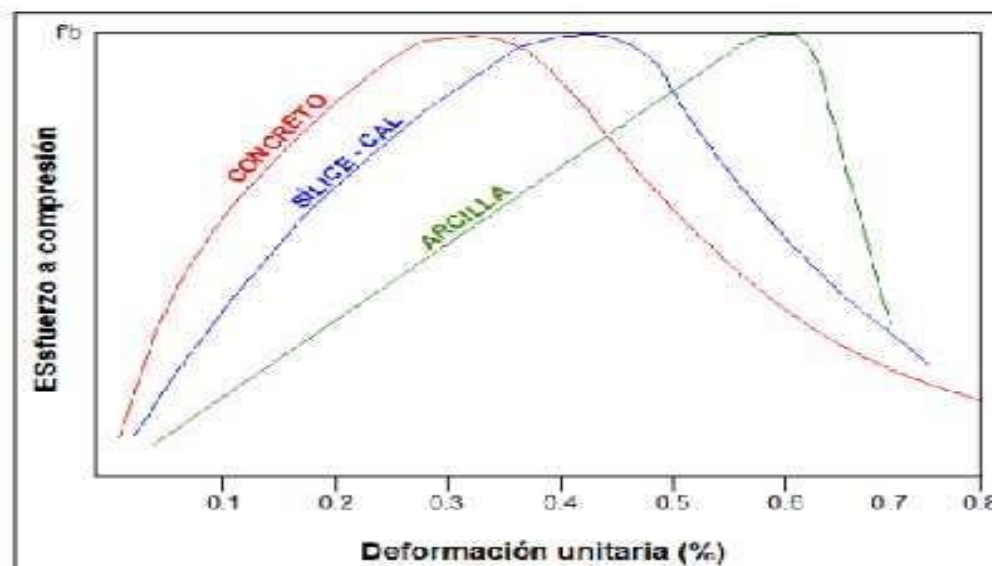


Figura 1: Curva normalizada para los diferentes tipos de materiales de las unidades de albañilería de arcilla, concreto y sílice –cal (García, 1986).

Tipología: La tipología es la ciencia que estudia los tipos o clases, la diferencia intuitiva y conceptual de las formas de modelo o de las formas básicas. (García, 2002). Las unidades de albañilería se realizan basándose en el área neta, medida en proporción a la superficie bruta de la cara de asiento, y en las características de los alvéolos. La tipología no tiene que ver ni con el tamaño de las unidades ni con la materia prima con que se elaboran. Es decir, para el mismo tipo puede haber ladrillos o bloques. (Norma E.070, 2006).

Limitaciones de aplicación estructural para los tipos de unidades de albañilería. El valor de la resistencia a la compresión de las unidades de los diversos tipos, radica en la fragilidad de la falla. Las unidades sólidas son las únicas que muestran un comportamiento razonablemente dúctil, sin fallas explosivas, mientras que todas las otras presentan fallas explosivas o frágiles, ya sea como unidades individuales o como componentes de un muro.

La consecuencia de este hecho es que las unidades huecas y perforadas son admitidas con condiciones, y las tubulares no son admitidas para construcciones de muros portantes particularmente en zonas sísmicas. Cuando las unidades huecas se llenan con concreto líquido su comportamiento en la falla se modifica, entonces pueden ser admitidas para la construcción de muros portantes. En la Tabla 3, se señala las limitaciones de aplicación estructural de los diferentes tipos de unidades de albañilería. (Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005).

Tabla 3
Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales

Tipo	Zona sísmica 2 y 3		Zona sísmica 1
	Muro portante en edificios de 4 pisos a mas	Muro portante en edificios de 1 a 3 pisos	Muro portante en todo el edificio
Sólida Artesanal	No	Si, hasta dos pisos	Sí
Sólido Industrial	Sí	Si	Sí
Alveolar	Sí	Si	Sí
	celdas totalmente llenas con grout	celdas parcialmente llenas con grout	celdas parcialmente llenas con grout
Hueca	No	No	Sí
Tabular	No	No	parcialmente llenas con grout
			Sí, hasta 2 pisos

Fuente: Norma E. 070 Albañilería 2006.

*Las limitaciones indicadas establecen condiciones mínimas que pueden ser exceptuadas con el respaldo de un informe y memoria de cálculo sustentada por un Ingeniero civil

Clasificación para fines estructurales Según la Norma Peruana Técnica E.070 – Albañilería, las unidades de albañilería para efectos estructurales tendrán las características indicadas en la Tabla 4.

Tabla 4
Clasificación de la unidad de albañilería para fines estructurales

CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN (Máxima en porcentaje)			ALABEO (Máximo en mm)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN f ^c Mínimo en Mpa (kg/cm ²) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4,9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6,9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9,3 (95)
Ladrillo VI	± 4	± 3	± 2	4	12,7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17,6 (180)
Bloque P	± 4	± 3	± 2	4	4,9 (50)
Bloque NP	± 7	± 6	± 4	8	2,0 (20)

Fuente: Norma E. 070 albañilería 2006.

La mayor variación de dimensiones y el mayor alabeo de las unidades, conducen a un mayor grosor de las juntas de mortero (por encima del valor nominal de 10 mm), lo que trae por consecuencia, una reducción de resistencia a compresión y a fuerza cortante en la albañilería. Por ello, para fines de clasificar a la unidad con fines estructurales, debe emplearse los resultados más desfavorables de los ensayos indicados en la Tabla 3. Por ejemplo, si por los ensayos de variación dimensional y

alabeo de un ladrillo clasifica como clase IV, mientras que por el ensayo de compresión clasifica como clase V, entonces ese ladrillo será clase IV.

La prueba de compresión proporciona una medida cualitativa de las unidades. Una unidad de poca altura tendrá más resistencia que otra de mayor altura, pese a que ambas hayan sido fabricadas en simultáneo. Por ello, INDECOPI, entidad encargada de velar por la calidad de los productos, clasifica a las unidades desde el punto de vista cualitativo (en base a la resistencia a compresión), sin contemplar el producto final que es la albañilería.

De lo antes mencionado en el cálculo de la resistencia a compresión antiguamente (Norma E.070, 1982) se trabajaba con el área neta de la unidad, ello daba cabida a que las fábricas produzcan ladrillos con grandes perforaciones, lo cual elevaba la resistencia a compresión. Actualmente, la resistencia se calcula con el área bruta, con lo cual esas unidades clasifican en un rango inferior. Cabe remarcar que las unidades huecas son muy frágiles.

1.2. Formulación del problema

¿Cuáles son las propiedades físico mecánicas de ladrillos de arena con inyección de CO₂ con 03 granulometrías diferentes de la cantera Sapos?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar las propiedades físicas mecánicas de ladrillo de arena con inyección de CO₂ con 03 granulometrías diferentes.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físicas del agregado fino (arena) de la cantera sapos.
- Clasificar el material en 03 tipos de granulometrías.
- Elaborar ladrillos de arena con inyección de CO₂ con 03 tipos de granulometrías.
- Comparar si los ladrillos de arena con inyección de CO₂ cumplen o no con las exigencias de la norma E.070 Albañilería 2006.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Las propiedades físico mecánicas de las unidades de ladrillos con inyección CO₂ cumplen con lo requerido en la Norma E 070.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La investigación es de carácter experimental. El investigador manipula las propiedades de una de las variables (variable independiente) y observar la influencia en otra variable (variable dependiente). Así mismo tiene un enfoque cuantitativo ya que se pudo recolectar datos numéricos a través de ensayos en laboratorio, que señalaron preferencias, comportamientos y su efecto en las conductas observadas. de acuerdo al corte de la investigación nos encontramos en un corte transversal ya que solo se ha medido en un momento y los resultados sirven para un momento.

Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.2.1. Población

Población es igual a la muestra, 50 unidades le ladrillo de arena con inyección de CO₂ y tres tipos de granulometría (conveniencia del investigador).

2.2.2. Muestra

Muestra no estadística, asumida por conveniencia del investigador, serán 50 unidades de ladrillos de arena con inyección de CO₂ y tres tipos de granulometría las Medidas del ladrillo de arena con inyección de CO₂ tuvieron una Longitud 22.00 cm, Ancho 11.00 cm, Altura 9.00 cm.

2.2. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

a) Técnica e instrumentos de recolección de datos

La técnica que se utilizó para recolección de datos en la investigación, fue la observación directa de los diferentes tipos de ensayo como Análisis Granulométrico, Contenido de Humedad, Densidad del Agregado, Variación

dimensional, Succión, Absorción, Alabeo, Resistencia a compresión y Resistencia a la tracción de unidades de albañilería.

Protocolo 1 Análisis Granulométrico: Este permite conocer el tamaño de las diferentes partículas que componen el sedimento a analizar.

Protocolo 2 Contenido de Humedad: Este permite determinar la cantidad de agua presente en un material.

Protocolo 3 Densidad del Agregado: Este permite saber la facilidad que poseen las partículas, para moverse en un medio, pues un material de baja densidad indica, una alta porosidad, reducción de su dureza y alta capacidad de absorción.

Protocolo 4 Variación Dimensional: Este permite determinar la variación de dimensiones tanto largo ancho y altura, así como también la clasificación de la unidad de ladrillo.

Protocolo 5 Succión: Determina la velocidad con la que el ladrillo toma agua por cada cm² de superficie puesta en contacto en un minuto.

Protocolo 6 Absorción: Determina la capacidad de absorción de agua de un ladrillo, se define como el cociente entre el peso de agua que absorbe y su propio peso cuando está seco.

Protocolo 7 Alabeo: Determina la concavidad y la convexidad de las unidades de ladrillos ya que puede producirse cangrejeras en las zonas más alabeadas.

Protocolo 8 Resistencia a Compresión: Determinar la resistencia máxima admisible de la unidad de ladrillo.

Formato 9 Resistencia a Tracción: Determina la resistencia máxima a la tracción de la unidad de ladrillo.

Los instrumentos de recolección de datos son los protocolos ver anexo N°4

b) Técnica e instrumentos de análisis de datos

La técnica utilizada en esta investigación es la estadística descriptiva ya que se ha comparado, verificado y analizado los datos en gabinete, utilizando como instrumento de análisis a las hojas de cálculo Excel.

2.3. Procedimiento

2.3.1. Proceso de elaboración de unidades de ladrillo de CO₂

- ❖ Rellene el encofrado transparente con arena de sílice.
- ❖ El dióxido de carbono se inyecta desde el orificio perforado en el molde.
- ❖ Se solidifica instantáneamente (unos 20 segundos por 100 mm³) y se convierte en una estructura auto sostenible. (Inagawa, 2011).

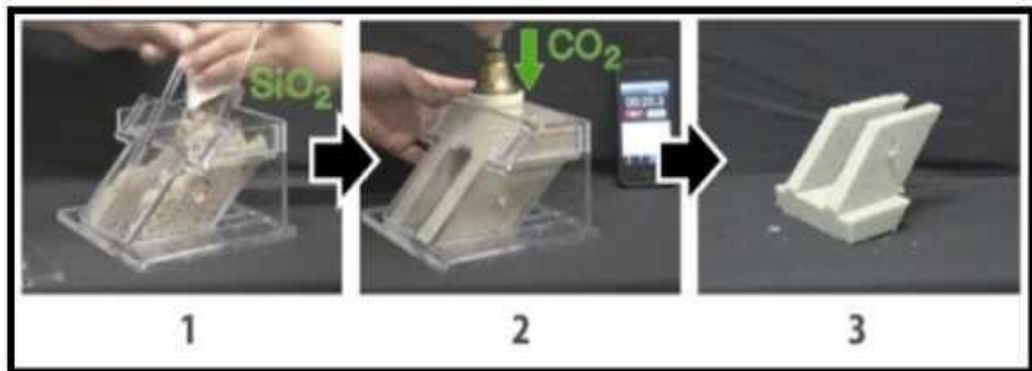


Figura 2: Inyectando CO₂ (Inagawa, 2011).

2.3.2. Ubicación de la cantera

- **Ubicación Política**

País : Perú
Departamento : Cajamarca
Provincia : Cajamarca
Distrito : Namora

- **Ubicación Geográfica**

DATUM: UTM (WGS-84)

Zona: 17 S

Latitud Sur: 7° 11' 25.58"S de la Línea Ecuatorial

Longitud Oeste: 78°21'28.90"0 del Meridiano de Greenwich

- **Coordenadas UTM:**

Tabla 5

Coordenadas UTM cantera “Sapos”

Coordenadas UTM Cantera			
PUNTO	ESTE	NORTE	COTA
A	791844.75	9204368.86	2910
B	791785.82	9204454.77	2914
C	791708.31	9204437.43	2918
D	791652.99	9204503.84	2937
E	791614.00	9204312.00	2905
F	791706.41	9204252.69	2891
G	791876.08	9204268.21	2890

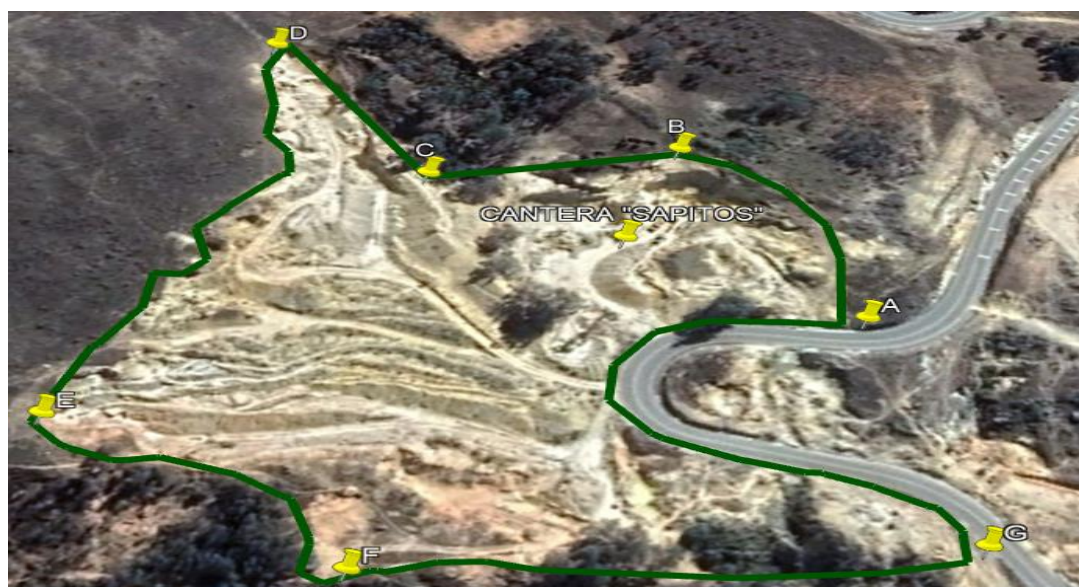


Figura 3: Ubicación cantera “Sapos”

2.3.3. Acceso a la cantera:

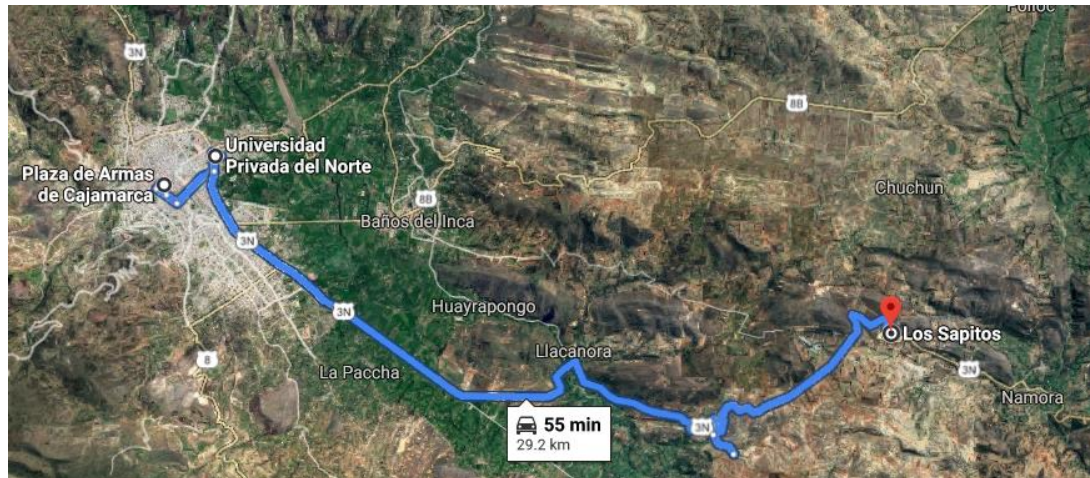


Figura 4: Se muestra la ruta de acceso a la cantera (línea color celeste), tomando como punto de partida la plaza de armas de Cajamarca, siguiendo por el Jr. dos de mayo en dirección a la Av. hoyos rubio, seguimos rumbo a la vía de avitamiento norte hasta llegar al ovalo musical seguidamente se sigue hasta llegar al desvío de Llacanora y lo sapos.

2.3.4. Obtención del material a emplear



Figura 5: En primera instancia se consideró la cantera “sapos” que se encuentra camino a Namora, posteriormente se tomaron sacos de 50 kg para muestras representativas de dicha cantera las cuales serán utilizadas para los diferentes ensayos.

La fuente documental o bibliográfica, nos permitió revisar la documentación de carácter teórico y en base a las normas legales como referencia en la elaboración de la tesis. Se tuvo en cuenta la siguiente tabla 6.

Tabla 6
Norma de ensayos

Ensayo	Norma
Análisis Granulométrico	NTP 400.012, 2001
Contenido de Humedad	NTP 339.127
Densidad del Agregado	NTP 400+.017
Variación dimensional	NTP 331.017, NTP 331.018 y NTP 331.109 y NTP 399.604
Succión	NTP 331.017, NTP 331.018 y NTP 331.109 y NTP 399.604
Absorción	NTP 331.017, NTP 331.018 y NTP 331.109 y NTP 399.604
Alabeo	NTP 331.017, NTP 331.018 y NTP 331.109 y NTP 399.604
Resistencia a compresión de unidades de albañilería	NTP 399.613
Resistencia a la tracción de unidades de albañilería	NTP 399.613

Finalmente, gracias a los resultados obtenidos por los ensayos anteriores realizados en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte, y focalizándonos en manuales y normas se pudieron dar como verificada o comprobada la hipótesis.

2.3.5. ENSAYOS EN AGREGADOS

2.3.5.1. Análisis granulométrico (NTP 400.012, 2001)

a. Materiales y equipos

- ❖ Agregado fino: arena gruesa de la cantera.
- ❖ Juego de Tamices de: N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100 Y N° 200.
- ❖ Balanza con precisión de tres decimales.
- ❖ Horno a 110 °C ± 5° C.
- ❖ Palas.
- ❖ Tara.

b. Procedimiento:

- ❖ Se toma una muestra de arena gruesa de la cantera.
- ❖ Peso para el ensayo 1500 gr.
- ❖ Se pesa el espécimen.
- ❖ Se pasa la muestra por los tamices según la norma NTP 400.012.
- ❖ Se agita los tamices, para obtener los pesos retenidos en las mallas.
- ❖ Una vez concluido el tamizado se procede a pesar cada material retenido en cada tamiz (N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50 y N° 100).
- ❖ Finalmente se halla su módulo de finura con la siguiente fórmula:

$$M.F. = \left(\frac{\sum \% \text{Retenido en las mallas (N}^\circ 4, N^\circ 8, N^\circ 16, N^\circ 30, N^\circ 50, N^\circ 100)}{100} \right)$$

Ecuación N° 1: Módulo de fineza.



Figura 6: Tamizado del material.

2.3.5.2. Contenido de humedad (NTP 339.127)

a. Materiales y equipos

- ❖ Agregado fino: arena gruesa de la cantera.
- ❖ Taras.
- ❖ Balanza con precisión de tres decimales.
- ❖ Horno a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

b. Procedimiento:

- ❖ Identificación de los recipientes.
- ❖ Pesar la tara.
- ❖ Pesar la muestra húmeda en el recipiente.
- ❖ Colocar al horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, durante 24 horas.
- ❖ Pesar la muestra seca en la tara.
- ❖ El contenido de humedad del agregado fino, se determinará usando la siguiente fórmula:

$$w\% = \frac{Ph - PS}{PS} * 100$$

Ecuación N° 2: Contenido de humedad



Figura 7: Identificación de los recipientes.

2.3.5.3. DENSIDAD DE LOS AGREGADOS (NTP 400.017)

Densidad del agregado suelto seco

a. Materiales y equipos

- ❖ Agregado fino: arena gruesa de la cantera.
- ❖ Cucharón de Mano.
- ❖ Recipiente.
- ❖ Balanza con precisión de tres decimales.

b. Procedimiento:

- ❖ Se pesa y se toma medidas del recipiente.
- ❖ Se llena el recipiente por medio de un cucharón de mano desde una altura.
no mayor a 50 mm, hasta colmarlo.
- ❖ Se elimina el agregado sobrante con una regla.
- ❖ Se determina el peso del recipiente de medida más su contenido y el peso
del recipiente, registrar los pesos con una aproximación de 0.05 kg.
- ❖ La densidad del agregado suelto se calcula con la siguiente expresión:

$$PUSS = \frac{\text{Peso recipiente} + \text{Muestra} - \text{Peso Recipiente}}{\text{Volumen Recipiente}}$$

Ecuación N° 3: Densidad del agregado suelto seco



Figura 8: Llenado de material suelto.

Densidad del agregado compactado seco

a. Materiales y equipos

- ❖ Agregado fino: arena gruesa de la cantera.
- ❖ Cucharón de Mano.
- ❖ Recipiente más varilla para apisonar.
- ❖ Balanza con precisión de tres decimales.

b. Procedimiento:

- ❖ El material se coloca en tres capas de igual volumen aproximadamente, hasta colmarlo.
- ❖ En cada capa se nivela con la mano y se apisona con 25 golpes de varilla, distribuidos uniformemente en cada capa, utilizando el extremo semiesférico de la varilla. evitando que la varilla golpee el fondo del recipiente y lo mismo pasa con las siguientes capas superiores para que la varilla solo atraviese la respectiva capa.
- ❖ Colmado el recipiente se enrasa la superficie con la varilla, usándola como regla.
- ❖ Finalmente se determina el peso.

$$PUSS = \frac{\text{Peso recipiente} + \text{Muestra} - \text{Peso Recipiente}}{\text{Volumen Recipiente}}$$

Ecuación N° 4: Densidad del agregado compactado seco.



Figura 9: Apisonado del material.

2.3.6. ENSAYOS EN LADRILLOS

2.4.6.1 Variación Dimensional (NTP 399.604)

a. Resumen:

Por cada unidad, se medirá y registrará, el ancho (A) en longitud media de las superficies de apoyo superior e inferior, la altura (H) en la longitud de cada cara, y la longitud (L) en la altura media de cada cara. (Norma NTP 399.604).

b. Materiales / equipos

- ❖ Ladrillo de cemento.
- ❖ Regla graduada de acero en divisiones de 1.0 mm.
- ❖ Vernier (pie de rey).

c. Procedimiento

- ❖ Se mide en cada espécimen el largo, ancho y alto, con precisión de 1 mm. Cada medida se obtiene como promedio de las cuatro medidas entre los puntos medios de los bordes terminales de cada cara.



Figura 10: Medición de unidades de albañilería.

2.4.6.2 Succión (NTP 399.613)

a. Resumen:

Es la velocidad inicial con la que el ladrillo toma agua por capilaridad, medida en gramos de agua absorbidos por cada cm² de superficie puesta en contacto con el agua en un minuto, que midió la capacidad de imbibición de agua por capilaridad mediante inmersión parcial del ladrillo en un periodo corto de tiempo, es decir es la cantidad de agua que puede ascender por tensión capilar en una pieza. (Norma UNE 67031, 1986).

b. Materiales / equipos

- ❖ Unidades de ladrillo de cemento.
- ❖ Agua potable.
- ❖ Contenedor de agua.
- ❖ Regla.
- ❖ Balanza.

- ❖ Cronometro.

c. Procedimiento

- ❖ El número de piezas de la muestra será de 3 ladrillos. Se pesa cada ladrillo con precisión de 0.5 g y se secó a una temperatura comprendida entre 110 y 115 °C.
- ❖ Se mide el área (A) de la cara de la pieza que va a estar en contacto con el agua, con precisión de 1 mm. En una bandeja nivelada, se añadió agua hasta que queden cubiertos unos apoyos para los ladrillos, unos 3 mm manteniendo el nivel constante durante todo el ensayo. Cada pieza se colocó en posición de tabla, se asentó sobre los apoyos y se mantuvo así durante 1 minuto. Se sacó el ladrillo, se secó superficialmente con un paño escurrido y se obtuvo su peso, (Pm) en gramos.
- ❖ La succión (S), de cada pieza, expresada en gramos por centímetro cuadrado y minuto con precisión de 0.01 g/cm².

$$S = \frac{200 * (Pm - Ps)}{A}$$

Ecuación N° 5: Cálculo de succión

Donde:

Pm = Peso en gramos del ladrillo después de la inmersión.

Ps = Peso en gramos del ladrillo antes de la inmersión.

A = Área en centímetros cuadrados de la unidad de ladrillo. S = Aumento de peso corregido en gramos.



Figura 11: Unidad de albañilería en contacto con el agua.

2.4.6.3 Absorción (NTP 399.613)

a. Resumen

En esencia, el método consiste en la capacidad de absorción de agua de un ladrillo se define como el cociente entre el peso de agua que absorbe y su propio peso cuando está seco. (Verduch, 1986).

b. Materiales

- ❖ Unidades de ladrillo de cemento.
- ❖ Balanza con una precisión de 0,5 g.
- ❖ Recipiente de agua que pueda contener las muestras completamente sumergidas.
- ❖ Horno con libre circulación de aire que permita mantener una temperatura comprendida entre 110°C y 115°C.

c. Procedimiento

- ❖ Saturación: Sumergiendo los especímenes de prueba en agua a una temperatura de 15.6 °C a 26.7 °C por 24 horas. Retirar el agua con un paño húmedo; pesar y registrar como peso saturado (Ws).
- ❖ Secado: Secar los especímenes en un horno ventilado a 110 °C a 115°C por no menos de 24 horas, registrar los pesos de los especímenes secados (Wd).

$$\%Abs = \frac{(WS - WD)}{WD}$$

Ecuación N° 6: Cálculo de absorción

Donde:

Ws = Peso saturado del espécimen, (Kg)

Wd= Peso seco al horno del espécimen, (Kg)

2.4.6.4 Alabeo (NTP 399.613)

a. Materiales y equipos

- ❖ Una regla graduada de acero con divisiones desde un extremo, de 1 mm.
- ❖ Cuña de medición de 60 mm de longitud por 12,5 mm de ancho por 12,5 mm de espesor en un extremo.
- ❖ La cuña deberá estar graduada y numerada en divisiones de 1 mm.

b. Procedimiento

- ❖ Para realizar este ensayo se coloca la unidad en una mesa plana, dependiendo del tipo de alabeo, si es cóncavo se introduce una cuña metálica graduada en la zona que presente mayor flecha, si el tipo de

alabeo es convexo, se acomoda una regla metálica hasta que las medidas de los extremos sean iguales, introduciéndose allí la cuña.

- ❖ La concavidad y convexidad se miden con una regla y una cuña graduada, expresándose en milímetros.



Figura 12: Midiendo la concavidad y convexidad.

2.4.6.5 Ensayo a compresión (NTP 399.613)

a. Resumen

El procedimiento descrito en esta norma se basa en la aplicación de una carga progresiva de compresión a una muestra de ladrillo, para determinar su resistencia máxima admisible.

b. Disposición específica

La carga que se aplicó para determinar la resistencia a la compresión de un ladrillo ejerció el esfuerzo correspondiente, en la misma dirección en que las cargas o los pesos propios vayan a actuar sobre él en las construcciones. En caso de duda, esta dirección corresponderá a la menor dimensión del ladrillo.

c. Materiales /equipos

Máquina para ensayo a compresión axial, marca Forney, serie: 10165, capacidad: 250000 lb, debiendo estar provista para la aplicación de la carga de un rodillo de metal endurecido de asiento esférico y solidario con el cabezal superior de la máquina.

d. Procedimiento

- ❖ Las unidades fueron puestas en el horno a una temperatura de 110° C por no menos de 24 horas para que estén completamente secas.
- ❖ Luego se marcó una medida casi exacta en su longitud para que puedan ser cortadas a la mitad mediante una moledora, con la finalidad de obtener especímenes aproximadamente planos y paralelos, sin astillas ni rajaduras.
- ❖ Luego se refrenó las caras opuestas con una capa delgada de yeso de no menos de 3 mm; esto es debido a que las unidades de albañilería presentan deformaciones en las caras que son detectables en el proceso de recibir la carga en la máquina de compresión, es por eso que se coloca una capa de yeso y así las cargas puedan ser distribuidas uniformemente en toda el área de contacto de la unidad. Después de realizar este proceso se debe dejar secar el yeso por un tiempo no menor de 24 horas antes de ser ensayadas.
- ❖ Para el ensayo en la máquina de compresión, se aplica una carga vertical con una velocidad controlada por el técnico de tal manera que no llegue a la rotura en unos 3 a 5 minutos. Luego se debe anotar cada 500 kg de carga su respectiva deformación el deformímetro.
- ❖ Por último, se calcula la resistencia a compresión de la unidad dividiendo la carga última entre el área de contacto.

$$\sigma = \frac{(F)}{A}$$

Ecuación N° 7: Cálculo de compresión.



Figura 13: Unidades sometidas a compresión.

2.4.6.6 Ensayo a tracción por flexión (NTP 399.613)

a. Resumen

Este ensayo se efectuó para una muestra representativa de 10 unidades enteras y secas por cada ladrillo en estudio.

b. Materiales

Máquina para ensayo a compresión axial, marca Forney, serie: 10165, capacidad: 250000 lb., debiendo estar provista para la aplicación de la carga de un rodillo de metal endurecido de asiento esférico y solidario con el cabezal superior de la máquina.

c. Procedimiento

- ❖ Para este ensayo se requiere apoyar a la unidad sobre dos barras de acero sólidos de 12.7 mm de diámetro (3/8”). Estas barras estarán separadas 18 cm en la cara inferior del ladrillo.

- ❖ El ensayo consiste en aplicar una carga vertical concentrada; es decir en el centro de la unidad con la misma máquina para en ensayo a compresión.
- ❖ La resistencia a tracción por flexión se calcula con la siguiente fórmula:

$$\sigma_{ftb} = \frac{(3PL)}{2 * B * H^2}$$

Ecuación N° 8: Cálculo de tracción.



Figura 14: Unidades sometidas a tracción

Aspectos éticos

- Se está citando a todas las fuentes que han sido consultadas y consideradas en esta investigación.
- Todos los resultados se presentan sin alterar datos reales.
- Se respetó la política anti plagio.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en el laboratorio de suelos y tecnología del concreto. También se muestran los ensayos realizados en los ladrillos de arena con inyección de CO₂.

3.1.Resultados de las características físicas del agregado

3.1.1. Análisis granulométrico

En la tabla 7 se muestra el análisis granulométrico del agregado utilizado en el presente estudio.

Tabla 7
Resultado del ensayo análisis granulométrico

TAMIZ (pulg)	(mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
N°4	4.75	14.90	0.99%	0.99%	99.01%
N°8	2.36	12.5	0.83%	1.83%	98.17%
N°16	1.18	29.4	1.96%	3.79%	96.21%
N°30	0.6	334.5	22.32%	26.11%	73.89%
N°50	0.3	629.7	42.02%	68.12%	31.88%
N°100	0.15	350.55	23.39%	91.51%	8.49%
CAZOLETA		127.2	8.49%	100.00%	0.00%
TOTAL		1498.75			

Nota. Esta tabla muestra el análisis granulométrico del agregado de la cantera sapos.

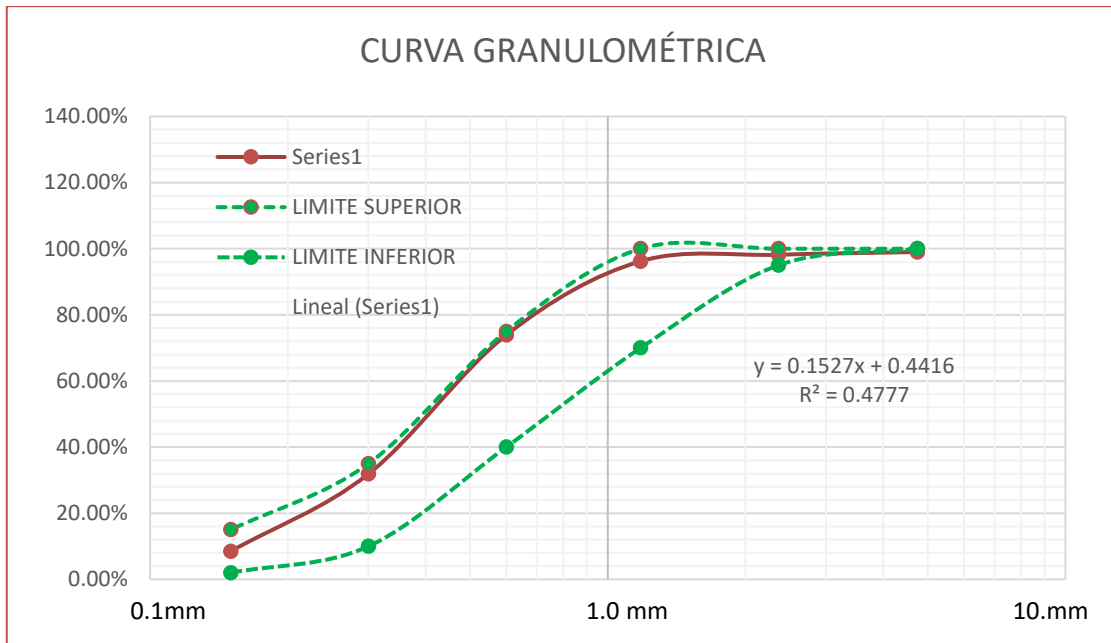


Figura 15: En esta figura podemos apreciar la curva granulométrica que se encuentra dentro de los límites granulométricos indicados en la norma E 070.

$$\text{Módulo de finura} = \frac{\sum \% \text{Retenido acumulado (Hasta el tamiz \#100)}}{100}$$

$$\text{Módulo de finura} = \frac{0.99+1.83+3.79+26.11+68.12+91.51}{100}$$

$$\text{Módulo de finura} = 1.92\%$$

El módulo de finura se calculó sumando el porcentaje acumulado retenido de material de cada uno de los siguientes tamices (porcentaje acumulado retenido): N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50 y N° 100, dividiéndolo entre 100. El módulo de finura calculado es de 1.92% comprendido entre 1,6 y 2.5, como se indica en la norma.

3.1.2. Contenido de humedad

En la Tabla 8 se muestran los resultados de contenido de humedad.

Tabla 8

Resultado del ensayo contenido de humedad del agregado fino

ID	Descripción	Und	1	2	3
A	Identificación del recipiente o tara		M-01	M-02	M-03
B	Peso del recipiente	gr	27.9	27.9	27.9
C	Recipiente + suelo húmedo	gr	150.35	155.21	177.53
D	Recipiente + suelo seco	gr	147.1	151.05	173.45
E	Peso del suelo húmedo c-b	gr	122.45	127.31	149.63
F	Peso del suelo seco d-b	gr	119.2	123.15	145.55
W%	% de humedad	%	2.73	3.38	2.80
G	Promedio	%		2.97	

Nota. Esta tabla muestra el contenido de humedad promedio de 2.97% del agregado fino de la cantera sapos.

3.1.3. Densidad del agregado

En la Tabla 9 se muestran los resultados del ensayo de densidad de. Agregado suelto y compactado del agregado fino.

Tabla 9
Resultado del ensayo densidad del agregado fino

I D	DESCRIPCIÓN	UN D				RESULTA DO
			1	2	3	
A	Peso de molde +AF	Kg	22.310	22.253	22.286	
B	Peso de molde compactado	Kg	4.785	4.785	4.785	
C	Volumen del Molde	m ³	0.0094 1	0.0094 1	0.0094 1	
D	Peso de AF compactado C=A-B	Kg	17.525	17.468	17.501	
E	DENSIDAD DEL AGREGADO COMPACTA DO E=D/VOL. MOLDE	Kg/m ³	1862.3 80	1856.3 23	1859.8 29	1859.51116
F	Peso de molde +AF Suelto	Kg	21.763	21.825	21.805	
G	Peso de molde	Kg	4.785	4.785	4.785	
H	Volumen del Molde	m ³	0.0094 1	0.0094 1	0.0094 1	
I	Peso del AF Suelto=F-H	Kg	16.978	17.04	17.02	
J	DENSIDAD DEL AGREGADO SUELTO J=I/ VOL. MOLDE	Kg/m ³	1804.2 50	1810.8 39	1808.7 14	1807.93482

Nota. Esta tabla muestra la densidad del agregado compactado y la densidad del agregado suelto del agregado fino de la cantera sapos.

3.2.Resultados de las unidades de ladrillos

3.2.1 Ensayo de variación dimensional

Tabla 10

Resultado ensayo variación dimensional largo - ladrillo Tipo 1 tamiz (N° 30, 50, 100)

Muestra	Largo			Resultados por cada unidad	
	L1	L2	L Prom	δ	V(%)
M1,7	216	218	217.00	1.41	0.65
M1,8	217	218	217.50	0.71	0.33
M1,9	219	218	218.50	0.71	0.32
M1,10	219	217	218.00	1.41	0.65
M1,11	218	219	218.50	0.71	0.32
		Promedio =	217.90		
		δ =	0.65		
		V(%) =	0.30		

Nota. Esta tabla muestra la longitud promedio de 217.90mm de los ladrillos M1,7 A M1,11 realizada con la primera granulometría.

Tabla 11

Resultado ensayo variación dimensional ancho - ladrillo tipo 1 tamiz (N° 30, 50, 100)

Muestra	Ancho (mm)			Resultados por cada unidad	
	A1	A2	A Prom	δ	V(%)
M1,7	108	109	108.50	0.71	0.65
M1,8	106	110	108.00	2.83	2.62
M1,9	107	109	108.00	1.41	1.31
M1,10	105	109	107.00	2.83	2.64
M1,11	109	107	108.00	1.41	1.31
		Promedio =	107.90		
		δ =	0.55		
		V(%) =	0.51		

Nota. Esta tabla muestra el ancho promedio de los ladrillos M1,7 A M1,11 realizada con la primera granulometría.

Tabla 12

Resultado ensayo variación dimensional altura - ladrillo tipo 1 tamiz (N° 30, 50, 100)

Muestra	Altura (mm)					Resultados por cada unidad	
	A1	A2	A3	A4	H Prom	δ	V(%)
M1,7	90	90	88	87	88.75	1.50	1.69
M1,8	85	89	88	89	87.75	1.89	2.16
M1,9	90	87	90	87	88.50	1.73	1.96
M1,10	87	90	86	89	88.00	1.83	2.07
M1,11	86	90	87	90	88.25	2.06	2.34
Promedio =					88.25		
δ =					0.40		
V(%) =					0.45		

Nota. Esta tabla muestra la altura promedio de los ladrillos M1,7 A M1,11 realizada con la primera granulometría.

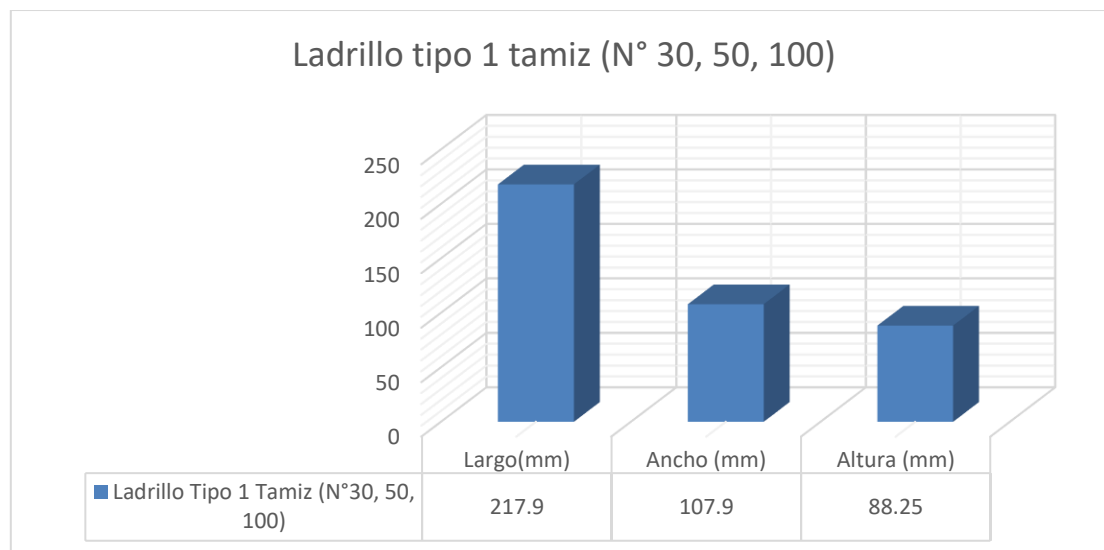


Figura 16: En esta figura podemos apreciar la variación dimensional promedio de los ladrillos M1,7 A M1,11.

De las tablas antes mencionadas y del gráfico del ensayo variación dimensional de la primera granulometría tamiz (N° 30, 50, 100) se puede interpretar que al tratarse de un material que puede adquirir cualquier forma, la variación dimensional de estas unidades de ladrillo no tienen variaciones significativas teniendo un largo de 217.9 mm, un ancho de 107.9 mm y una altura 88mm. Donde hay variaciones de 0.21 mm, 0.21 mm y 0.2 mm respectivamente

con respecto a las medidas de un ladrillo artesanal convencional que es de 22 cm x 11 cm x 9 cm.

Tabla 13

Resultado ensayo variación dimensional largo - ladrillo tipo 2 tamiz (N° 4, 8, 16)

Muestra	Largo			Resultados por cada unidad	
	L1	L2	L Prom	δ	V(%)
M2,7	215	219	217.00	2.83	1.30
M2,8	218	219	218.50	0.71	0.32
M2,9	219	217	218.00	1.41	0.65
M2,10	218	219	218.50	0.71	0.32
M2,11	215	218	216.50	2.12	0.98
		Promedio =	217.70		
			δ =	0.91	
			V(%) =	0.42	

Nota. Esta tabla muestra la longitud promedio de los ladrillos M2,7 A M2,11 realizada con la segunda granulometría.

Tabla 14

Resultado ensayo variación dimensional largo - ladrillo tipo 2 tamiz (N° 4, 8, 16)

Muestra	Ancho (mm)			Resultados por cada unidad	
	A1	A2	A Prom	δ	V(%)
M2,7	108	109	108.50	0.71	0.65
M2,8	108	107	107.50	0.71	0.66
M2,9	108	110	109.00	1.41	1.30
M2,10	109	110	109.50	0.71	0.65
M2,11	109	108	108.50	0.71	0.65
		Promedio =	108.60		
			δ =	0.74	
			V(%) =	0.68	

Nota. Esta tabla muestra el ancho promedio de los ladrillos M2,7 A M2,11 realizada con la segunda granulometría,

Tabla 15

Resultado ensayo variación dimensional largo - ladrillo tipo 2 tamiz (N° 4, 8, 16)

Muestra	Altura (mm)				Resultados por cada unidad		
	A1	A2	A3	A4	H Prom	δ	V(%)
M2,7	87	89	88	88	88.00	0.82	0.93
M2,8	90	88	87	89	88.50	1.29	1.46
M2,9	89	89	88	89	88.80	0.50	0.56
M2,10	87	90	86	90	88.30	2.06	2.34
M2,11	90	88	90	88	89.00	1.15	1.30
Promedio =					88.70		
δ =					0.54		
V(%) =					0.61		

Nota. Esta tabla muestra la altura promedio de los ladrillos M2,7 A M2,11 realizada con la segunda granulometría.

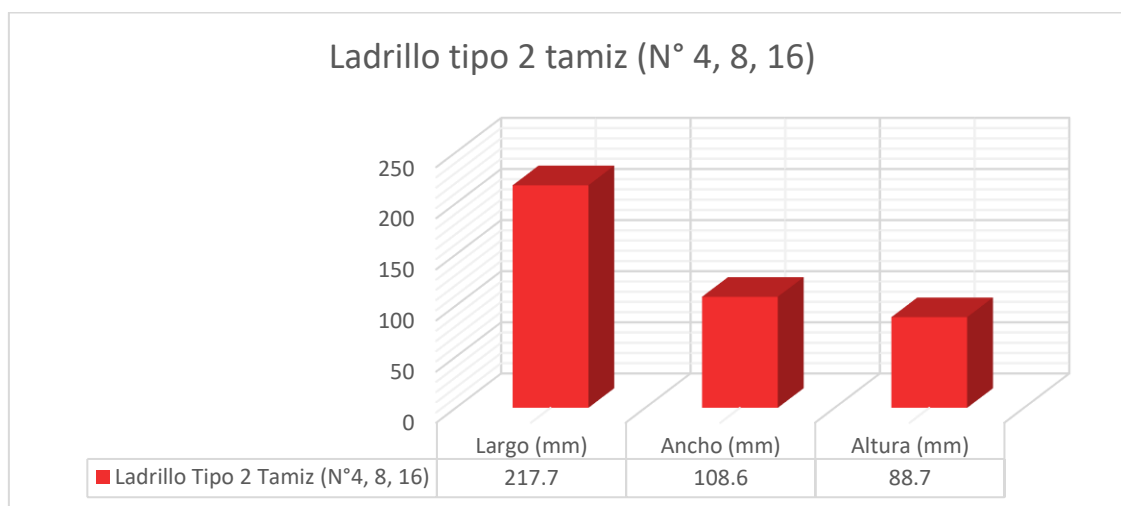


Figura 17: En esta figura podemos apreciar la variación dimensional promedio de los ladrillos M 2,7 A M 2,11

De las tablas antes mencionadas y del gráfico del ensayo variación dimensional de la segunda granulometría Tamiz (N° 4, 8, 16) se puede interpretar que al tratarse de un material que puede adquirir cualquier forma, la variación dimensional de estas unidades de ladrillo no tienen variaciones significativas teniendo un largo de 217.7 mm, un ancho de 108.60 mm y una altura 88.70 mm. Donde hay variaciones de 0.23 mm, 0.14 mm y 0.13 mm

respectivamente con respecto a las medidas de un ladrillo artesanal convencional que es de 22 cm x 11 cm x 9 cm.

Tabla 16
Resultado ensayo variación dimensional largo- ladrillo tipo 3 tamiz (estado natural)

Muestra	Largo (mm)			Resultados por cada unidad	
	L1	L2	L Prom	δ	V(%)
M3,7	217	220	218.50	2.12	0.97
M3,8	216	218	217.00	1.41	0.65
M3,9	221	218	219.50	2.12	0.97
M3,10	215	220	217.50	3.54	1.63
M3,11	220	218	219.00	1.41	0.65
		Promedio =	218.3		
		δ =	1.04		
		V(%) =	0.47		

Nota. Esta tabla muestra la longitud promedio de los ladrillos M3,7 A M3,11 realizada con la tercera granulometría.

Tabla 17
Resultado ensayo variación dimensional ancho- ladrillo tipo 3 tamiz (estado natural)

Muestra	Ancho (mm)			Resultados por cada unidad	
	A1	A2	A Prom	δ	V(%)
M3,7	107	109	108.0	1.41	1.31
M3,8	111	108	109.5	2.12	1.94
M3,9	109	110	109.5	0.71	0.65
M3,10	110	108	109.0	1.41	1.30
M3,11	108	109	108.5	0.71	0.65
		Promedio =	108.9		
		δ =	0.65		
		V(%) =	0.60		

Nota. Esta tabla muestra el ancho promedio de los ladrillos M3,7 A M3,11 realizada con la tercera granulometría.

Tabla 18

Resultado ensayo variación dimensional largo- ladrillo tipo 3 tamiz (estado natural)

Muestra	Altura (mm)				Resultados por cada unidad		
	A1	A2	A3	A4	H Prom	δ	V(%)
M3,7	90	85	90	86	87.8	2.63	3.00
M3,8	87	88	87	88	87.5	0.58	0.66
M3,9	90	89	87	89	88.8	1.26	1.42
M3,10	89	88	89	90	89.0	0.82	0.92
M3,11	88	90	87	87	88.0	1.41	1.61
Promedio =					88.2		
δ =					0.65		
V(%) =					0.73		

Nota. Esta tabla muestra la altura promedio de los ladrillos M3,7 A M3,11 realizada con la tercera granulometría.

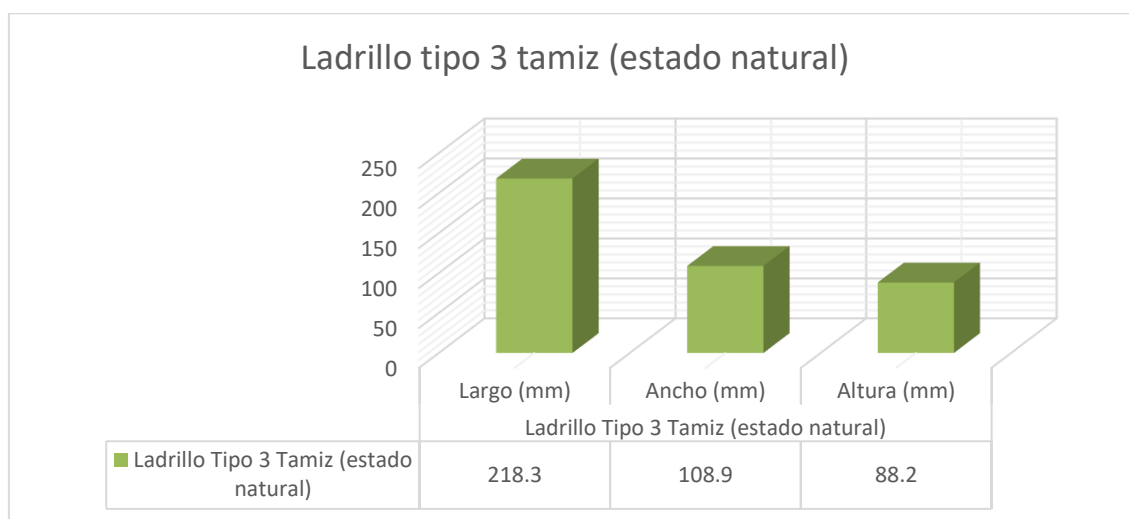


Figura 18: En esta figura podemos apreciar la variación dimensional promedio de los ladrillos M 3,7 A M 3,11.

De las tablas antes mencionadas y del gráfico del ensayo variación dimensional de la segunda granulometría tamiz (en estado natural) se puede interpretar que al tratarse de un material que puede adquirir cualquier forma, la variación dimensional de estas unidades de ladrillo no tienen variaciones significativas teniendo un largo de 218.3 mm, un ancho de 108.90 mm

y una altura 88.20 mm. Donde hay variaciones de 0.17 mm, 0.11 mm y 0.18 mm respectivamente con respecto a las medidas de un ladrillo artesanal convencional que es de 22 cm x 11 cm x 9 cm.

Resumen

Tabla 19

Resumen de dimensiones promedio

Ladrillo	Dimensiones		
	L (mm)	A (mm)	H(mm)
Ladrillo Tipo 1 - M1	217.90	107.90	88.25
Ladrillo Tipo 2 -M2	217.70	108.60	88.67
Ladrillo Tipo 3 -M3	218.30	108.90	88.20

Nota. Esta tabla muestra el resumen de variación dimensional promedio de los tres tipos de ladrillos M1, A M3.

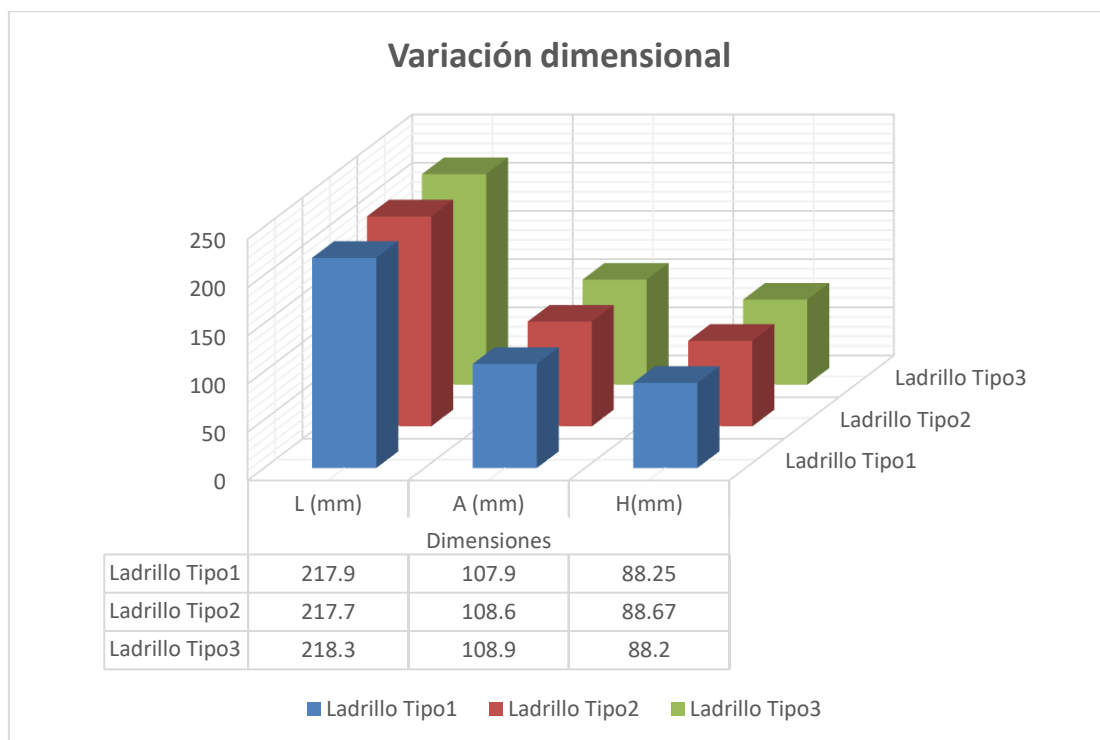


Figura 19: Comparación promedio de los tres tipos de ladrillos M1 A M3

De la tabla y gráfico resumen antes mencionadas del ensayo variación dimensional podemos interpretar que de las tres granulometrías en estudio la granulometría N°1 es la que menos

variación presenta en sus dimensiones: (L)=Largo, (A)=Ancho, (H)=Altura (L= 0.30%, A=0.51%, H=0.45%), y la granulometría N°2 es la que mayor variación presenta en sus dimensiones (L= 0.47%, A=0.60%, H=0.73%).

3.2.2 Ensayo de succión

Tabla 20

Resultados de ensayo a succión ladrillo tipo 1 tamiz (N° 30, 50, 100)

Espécimen	Área de asiento (cm)	Pm - Ps (gr)	Succión (gr/ 200/min)
M1, 4	238.71	246.50	206.53
M1,5	239.80	245.80	205.00
M1,6	242.00	245.30	202.73
Promedio			204.75

Nota. Esta tabla muestra la succión promedio de los ladrillos M1,4 A M1,6 realizada con la primera granulometría.

Tabla 21

Resultados de ensayo a succión ladrillo tipo 2 tamiz (N° 4, 8, 16)

Espécimen	Área de asiento (cm)	Pm - Ps (gr)	Succión (gr/ 200/min)
M2, 4	238.70	301.90	252.95
M2,5	238.70	305.00	255.55
M2,6	239.80	310.10	258.63
Promedio			255.71

Nota. Esta tabla muestra la succión promedio de los ladrillos M2,4 A M2,6 realizada con la segunda granulometría.

Tabla 22

Resultados de ensayo a succión ladrillo tipo 3 estado natural

Espécimen	Área de asiento (cm)	Pm - Ps (gr)	Succión (gr/ 200/min)
M3, 4	230.02	301.90	262.50
M3,5	239.80	301.40	251.38
M3,6	237.60	300.60	253.03
Promedio			255.64

Nota. Esta tabla muestra la succión promedio de los ladrillos M3,4 A M3,6 realizada con la tercera granulometría.

Resumen

Tabla 23

Resumen de succión promedio

Ladrillo	Succión (gr/200/min)
Ladrillo Tipo 1 - M1	204.75
Ladrillo Tipo 2 -M2	255.71
Ladrillo Tipo 3 -M3	255.64

Nota. Esta tabla muestra el resumen promedio del ensayo de succión de los tres tipos de ladrillos M1, A M3.

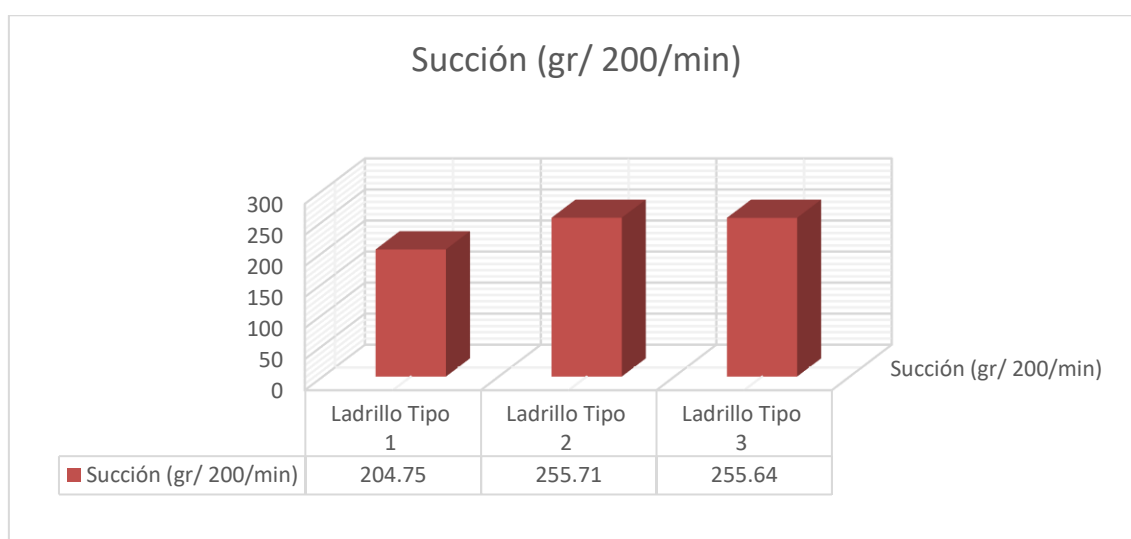


Figura 20: Comparación promedio de los tres tipos de ladrillos M1 A M3.

De las tablas antes mencionadas y del gráfico del ensayo a la succión podemos interpretar que con la primera granulometría se tiene una succión menor de 204.75g y con la segunda granulometría una succión mayor de 255.71g esta variación depende de la porosidad de las caras de los ladrillos a mayor porosidad mayores succiones.

3.2.3 Ensayo de absorción

Tabla 24

Resultados de ensayo de absorción ladrillo tipo 1 tamiz (N° 30, 50, 100)

Especímenes	Pm	Ps	Absorción % Pm-Ps/Ps
M1, 1	3827.00	3430.00	11.57
M1,2	3826.90	3436.20	11.37
M1,3	3824.60	3433.40	11.39
Promedio	3826.17	3433.20	11.45

Nota. Esta tabla muestra la absorción promedio de los ladrillos M1,1 A M1,3 realizada con la primera granulometría.

Tabla 25

Resultados de ensayo de absorción ladrillo tipo 2 tamiz (N° 4, 8, 16)

Especímenes	Pm	Ps	Absorción % Pm-Ps/Ps
M2, 1	3743.10	3287.2	13.87
M2,2	3740.10	3283.9	13.89
M2,3	3745.80	3288.6	13.90
Promedio	3743.00	3286.57	13.89

Nota. Esta tabla muestra la absorción promedio de los ladrillos M2,1 A M2,3 realizada con la segunda granulometría.

Tabla 26

Resultados de ensayo de absorción ladrillo tipo 3 estado natural

Especímenes	Pm	Ps	Absorción % Pm-Ps/Ps
M3, 1	3790.4	3267.5	16.00
M3,2	3794.3	3268.4	16.09
M3,3	3797.2	3264.8	16.31
Promedio	3793.97	3266.90	16.13

Nota. Esta tabla muestra la absorción promedio de los ladrillos M3,1 A M3,3 realizada con la tercera granulometría.

Resumen

Tabla 27

Resumen de absorción promedio

Especímenes	Pm	Ps	Absorción % Pm-Ps/Ps
Ladrillo Tipo 1 - M1	3826.17	3433.20	11.45
Ladrillo Tipo 2 -M2	3743.00	3286.57	13.89
Ladrillo Tipo 3 -M3	3793.97	3266.90	16.13

Nota. Esta tabla muestra el resumen promedio del ensayo de absorción de los tres tipos de ladrillos M1, A M3.

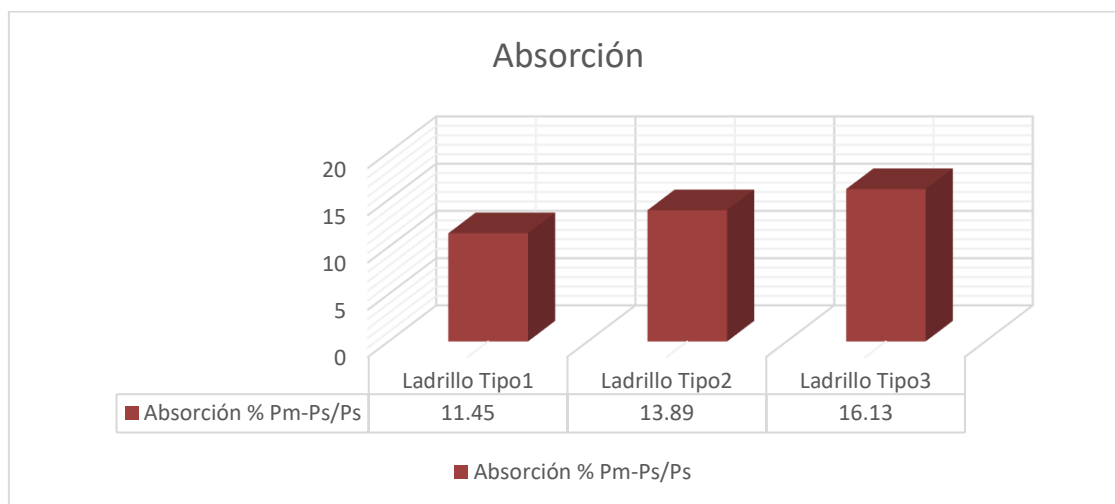


Figura 21: Comparación promedio de los tres tipos de ladrillos M1 A M3.

De las tablas antes mencionadas y del gráfico del ensayo a la absorción podemos interpretar que con la primera granulometría se tiene una absorción menor de 11.45% y una absorción mayor con la tercera granulometría de 16.13% esta variación depende de la porosidad de las caras de los diferentes ladrillos a mayor porosidad presentan mayores absorciones.

3.2.4 Ensayo de alabeo

Tabla 28

Resultados de ensayo de alabeo ladrillo tipo 1 tamiz (N° 30, 50, 100)

Muestra	Cara A		Cara B		Alabeo	
	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)
M1,12	0.1	0.0	0.2	0	0.15	0
M1,13	0.20	0.1	0.1	0	0.15	0.05
M1,14	0.25	0.1	0.2	0	0.23	0.05
					PROMEDIO	0.18
						0.0

Nota. Esta tabla muestra el alabeo promedio de los ladrillos M1,12 A M1,14 realizada con la primera granulometría.

Tabla 29

Resultados de ensayo de alabeo ladrillo tipo 2 tamiz (N° 4, 8, 16)

Muestra	Cara A		Cara B		Alabeo	
	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)
M2,12	0.25	0.1	0.2	0.1	0.23	0.1
M2,13	0.20	0.0	0.2	0	0.2	0
M2,14	0.20	0.1	0.25	0.15	0.23	0.125
					PROMEDIO	0.22
						0.1

Nota. Esta tabla muestra el alabeo promedio de los ladrillos M2,12 A M2,14 realizada con la segunda granulometría.

Tabla 30

Resultados de ensayo de alabeo ladrillo tipo 3 tamiz estado natural

Muestra	Cara A		Cara B		Alabeo	
	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)
M3,12	0.2	0.1	0.1	0.1	0.15	0.1
M3,13	0.25	0.1	0.2	0.1	0.23	0.1
M3,14	0.1	0	0.2	0.1	0.15	0.05
					PROMEDIO	0.18
						0.1

Nota. Esta tabla muestra el alabeo promedio de los ladrillos M3,12 A M3,14 realizada con la tercera granulometría.

Resumen

Tabla 31

Resumen del alabeo promedio

LADRILLO	Alabeo en (mm)	
	Cóncavo	Convexo
Ladrillo Tipo 1 - M1	0.18	0.0
Ladrillo Tipo 2 -M2	0.22	0.1
Ladrillo Tipo 3 -M3	0.18	0.1

Nota. Esta tabla muestra el resumen promedio del ensayo de alabeo de los tres tipos de ladrillos M1, A M3.

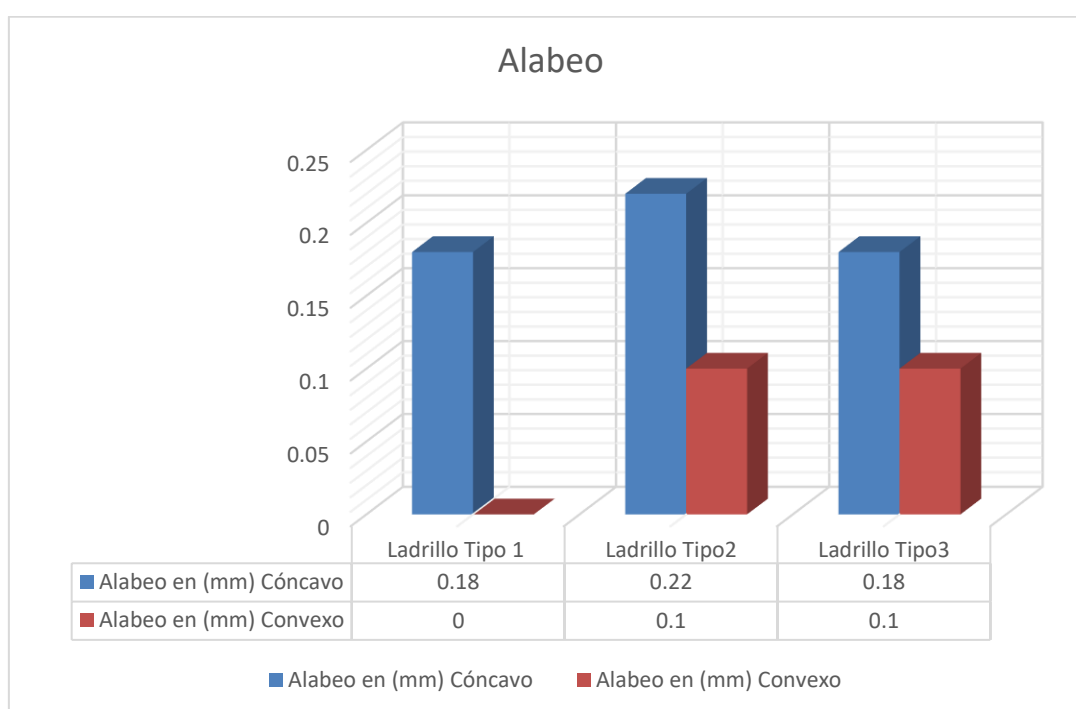


Figura 22: Comparación promedio de los tres tipos de ladrillos M1 A M3.

De las tablas antes mencionadas y del gráfico del ensayo de alabeo podemos interpretar que la arena al ser un material que puede adaptarse a cualquier forma no presenta concavidad ni convexidad pronunciada siendo la de mayor concavidad el ladrillo con la segunda granulometría de 0.22 mm y la de menor concavidad las granulometrías una y tres con 0.18 mm.

3.2.5 Ensayo a compresión

Tabla 32

Resultados de ensayo a compresión ladrillo tipo 1 tamiz (N° 30, 50, 100)

Muestra	Dimensiones (L x A) (cm ²)		Área (cm ²)	Carga (Kg)	fb (Kg/cm ²)
M1,1	21.9	10.8	236.52	5112	21.61
M1,2	21.8	10.95	238.71	4828	20.23
M1,3	21.9	10.95	239.81	4850	20.22
M1,4	21.95	10.95	240.35	4720	19.64
M1,5	21.9	10.95	239.81	4731	19.73
M1,6	21.95	10.95	240.35	4700	19.55
M1,7	21.7	10.85	235.45	4750	20.17
M1,8	21.75	10.8	234.90	4760	20.26
Promedio =					20.18
δ =					0.65
Promedio-δ =					19.53

Nota. Esta tabla muestra el esfuerzo a la compresión promedio de los ladrillos M1,1 A M1,8 realizada con la primera granulometría.

Tabla 33

Resultados de ensayo a compresión ladrillo Tipo 2 tamiz (N° 4, 8, 16)

Muestra	Dimensiones (cm)		Área (cm ²)	Carga (Kg)	fb (Kg/cm ²)
M2,1	21.85	10.95	239.26	2911.00	12.17
M2,2	21.95	10.95	240.35	3114.00	12.96
M2,3	21.80	10.85	236.53	3320.00	14.04
M2,4	21.80	10.95	238.71	3340.00	13.99
M2,5	21.95	10.90	239.26	3255.00	13.60
M2,6	22.00	10.90	239.80	3210.00	13.39
M2,7	21.70	10.85	235.45	3235.00	13.74
M2,8	21.85	10.75	234.89	3218.00	13.70
Promedio =					13.45
δ =					0.62
Promedio-δ =					12.83

Nota. Esta tabla muestra el esfuerzo a la compresión promedio de los ladrillos M2,1 A M2,8 realizada con la segunda granulometría.

Tabla 34

Resultados de ensayo a compresión ladrillo Tipo 3 estado natural

Muestra	Dimensiones (cm)		Área (cm ²)	Carga (Kg)	fb (Kg/cm ²)
M3,1	21.95	10.95	240.35	1600.00	6.66
M3,2	21.95	10.85	238.16	1694.00	7.11
M3,3	21.95	10.80	237.06	1800.00	7.59
M3,4	21.85	10.95	239.26	1790.00	7.48
M3,5	21.80	10.80	235.44	1500.00	6.37
M3,6	21.90	10.85	237.62	1550.00	6.52
M3,7	21.85	10.80	235.98	1570.00	6.65
M3,8	21.70	10.95	237.62	1580.00	6.65
Promedio =					6.88
δ =					0.46
Promedio-δ =					6.42

Nota. Esta tabla muestra el esfuerzo a la compresión promedio de los ladrillos M3,1 A M3,8 realizada con la tercera granulometría.

Resumen

Tabla 35

Resumen de resistencia a compresión promedio

Ladrillo	Resistencia a compresión en unidades kg/cm ²
Ladrillo Tipo 1 - M1	19.53
Ladrillo Tipo 2 -M2	12.83
Ladrillo Tipo 3 -M3	6.42

Nota. Esta tabla muestra el resumen promedio del ensayo la resistencia promedio a la Compresión de los tres tipos de ladrillos M1, A M3,

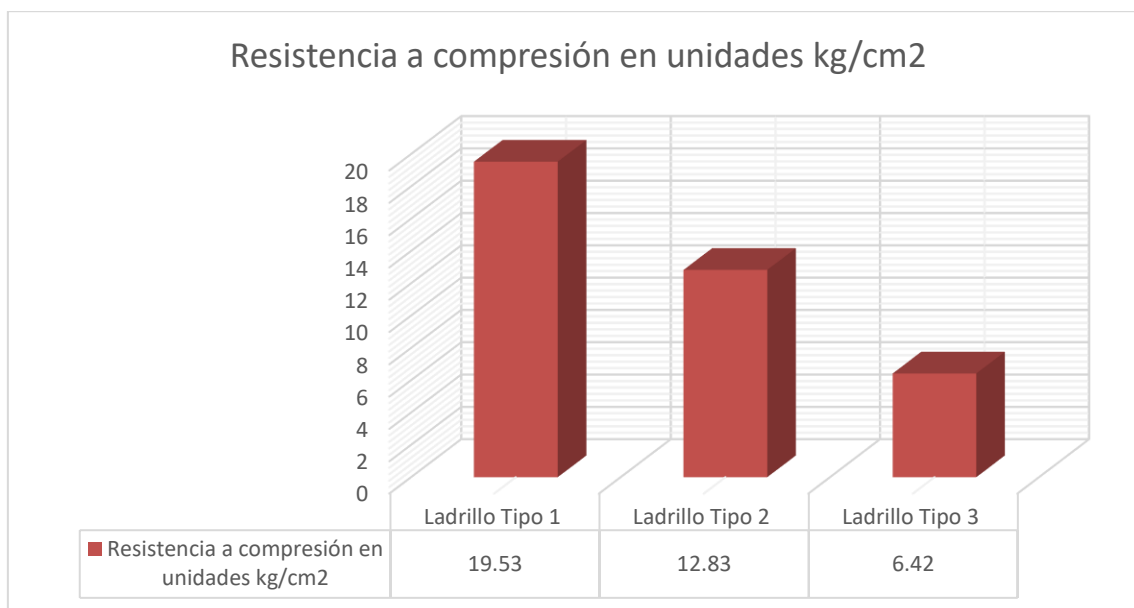


Figura 23: Comparación compresión promedio de los tres tipos de ladrillos M1 A M3.

De las tablas antes mencionadas y del gráfico del ensayo a compresión podemos interpretar que los ladrillos de arena tipo 1 con la primera granulometría tienen una mayor resistencia con 19.53 kg/cm² y una menor resistencia las de granulometría número 3 con 6.42kg/cm² esto se debe a que en la granulometría 1 al presentar más finos el CO₂ llega a todas las partículas logrando un producto más sólido en cambio en la granulometría tres al haber presencia de piedras no llega a su totalidad el CO₂ y por ende lo hace menos resistente.

3.2.6 Ensayo a tracción

Tabla 36

Resultados de ensayo a tracción ladrillo tipo 1 tamiz (N° 30, 50, 100)

Muestra	Dimensiones (LxA)(cm)		Área(cm ²)	carga(Kg)	fb(Kg/cm ²)
M1,9	21.85	10.80	235.98	330.00	1.40
M1,10	21.80	10.80	235.44	310.00	1.32
M1,11	21.85	10.80	235.98	320.00	1.27
M1,12	21.80	10.80	235.44	330.00	1.40
M1,13	21.75	10.85	235.99	350.00	1.70
M1,14	21.80	10.85	236.53	310.00	1.27
M1,15	21.70	10.85	235.45	340.00	1.44
M1,16	21.75	10.85	235.99	350.00	1.48
				Promedio=	1.41
				δ=	0.14
				Promedio-δ =	1.27

Nota. Esta tabla muestra el esfuerzo a la tracción promedio de los ladrillos M1,9 A M1,16 realizada con la primera granulometría.

Tabla 37

Resultados de ensayo a tracción ladrillo tipo 2 tamiz (N° 4, 8, 16)

Muestra	Dimensiones (LxA)(cm)		Área(cm ²)	carga(Kg)	fb(Kg/cm ²)
M2,9	21.80	10.90	237.62	210.00	0.88
M2,10	21.85	10.95	239.26	220.00	0.92
M2,11	21.65	10.85	234.90	200.00	0.85
M2,12	21.80	10.85	236.53	200.00	0.85
M2,13	21.80	10.90	237.62	210.00	0.88
M2,14	21.85	10.85	237.07	200.00	0.84
M2,15	21.80	10.90	237.62	210.00	0.88
M2,16	21.80	10.85	236.53	220.00	0.93
				Promedio=	0.88
				δ=	0.03
				Promedio-δ =	0.85

Nota. Esta tabla muestra el esfuerzo a la tracción promedio de los ladrillos M1,9 A M1,16 realizada con la segunda granulometría.

Tabla 38

Resultados de ensayo a tracción ladrillo tipo 3 estado natural

Muestra	Dimensiones (LxA)(cm)		Área(cm ²)	carga(Kg)	fb(Kg/cm ²)
M3,9	21.95	10.95	240.35	180.00	0.75
M3,10	21.75	10.90	237.08	170.00	0.72
M3,11	21.90	10.85	237.62	180.00	0.76
M3,12	21.90	10.95	239.81	150.00	0.63
M3,13	21.85	10.90	238.17	170.00	0.71
M3,14	21.90	10.80	236.52	180.00	0.76
M3,15	21.90	10.95	239.81	160.00	0.67
M3,16	21.85	10.90	238.17	150.00	0.63
				Promedio=	0.70
				δ=	0.05
				Promedio-δ =	0.65

Nota. Esta tabla muestra el esfuerzo a la tracción promedio de los ladrillos M1,9 A M1,16 realizada con la tercera granulometría.

Resumen

Tabla 39

Resumen de resistencia a tracción promedio

Ladrillo	Resistencia a tracción en unidades kg/cm ²
Ladrillo Tipo 1 - M1	1.27
Ladrillo Tipo 2 -M2	0.85
Ladrillo Tipo 3 -M3	0.65

Nota. Esta tabla muestra el resumen promedio del ensayo la resistencia promedio a la tracción de los tres tipos de ladrillos M1, A M3.

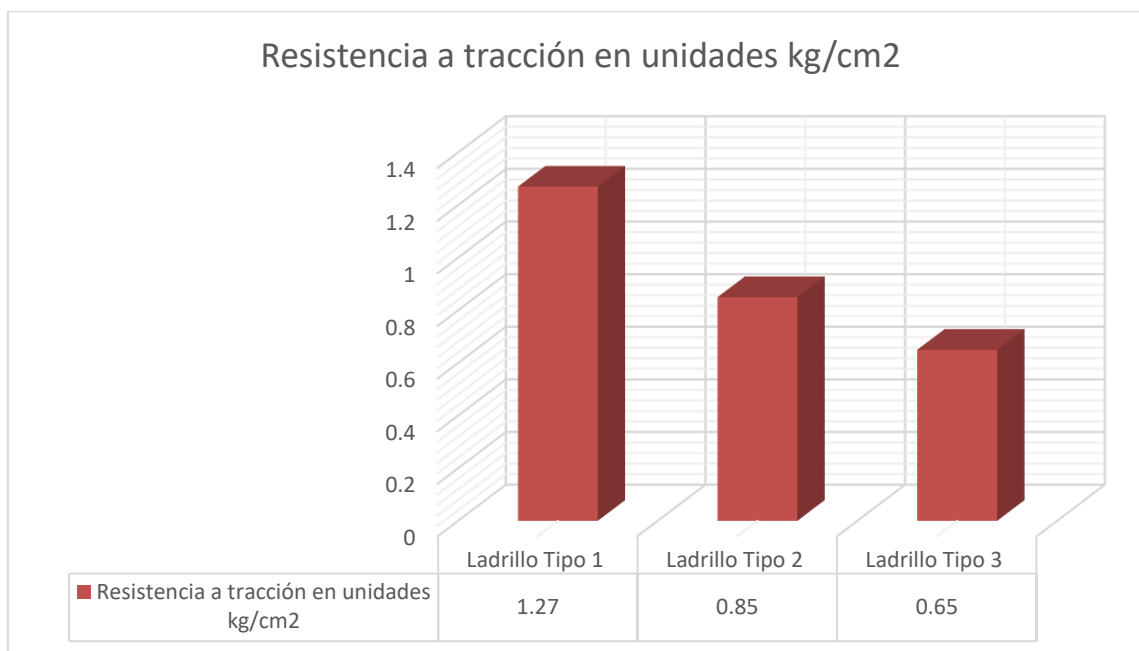


Figura 24: Comparación promedio de los tres tipos de ladrillos M1 A M3.

De las tablas antes mencionadas y del gráfico del ensayo a compresión podemos interpretar que los ladrillos de arena tipo 1 con la primera granulometría tienen una mayor resistencia con 1.27 kg/cm² y una menor resistencia las de granulometría número 3 con 0.65 kg/cm² esto se debe a que en la granulometría 1 al presentar más finos el CO₂ llega a todas las partículas logrando un producto más sólido en cambio en la granulometría tres al haber presencia de piedras no llega a su totalidad el CO₂ y por ende lo hace menos resistente.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

- De acuerdo a la clasificación del ladrillo de la tabla 4 de la Norma Técnica E.070, los resultados obtenidos de los ensayos de la tabla 19 determinó que, debido a la variación de la dimensión, clasificamos al ladrillo de arena con inyección de CO₂ en tipo V.

Según (ITINTEC 331.017,1978). Al clasificarse en un ladrillo tipo V nos indica que tiene una resistencia y durabilidad alta. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio particularmente rigurosas.

- Según la Norma E.070, nos indica que las unidades deben tener una succión comprendida entre 10 y 20 gr/200cm² /min antes de ser asentadas, para lo cual ninguna de las unidades en estudio que se muestra en la tabla 23 cumple lo permitido por la norma y más bien sobrepasa el límite. Estos resultados traen consecuencias al momento de la construcción, en las uniones entre el ladrillo y el mortero. El mortero, debido a una rápida pérdida de parte del agua que es absorbida por el ladrillo hace que se deforme y endurezca generando una adhesión pobre e incompleta con la cara de la siguiente unidad, quedando uniones de baja resistencia. Es por ello, que la norma E.070 recomienda que se deben regar durante media hora a las unidades de albañilería entre 10 y 15 horas antes de ser asentadas.

- En el ensayo de alabeo si las juntas de mortero son mayores de 15 mm, reducirán la resistencia de la albañilería, asimismo, puede disminuir la adherencia con el mortero al formarse vacíos como especie de cangrejas en las zonas más alabeadas o incluso puede producir fallas de tracción por flexión en la unidad, por inspección de la Tabla 31, se puede interpretar, que los tres tipos de ladrillos en las tres granulometrías no tendrán este tipo de problema, porque el alabeo máximo obtenido de los ensayos es de 0.22 mm, menor a lo especificado en la norma, 2 mm para el tipo V. Sin embargo, la Norma INDECOPI 331.17 no incluye el alabeo como parámetro de clasificación.
- Según la Norma E.070, nos indica que cuánto más elevada sea la absorción de la unidad, ésta será más porosa y, por tanto, menos resistente al intemperismo. El límite máximo de absorción que se especifica para las unidades de arcilla o de sílice-cal (22%), para lo cual todas las unidades en estudio que se muestra en la tabla 27 cumplen con lo exigido por la norma.
- Teniendo en cuenta que la resistencia a compresión es el valor más relevante para definir su clasificación, denominamos al ladrillo de arena con inyección de CO₂ en un ladrillo tipo I. Según la tabla 35 nos muestra que la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería con diferentes granulometrías en estudio, no alcanzan ni a la mínima resistencia que exige la norma E.070 que es de 50 kg/cm² para un ladrillo Tipo I. Estos valores bajos nos señalan una baja calidad para fines estructurales. es decir, una unidad poco resistente y durable.

- Según Bartolomé (1995), el f^c también depende de la altura de la probeta, a menor altura mayor resistencia. La resistencia a compresión de la unidad es la propiedad más importante ya que define no sólo el nivel de su calidad estructural, sino también el nivel de su resistencia a la intemperie o a cualquier otra causa de deterioro.
- Las limitaciones presentadas para la confección de ladrillos fue la ausencia del molde y de la pistola para inyección de CO₂ estas limitaciones se superaron mandando hacer un molde acrílico con dimensiones estándares ya que con este material la inyección de CO₂ es más eficiente, así como también adquiriendo una pistola (soplador) y adaptándola a las características deseadas.
- Esta investigación se limita a la realización de unidades de ladrillos con inyección de CO₂ y tres granulometrías las cuales serán para mampostería jardinería y muros no portantes.
- La implicancia de esta investigación es dar a conocer un nuevo proceso de elaboración de ladrillos (Ladrillos de arena con inyección de CO₂) los cuales logran ser más amigables con el medio ambiente debido que para la fabricación de este no es necesario el quemado de las unidades.

- Según Imagawa (2011), en la empresa TIS Y PARTNERS ha creado ladrillos de Estructura de CO₂. Tuvo el objeto de crear ladrillos hechos de un material de construcción que en poco tiempo adquiere una resistencia a la tracción 2,5 veces la del hormigón adicionándole una resina epóxica, su componente principal es la arena. Sin embargo, en la elaboración de ladrillos realizados la resistencia a la tracción es muy baja siendo de 1.27 kg/cm² cabe mencionar que en la empresa Tis y Partners utilizan una resina epóxica la cual le da mayor resistencia a la tracción.
- Maroto (2008), en el Centro para la Innovación en Captura y Almacenamiento de Carbono de la Universidad de Nottingham (Reino Unido), han logrado que el CO₂ se transforme en carbonatos y en materiales de construcción. Se puede hacer de cualquier tamaño y cualquier forma, realizarán una planta piloto. En esta investigación se realizaron unidades de ladrillo para jardinería mampostería y muros no portantes.
- Del análisis y discusión de los resultados de los ensayos anteriormente mencionados de dicha evaluación se deduce que el ensayo a succión, compresión y tracción con los criterios de aceptación no cumplieron y por lo tanto se rechaza el uso de este ladrillo como material estructural sin embargo este tipo de material se recomienda a ser utilizados como piezas divisorias, tabiquería, mampostería, muros no a porticados.

4.2 Conclusiones

- Se determinó las propiedades físico – mecánicas de los ladrillos de arena con inyección de CO₂ y tres granulometrías diferentes, De las propiedades más importantes se concluyó que de las tres granulometrías en estudio la N°1 es la que menos variación presenta en sus dimensiones: (Largo= 0.30%, Ancho=0.51%, altura=0.45%), y la N°2 es la que mayor variación presenta en sus dimensiones (L= 0.47%,A=0.60%, H=0.73%), de la resistencia a compresión ninguna de las granulometrías en estudio alcanza la resistencia mínima que exige la norma E.070 (2006) que es de 50kg/cm² para un ladrillo tipo I. Siendo la resistencia más alta 19.53 kg/cm² en la granulometría N°1, y la resistencia más baja 6.42 kg/cm² en la granulometría N°3.
- Se calculó las propiedades físicas del agregado fino utilizado en la elaboración de ladrillos de arena, con un contenido de humedad 2.97%, módulo de finura 1.92%, densidad del agregado suelto 1807.93 kg/m³, densidad del agregado compactado 1859.51 kg/m³.
- Se clasificó el material en tres tipos de granulometría siendo la primera del tamiz (N°30, 50, 100), la segunda (N°4, 8, 16) y la tercera en estado natural.

- Se elaboraron 50 ladrillos de arena con inyección de CO₂ y tres granulometrías diferentes. Donde se comprobó que los ladrillos con la primera granulometría respondieron mejor a los ensayos realizados en laboratorio.
- La hipótesis se cumple parcialmente ya que los ensayos de variación dimensional, alabeo y absorción cumplieron con lo establecido en la N.T.P E 070 sin embargo los ensayos de succión, tracción y compresión, no cumplieron. Por lo tanto, estos ladrillos serán de uso exclusivo para tabiquería, mampostería, jardinería y muros no portantes.

REFERENCIAS

- Ángel San Bartolomé. (1994). Construcciones de albañilería comportamiento sísmico y diseño estructural. Lima, Perú.
- Antonio García Verduch (1986). Método de ensayo para la determinación de la capacidad de absorción de agua de los ladrillos.
- Antonio Gutiérrez Santos (2014). Las practica artesanal de las ladrilleras en el Perú. Editorial: Arquitectura y Construcción. Lima, Perú.
- Asociación española de normalización y Certificación (1986). Norma UNE 67031.
- Carlos A. Caballero Valdez (2016). Ladrilleras artesanales fuente de empleo y contaminación. Editorial 20minutos S.L.
- Ferrex (2010). Materiales para la construcción. Recuperado de <http://www.materialesdeconstruccion.com.mx/materiales-arena.php>.
- Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005. Albañilería estructural. tercera Ed. Lima, Perú. Fondo edit. PUCP.
- Instituto nacional de defensa de la Competencia y de la protección de la propiedad intelectual (INDECOPI) (Perú). Norma técnica E.070 albañilería, 2006. Lima, Perú.
- Indecopi (2002). NTP 399.604 unidades de albañilería. métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto. (1a ed.). Lima, Perú.
- Indecopi (2002). NTP 399.613 métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería.
- Instituto de investigación tecnológica industrial y de Normas Técnicas (ITINTEC) (Perú). Norma técnica E.070 albañilería, 1978. Lima, Perú.
- Imagawa (2011). La empresa TIS Y PARTNERS ha creado ladrillos de Estructura de CO₂.
- Jacoby Blackman Guzmán (1998). Contaminación de la fábrica de ladrillo artesanal en el Perú. Editorial: Arquitectura y Construcción. Lima, Perú
- Mapa de la ubicación de la Provincia de Cajamarca consultado en la página web: www.google.com.pe/maps/place/Cajamarca, 2019.

Maroto.V (2008). El Centro para la innovación en captura y almacenamiento de carbono de la Universidad de Nottingham (Reino Unido).

Pral, (2009). Estudio diagnóstico sobre las ladrilleras artesanales en el Perú.

Recuperado de

https://www.academia.edu/28728379/ESTUDIO_DIAGN%3%93STICO_SOBRE_LAS_LADRILLERAS_ARTESANALES_EN_EL_PER%3%9A_Elaborado_por_el_Programa_Regional_de_Aire_Limpio_y_el_Ministerio_de_la_Producci%C3%B3n

QuimiNet, (2011). Las diferentes aplicaciones de la arena Silica. Recuperado de

https://www.quiminet.com/articulos/las-diferentes-aplicaciones-de-la-arena-silica-2648107.htm?mkt_source=22&mkt_medium=1616417387&mkt_term=66&mkt_content=&mkt_campaign=1

Real. (2013) Influencia Del Curado Con CO₂ En Mampostería Fabricada Con Sistemas Cementantes Ternarios.

ANEXOS

Anexo 1: Panel fotográfico



Figura 25: Peso de la muestra para granulometría



Figura 26: Análisis granulométrico



Figura 27: Granulometría 01



Figura 28: Granulometría 02



Figura 29: Aseguramiento del molde con abrazaderas



Figura 30: Medición de la cantidad de arena



Figura 31: Medición del silicato de sodio



Figura 32: Vaciado del silicato sobre la arena



Figura 33: Compactado de la arena en 3 capas



Figura 34: Acabado del ladrillo



Figura 35: Inyección del CO₂ con un tiempo de 10 s por orificio que tenga el molde



Figura 36: Inyección del CO₂ con un tiempo de 10 s por orificio que tenga el molde



Figura 37: Desencofrado de ladrillo después de la inyección de CO₂



Figura 38: Puntos de inyección de CO₂



Figura 39: Enumeración de las unidades



Figura 40: Unidad final



Figura 41: Variación dimensional de la unidad



Figura 42: Variación dimensional de la unidad



Figura 43: Limpieza de la unidad



Figura 44: Medida del alabeo de la unidad arena



Figura 45: Peso en estado natural de la unidad



Figura 46: Saturación de la unidad



Figura 47: Peso de la unidad secado superficial



Figura 48: Succión de la unidad



Figura 49: Sumergido superficial durante 1 minuto



Figura 50: Peso de la unidad



Figura 51: Muestras para compresión y tracción



Figura 52: Deformímetro



Figura 53: Toma de datos esfuerzo vs deformación



Figura 54: Falla a compresión



Figura 55: Falla a tracción

Anexo 2: Ficha técnica de CO₂



INDURA PERU S.A.
Av. Pacífico 401 - Independencia
0801 70670 - (51) 708 4200

INDURA trabaja bajo estándar
Internacional de seguridad,
salud, medio ambiente y calidad



CERTIFICADO DE CALIDAD

El Departamento de Control de Calidad de INDURA PERÚ S.A., después de realizado el Control de Calidad del Producto **ANHIDRIDO CARBÓNICO**, ha llegado a la siguiente conclusión:

El producto **ANHIDRIDO CARBÓNICO**, se encuentra **APTO** para el uso al cual está destinado, cumpliendo con las Especificaciones de Calidad establecidas por INDURA PERÚ S.A., así como también con las Normas de Calidad Internacional.


Nº DE CILINDRO	LOTE DE PRODUCCIÓN	FECHA DE PRODUCCIÓN
00L84409	110400087	14/10/2017
0L335043	110400087	14/10/2017
0L655315	109400177	26/09/2017

Lima, 06 de Noviembre del 2017



Control de Calidad
Q.F. Juan Luis Alarcón Sánchez
Nº CQF 16410

Anexo 3: Ficha técnica de silicato de sodio



Silicatos Especiales, S.A. de C.V.

HOJA TECNICA

SILICATO DE SODIO LÍQUIDO:

TIPO: S-41

DESCRIPCIÓN: Líquido viscoso opalescente, completamente misible en agua.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

Densidad a 20°C (*Bé):	40.5 a 41.5	8
Alcalinidad (%Na ₂ O)	8.70 a 9.10	
Silice (%SiO ₂)	28.50 a 29.50	
Relación peso (%SiO ₂ /%Na ₂ O)	3.17 a 3.30	
Sólidos totales (%):	37.20 a 38.60	
Gravedad específica (g/cm ³):	1.3876 a 1.4010	
Viscosidad (cP):	180 a 600	

APLICACIONES:

Tratamiento de aguas:

Inhibidor de corrosión: El S-41 forma una capa protectora en la superficie del metal que impide la corrosión, por lo que se puede usar como agente de inhibición de corrosión, tanto en los sistemas de distribución agua potable como en los de agua industrial.

Agente secuestrante de hierro y manganeso: El S-41 puede ser usado como agente secuestrante del hierro y manganeso, presente en las fuentes de agua, lo cual previene la coloración que se origina por la oxidación de estos elementos.

Dosificaciones: La dosificación puede variar dependiendo de las concentraciones de Fe y Mg presentes en el agua, sin embargo se puede considerar una dosificación típica del orden de 100 mg/L de S-41.
Se recomienda realizar pruebas para encontrar la dosificación más adecuada.

En calidad y servicio somos la diferencia

Anexo 4 Protocolos