



FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

“COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO –
MECÁNICAS DE UNIDADES DE LADRILLOS DE CONCRETO
Y OTROS ELABORADOS CON RESIDUOS PLÁSTICOS DE
PVC, CAJAMARCA, 2015”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Astopilco Valiente, Alexander Jhoel

Asesor:

Mg. Ing. Miranda Tejada, Hugo

Cajamarca – Perú
2015

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el Bachiller **Alexander Jhoel Astopilco Valiente**, denominada:

**“COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE
UNIDADES DE LADRILLOS DE CONCRETO Y OTROS ELABORADOS
CON RESIDUOS PLÁSTICOS DE PVC, CAJAMARCA, 2015”**

M. Sc. Ing. Hugo Miranda Tejada
ASESOR

Doc. Ing. Orlando Aguilar Aliaga
JURADO
PRESIDENTE

M. Sc. Ing. María Salomé De La Torre Ramírez
JURADO

Ing. Mónica Carolina Roncal Mujica
JURADO

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida, por darme mi familia y los grandes logros de mi existencia.

Ni una sola idea de este proyecto hubiera visto la luz sin la presencia permanente de aquellas personas que más quiero:

Mi madre, mi padre y mi hermano, siempre preocupados por mi felicidad, alentadora y reconfortante en los momentos tristes por lo que es imposible pagar su cariño como se merece. Sin el apoyo en todo sentido de mis padres, el placer diario de vivir sería simple monotonía. Es difícil imaginar cómo sería el andar cotidiano sin contar con su comprensión, su apoyo inmenso y su amor. Gracias a ellos por dedicar gran parte de sus vidas a compartir conmigo y por darme aliento para la ardua tarea de caminar hacia la perspectiva de un nuevo día.

Y por último a todos mis demás familiares, amigos y compañeros por ayudarme a que este momento llegara.

Alexander Astopilco

AGRADECIMIENTO

A Dios, mi principal guía, porque su palabra siempre ha dado luz a mis pasos. A mis padres por haber estado con migo, apoyándome todo este tiempo y su fe en mí siempre.

También, 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 hacia la consolidación del proyecto tomando los aspectos relevantes para incorporarle mejoras significativas.

A mi asesor, el M. Sc. Ing. HUGO MIRANDA TEJADA, por su ayuda invaluable en la organización y revisión permanente de este trabajo.

Al personal administrativo del laboratorio el Señor VICTOR CUZCO MINCHÁN por el apoyo e interés demostrado al abrir las puertas del laboratorio para efectuar el estudio. Y así mismo, a todos mis profesores quienes a lo largo de 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.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Realidad problemática.....	13
1.2. Formulación del problema	15
1.3. Justificación del problema	15
1.4. Limitaciones	16
1.5. Objetivos	16
1.5.1. Objetivo General	16
1.5.2. Objetivos Específicos.....	16
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	17
2.1. Antecedentes	17
2.2. Bases Teóricas.....	20
2.2.1. Componentes de ladrillos convencionales	20
2.2.2. Ladrillos de concreto	21
2.2.3. Características y propiedades del PVC	24
2.2.4. Tipos de PVC.....	27
2.2.5. Reciclaje del PVC	28
2.3. Definición de términos básicos	31
CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS.....	34
3.1. Formulación de la hipótesis.....	34
3.2. Operacionalización de variables	34
3.2.1. Variable independiente.....	34
3.2.2. Variable dependiente	34
CAPÍTULO 4. MATERIALES Y MÉTODOS	35
4.1. Tipo de diseño de investigación.	35
4.2. Material de estudio.	35

4.2.1. Unidad de estudio.....	35
4.2.2. Población.....	35
4.2.3. Muestra.....	35
4.3. Métodos.....	36
4.3.1. Técnicas de recolección de datos y análisis de datos.....	36
4.3.2. Procedimientos.....	37
A. Ensayos en agregados.....	37
B. Ensayos en ladrillos.....	42
CAPÍTULO 5. DESARROLLO.....	52
5.1. Descripción de la planta recicladora.....	52
5.2. Inspección del material.....	53
5.3. Obtención de la muestra.....	53
5.4. Agregados.....	54
5.5. Ensayos en el laboratorio de mecánica de suelos.....	55
5.5.1. Granulometría.....	55
5.5.2. Contenido de humedad del agregado grueso y fino.....	55
5.5.3. Peso unitario suelto y compactado.....	56
5.5.4. Descripción del ensayo de peso específico.....	57
5.6. Ensayos en el laboratorio de tecnología del concreto.....	59
5.6.1. Elaboración de ladrillos de concreto.....	59
5.6.1.1. Procedimiento.....	59
5.6.1.2. Materiales.....	61
5.6.1.3. Agregados.....	61
5.6.1.4. Diseño de mezclas por el método ACI.....	62
CAPÍTULO 6. RESULTADOS.....	64
CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN.....	75
CONCLUSIONES.....	77
RECOMENDACIONES.....	78
REFERENCIAS.....	79
ANEXOS.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 01. Tipos de agregados	20
Tabla N° 02. Requisitos de resistencia.....	22
Tabla N° 03. Requisitos de absorción	23
Tabla N° 04. Propiedades del PVC - PAVCO	25
Tabla N° 05. Características técnicas y mecánicas	26
Tabla N° 06. Propiedades químicas del PVC.....	26
Tabla N° 07. Ventajas y desventajas del PVC rígido	27
Tabla N° 08. Ventajas y desventajas del PVC flexible	28
Tabla N° 09. Tipos de reciclaje.....	30
Tabla N° 10. Variable independiente	34
Tabla N° 11. Tamaño de muestra.....	36
Tabla N° 12. Coordenadas UTM	52
Tabla N° 13. Coordenadas UTM	53
Tabla N° 14. Coordenadas UTM	55
Tabla N° 15. Límites de granulometría del agregado grueso.....	61
Tabla N° 16. Límites de granulometría del agregado fino	62
Tabla N° 17. Tamizado del PVC triturado	64
Tabla N° 18. Tamizado del agregado fino	65
Tabla N° 19. Otros ensayos realizados al agregado fino	66
Tabla N° 20. Tamizado del agregado grueso.....	67
Tabla N° 21. Otros ensayos realizados al agregado grueso	68
Tabla N° 22. Medición de dimensiones de ladrillos de concreto.....	68
Tabla N° 23. Alabeo de ladrillos de concreto	70
Tabla N° 24. Succión de ladrillos de concreto.....	70
Tabla N° 25. Absorción de ladrillos de concreto.....	71
Tabla N° 26. Resistencia a compresión de ladrillos de concreto	72
Tabla N° 27. Ensayo de flexión de ladrillos de concreto	73

Tabla N° 28. Resistencia promedio	84
Tabla N° 29. Asentamientos recomendados para varios tipos de estructuras	85
Tabla N° 30. Consistencia de la mezcla	85
Tabla N° 31. Requisitos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaño máximo del agregado.....	86
Tabla N° 32. Relación agua / cemento y resistencia a la compresión del concreto	86
Tabla N° 33. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen del concreto.....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 01. Cuña de acero rectangular	47
Figura N° 02. Concavidad.....	48
Figura N° 03.Convexidad.....	49
Figura N° 04.Medición de superficie plana.....	50
Figura N° 05.Ensayo a flexión	51
Figura N° 06. Establecimiento de la trituradora WILO S.R.L.....	52
Figura N° 07. Establecimiento N°02 de la trituradora WILO S.R.L	53
Figura N° 08. Establecimiento de la cantera RIO CHONTA.....	54
Figura N° 09. Ladrillo de concreto (13.9 x 10.2 x 23.9 cm)	62

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica N° 01. Distribución típica de distintos plásticos en el residuo urbano	15
Gráfica N° 02. Peso específico de ladrillos	18
Gráfica N° 03. Resistencia a la compresión.....	18
Gráfica N° 04. Absorción de agua en ladrillos.....	19
Gráfica N° 05. Curva granulométrica del PVC triturado	65
Gráfica N° 06. Curva granulométrica del agregado fino	66
Gráfica N° 07. Curva granulométrica del agregado grueso.....	67
Gráfica N° 08. Datos promedio de succión	71
Gráfica N° 09. Datos promedio de absorción.....	72
Gráfica N° 10. Datos promedio de resistencia a compresión	73
Gráfica N° 11. Datos promedio de ensayo a flexión.....	74

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo determinar las propiedades físico – mecánicas de los ladrillos. Se tomó como referencia las normas NTP 399.604 “Unidades de albañilería”, NTP 399.613 “Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería” y NTP 399.601 “Ladrillos de concreto requisitos”. El PVC es empleado como reemplazo del agregado grueso tradicional, para el diseño de mezclas de los ladrillos de concreto se basó en el método ACI, las proporciones al peso de la mezcla incluyen del 50 y 100 por ciento de PVC triturado. La principal motivación del estudio es comparará las propiedades físico – mecánicas de ladrillos de concreto y ladrillos con PVC reciclado. Se inicia con la descripción teórica de la clasificación y propiedades del PVC y los ladrillos de concreto, luego se describen los ensayos a los cuales se someterán los ladrillos para verificar sus propiedades. Se describe también la definición de materiales, equipos, procedimientos, cálculos de los ensayos, medición de dimensiones, alabeo, succión, absorción, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión. También se detalla los ensayos para el análisis granulométrico, contenido de humedad, peso específico, peso unitario y absorción de los agregados fino y grueso extraídos de la cantera Roca Fuerte ubicada en el Río Chonta. La elaboración de los ladrillos de concreto se realizaron en el laboratorio de tecnología del concreto verificando el control de calidad del concreto en estado fresco, según en lo estipulado en la norma NTP 339.046 de peso unitario del concreto y NTP 399.035 de medición de asentamientos. Finalmente se realizó ensayos para determinar las propiedades físico – mecánicas de los ladrillos, donde se concluyó que las propiedades físico – mecánicas aumentan, añadiendo PVC triturado, con la excepción de la resistencia a la compresión.

Palabras clave: PVC, ladrillos, propiedades.

ABSTRACT

This study aims to determine the physical - mechanical properties of the bricks. It was taken as reference standards NTP 399 604 "Masonry Units" NTP 399 613 "Methods of sampling and testing of clay bricks used in masonry" and NTP 399,601 "bricks concrete requirements." PVC is used as a replacement for traditional thick added to the mix design of concrete bricks was based on the ICA method, the proportions by weight of the mixture including 50 to 100 percent crushed PVC. The main motivation of this study is comparing the physical - mechanical properties of concrete bricks and bricks recycled PVC. It starts with the theoretical description of the classification and properties of PVC and concrete bricks, then the tests to which the bricks will be submitted to verify their properties are described. The definition of materials, equipment, procedures, trial calculations, dimension measurement, warping, suction, absorption, compressive strength and bending strength is also described. Tests for sieve analysis, moisture content, specific gravity, unit weight and absorption of fine and coarse aggregates extracted from the strong Rock quarry located in the Chonta River is also detailed. The elaboration of concrete bricks were made in concrete technology laboratory checking the quality control of concrete in fresh state, according to the provisions of NTP 339 046 standard unit weight of the concrete and measuring NTP 399,035 settlement. Finally, tests were performed to determine the physical - mechanical properties of the bricks, which concluded that the physical - mechanical properties increase, adding crushed PVC, with the exception of the compressive strength.

Keywords: PVC, bricks, properties.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1. Problema de Investigación.

1.1 Realidad Problemática.

La principal motivación para la presente investigación es, fabricar ladrillos empleando una alternativa diferente a la tradicional, utilizando residuos plásticos de PVC, con la finalidad de conocer sus propiedades físico – mecánicas de los ladrillos y su importancia en la construcción.

Según Rossa Gaggino, 2008 dice:

- **Reciclar para utilizar racionalmente los residuos**

La disposición de residuos de las ciudades constituye un problema de difícil solución. Actualmente los residuos urbanos de las grandes ciudades de nuestro país son en su mayor parte enterrados, lo cual no es una alternativa muy racional desde el punto de vista económico ni tampoco ambientalmente adecuado, puesto que gran parte de los residuos son biodegradables.

El tiempo que demora el proceso de descomposición de los desechos es variable según el tipo de material, siendo sumamente lento en el caso de los plásticos, las botellas de plástico de polietileno – tereftalato (PET) tardan más de 500 años en descomponerse, y duran más si están enterradas. Reciclar es una alternativa conveniente desde el punto de vista ambiental, puesto que se reduce los residuos que se acumulan en basura al aire libre se queman o se entierran.

- **Tipos de reciclado de plásticos conocidos en el mundo y usos previstos**

En el mundo se utilizan distintos procedimientos para reciclar plástico.

- Mecánico
- Químico
- Energético

El reciclado mecánico: lleva varias etapas donde se realiza: la separación manual, el triturado en partículas, clasificación de partículas por aire, lavado, inmersión en agua y separación electrostática.

El reciclado químico: deshace el plástico, separándose las moléculas se emplean para fabricar otra vez plásticos. Dependiendo de su pureza, este material puede usarse incluso, para el envasado de alimentos.

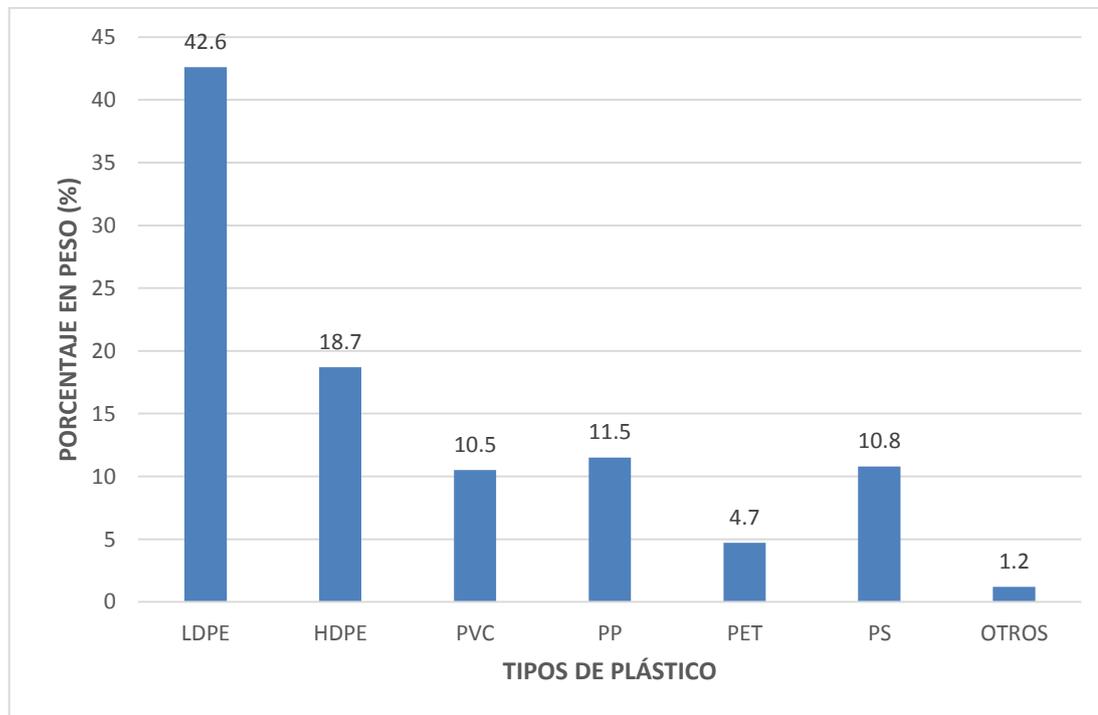
El reciclado energético: consiste en incinerar al plástico para generar energía, lo cual tiene como inconveniente la contaminación atmosférica que produce. El más costoso de estos tres procedimientos es el químico, pero es el que permite obtener productos con un mayor valor agregado. Este procedimiento es de uso corriente en países desarrollados como los de la Comunidad Económica Europea o los EE.UU.

Los plásticos se reciclan para una variedad de usos:

- a) El Polietilen – Tereftalato (PET); reciclado se usa fibra poliéster, flejes, láminas para termoformados, madera plástica, aditivos para pavimentos, fabricación de botellas nuevas, combustible para la generación de energía, como materia prima para la producción de PET.
- b) El polietileno de Alta Densidad (HDPE); se encuentra en botellas de detergentes, o de aceite para motor, etc. Puede ser reciclado en macetas, cestos de basura, conos para señales viales, botellas de detergente.
- c) El Cloruro de Polietileno (PVC); se usa en botellas de champú, o de aceite para cocina, en artículos de servicio para comida rápida, etc. Puede ser reciclado en tubos de drenaje e irrigación.
- d) El Polietileno de Baja Densidad (LDPE) se encuentra en bolsas de supermercado, bolsas de plástico para envolver, en la parte superior de los tubos, etc. Puede ser reciclado en nuevas bolsas de supermercado.
- e) El Polipropileno (PP); es usado en la mayoría de los recipientes para yogurt, sorbetes, botellas de miel, tapa de botella, etc. Puede ser reciclado en viguetas de plástico, cajas de batería para autos, peldaños para registros de drenaje.
- f) El poliestireno (PS); se encuentra en tazas desechables para bebidas calientes, materiales de empaquetado, bandejas de carne, etc. Puede ser reciclado en viguetas de plástico, cajas de cintas para cassetts, macetas.

La proporción en peso con la que estos plásticos se encuentran presentes en la basura urbana se muestra en la siguiente gráfica.

GRÁFICA N° 01: Distribución típica de distintos plásticos en el residuo urbano



Fuente: LEIDER y DEKKER, 1990.

1.2 Formulación del problema.

¿Cuáles son las propiedades físico –mecánicas de unidades de ladrillos de concreto elaborados con residuos plásticos de PVC y ladrillos convencionales de concreto en Cajamarca, 2015?

1.3 Justificación del problema.

Este trabajo tiene la finalidad de obtener ladrillos como una alternativa a la tradicional, empleando PVC reciclado como agregado con la finalidad de tener un eficiente uso de este recurso.

No existen investigaciones sobre este tema en nuestro país, las pocas que se mencionan con frecuencia son de investigadores extranjeros por eso la información obtenida será de utilidad para estudios futuros.

1.4 Limitaciones.

Falta de molde industrial para la confección de ladrillos, ya que permitiría el moldeo con dimensiones más exactas.

1.5 Objetivos.

1.5.1 Objetivo General.

Comparar las propiedades físico - mecánicas de las unidades de ladrillos de concreto y los elaborados con residuos plásticos de PVC.

1.5.2 Objetivos Específicos.

- ✓ Elaborar ladrillos de concreto convencionales que cumplan con la normatividad, NTP 399.601.
- ✓ Elaborar ladrillos de concreto con residuos plásticos de PVC.
- ✓ Determinar las propiedades físico - mecánicas de las unidades de ladrillos de concreto y las elaboradas con residuos plásticos de PVC.

CAPÍTULO 2: Marco Teórico.

2.1 Antecedentes.

NIVEL INTERNACIONAL: ARGENTINA

Según la revista INVI, 2008.

Esta publicación trata sobre una investigación llevada a cabo en el CEVE relativa a la fabricación de elementos constructivos utilizando materiales plásticos reciclados.

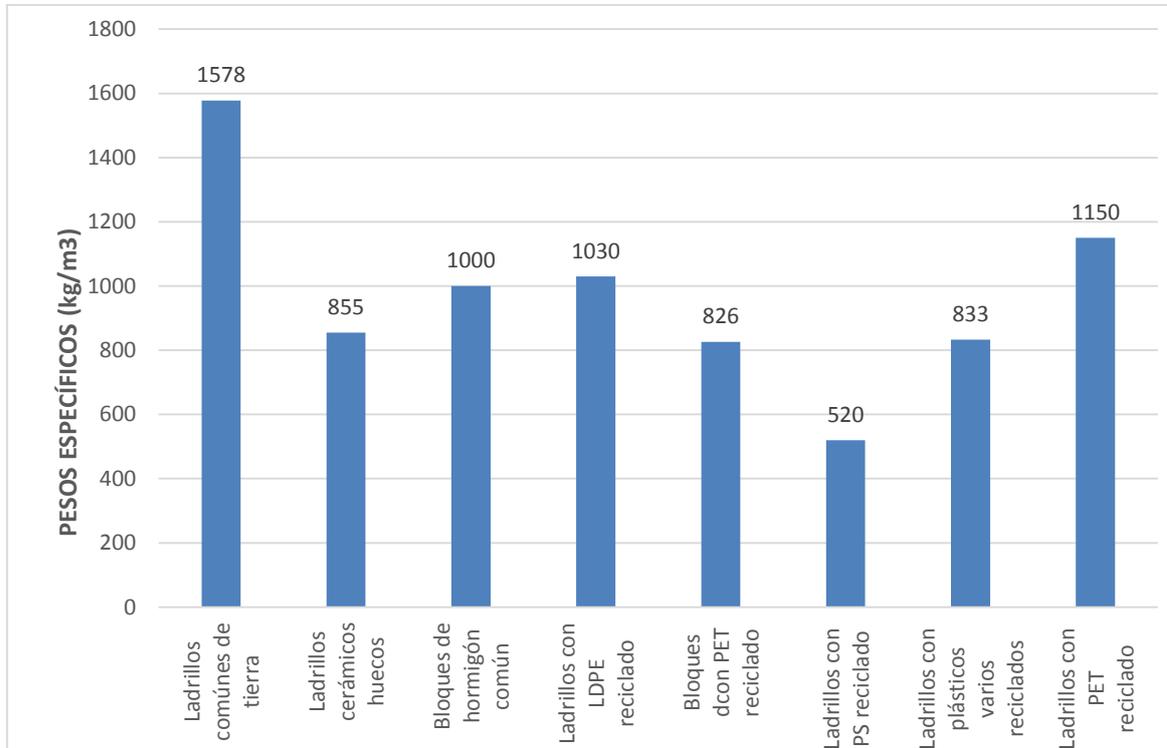
La investigación ha logrado los siguientes objetivos:

- **Tecnológico:** desarrollar componentes de construcción livianos, de buena aislación térmica y resistencia mecánica resistente para cumplir la función de cerramiento lateral de viviendas.
- **Ecológico:** colaborar en la descontaminación del medio ambiente.
- **Económico:** abaratar costos en la producción de elementos constructivos para la vivienda de interés social.
- **Social:** poner en manos de auto – constructores la elaboración de los componentes constructivos.

Se utiliza como materia prima: materiales reciclados plásticos, promoviendo el uso racional de recursos disponibles en lugar de enterrarlos, quemarlos o acumularlos en basureros al aire libre; aplicando procedimientos de elaboración que no son contaminantes del medio ambiente, por lo cual es una tecnología sustentable.

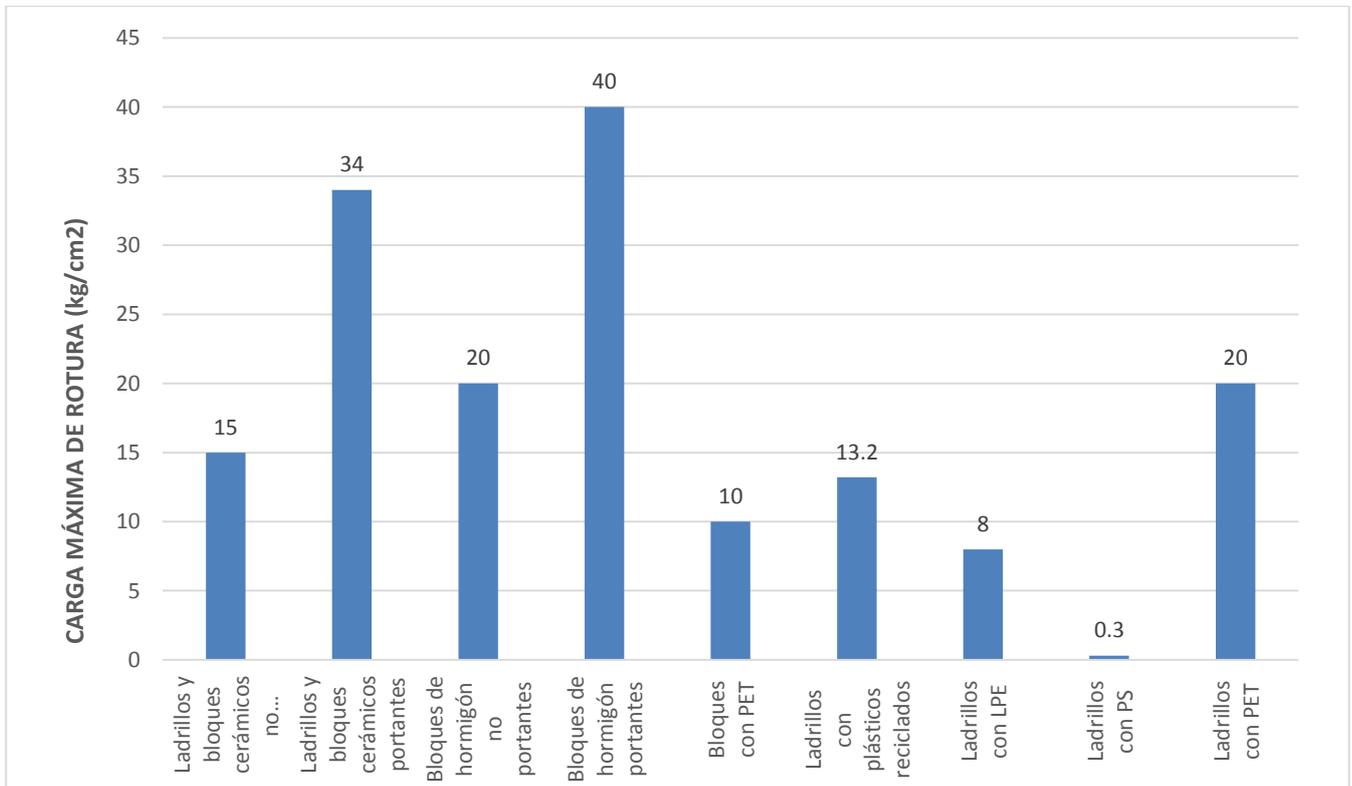
Resultados obtenidos en la investigación

GRÁFICA N° 02: Peso específico de ladrillos



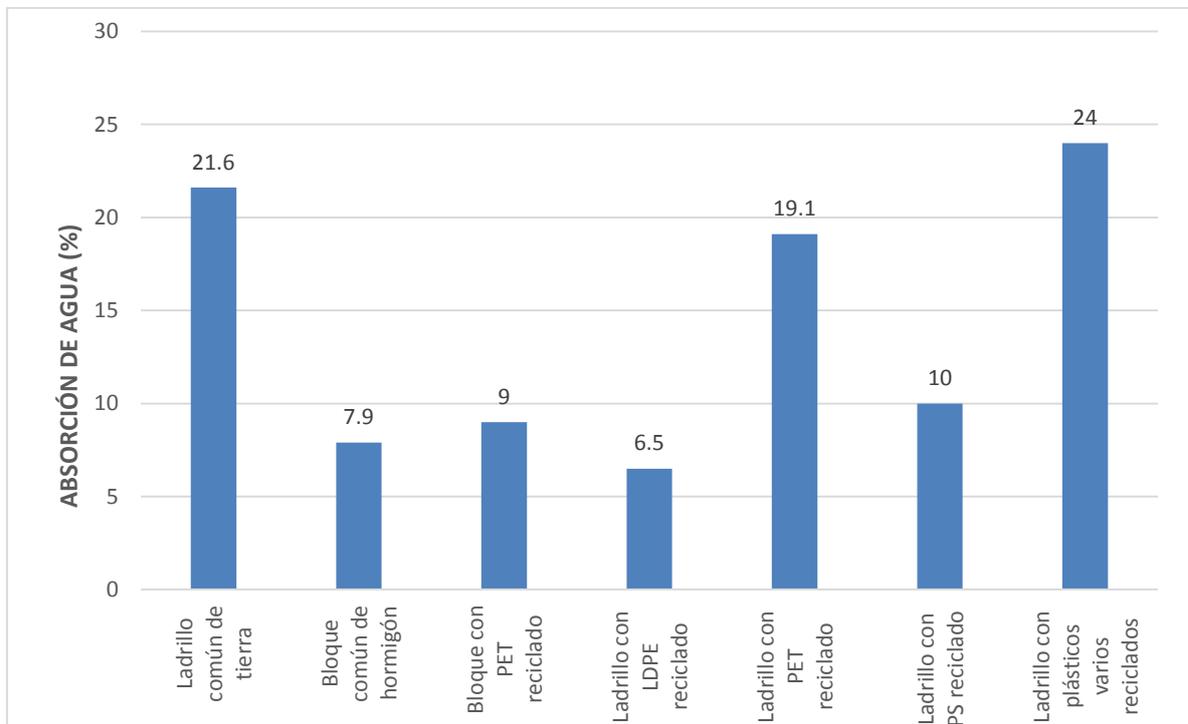
Fuente: Rosa Gaggino, 2008.

GRÁFICA N° 03: Resistencia a la compresión



Fuente: Rosa Gaggino, 2008.

GRÁFICA N° 04: Absorción de agua en ladrillos



Fuente: Rosa Gaggino, 2008.

Según el Ministerio del Medio Ambiente de Colombia, 1997.

Reciclaje y Reuso del Plástico, “A lo largo de muchos años, se ha dado en Colombia un crecimiento del consumo de los plásticos y la generación de la basura per cápita/día oscila entre 0.5 y 0.8 Kg, de los cuales 0.056 Kg corresponden a desechos plásticos, representando el 20% del volumen y de un 5 a un 7% del peso total de desechos generados a nivel urbano. Esto sin tener en cuenta los desechos originados por empresas petroquímicas, que en su proceso de producción de materias primas plásticas generan retales que no cumplen ninguna función y no tienen las especificaciones requeridas para salir al mercado como producto terminado, generando problemas para su almacenaje y/o posterior eliminación. Este crecimiento en el volumen de generación de basuras en el país ha llegado a niveles alarmantes, lo cual convierte su manejo a través de estrategias como el reciclaje, en una actividad prioritaria, debido entre otras razones a: Cuando el plástico cumple su “ciclo de vida inicial” presenta problemas de almacenamiento ya que su relación peso/volumen es baja y la disponibilidad de rellenos sanitarios es cada vez menor”.

Aunque los plásticos, se les pueden aplicar los métodos de tratamiento utilizados para el resto de los residuos sólidos (incineración, enterramiento en vertederos controlados), estos métodos no están exentos de inconvenientes cuando se aplican a los residuos plásticos.

"Los residuos orgánicos tardan entre 10 y 15 años para degradarse de un 25% a un 50%, y el problema de manejo generado por residuos no biodegradables, como ciertos plásticos, es considerablemente superior."

NIVEL NACIONAL

Según Marta Malpica, 2010; son utilizados para la autoconstrucción y a la vez la eliminación del plástico del medio ambiente. Este producto puede ayudar en zonas de desastres causados por los sismos al sur de Lima.

2.2 Bases Teóricas.

2.2.1 Componentes de ladrillos convencionales

Según cementos Pacasmayo, 2015

✓ Agregados:

Se tiene dos clases de agregados: agregado fino y agregado grueso. Estos a su vez se clasifican de acuerdo a su origen, modo de fabricación y composición mineralógica.

Tabla N° 01: Tipos de agregados

AGREGADO	FINO	GRUESO
Natural	Arena	Grava
Artificial	Polvo de piedra	Ripio triturado o chispa

Fuente: Hidalgo, 2013

✓ **Cemento:**

Es un conglomerante, constituido a partir de una mezcla de caliza y arcilla. Al ser amasado con agua, forma una mezcla maleable y plástica. Esta fragua endurece mediante una reacción química. Existen cinco tipos de cemento:

✓ **AGUA:**

El agua en el concreto tiene dos funciones. Por un lado, actúa en las reacciones de hidratación del cemento (durante el fraguado y curado): por otro, confiere al concreto la trabajabilidad necesaria para ser transportado y moldeado.

2.2.2 Ladrillos de concreto

Según la norma NTP 399.601, 2002

Se define el ladrillo de concreto como la unidad de albañilería de dimensiones modulares, fabricado con cemento Portland, agua y agregados, que puede ser manipulada con una sola mano.

Se considera ladrillo sólido (macizo) a la unidad de albañilería que tiene una sección neta, en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento, equivalente a 75% o más de la sección bruta medida en el mismo plano.

Se tipifica el ladrillo hueco, por diferencias, cuando la sección neta referida es menor de 75% de la sección bruta, en el mismo plano. Ninguna parte de algún agujero debe estar a menos de 19,1 mm (3/4 de pulgada) de algún borde del ladrillo.

El ladrillo de concreto presenta las siguientes ventajas:

- Uniformidad en dimensiones.
- Alabeo menor que otras unidades.
- Absorción limitada.
- Puede ser usado como caravista o, en todo caso, el tarrajeo sería de espesor mínimo, por su uniformidad.
- Menor porcentaje de merma por rotura, por la resistencia de la unidad.

Clasificación

Los ladrillos se clasifican de acuerdo con sus características resistentes y según las condiciones del microclima donde se asienten las obras a las que están destinados. Se pueden distinguir los siguientes tipos:

Tipo 24: Para su uso como unidades de enchape arquitectónico y muros exteriores sin revestimiento y para su uso donde se requiere alta resistencia a la compresión, a la penetración de la humedad y a la acción severa del frío.

Tipo 17: Para uso general donde se requiere moderada resistencia a la compresión y resistencia a la acción del frío y a la penetración de la humedad.

Tipo 14: Para uso general donde se requiere moderada resistencia a la compresión.

Tipo 10: Para uso general donde se requiere moderada resistencia a la compresión.

REQUISITOS DE RESISTENCIA SEGÚN LOS TIPOS

TABLA N° 02: Requisitos de resistencia

Resistencia a la compresión, min, MPa, respecto al área bruta promedio		
Tipo	Promedio de 3 unidades	Unidad individual
24	24	21
17	17	14
14	14	10
10	10	8

Fuente: NTP 399.601, 2002.

La resistencia a la compresión se estipula como la relación entre la carga de rotura a compresión de un ladrillo y su sección bruta, definida como la menor área susceptible de ser obtenida en un plano paralelo al de asiento, en las condiciones especificadas en la NTP 399.604.

REQUISITOS DE ABSORCIÓN

TABLA N° 03: Requisitos de absorción

Tipo	Absorción de agua, máx, % (promedio de 3 unidades)
24	8
17	12
14	12
10	12

Fuente: NTP 399.601, 2002.

Variaciones permisibles en las dimensiones

Las dimensiones (ancho, alto y largo) no deben diferir por más de $\pm 3,2$ mm de las dimensiones estándar especificadas por el fabricante.

Acabado y apariencia

Todas las unidades deben estar en buenas condiciones y libres de grietas u otros defectos que podrían interferir con el adecuado empleo de la unidad o que podrían deteriorar significativamente la resistencia o durabilidad de la construcción. Las grietas menores inherentes al método usual de fabricación o los astillamientos menores resultantes de los métodos habituales de manipulación en el envío y distribución no son causa de no aceptación.

Cuando las unidades sean empleadas en la construcción de muros expuestos, la cara o caras expuestas no deben mostrar astillamientos o agrietamientos u otras imperfecciones que puedan ser vistas desde una distancia de no menos de 6 metros bajo luz difusa.

Se permite que el 5% de un envío tenga astillamientos no mayores de 12,7 mm en alguna dimensión o grietas no más anchas que 0,5 mm y no más largas que 25% de la altura nominal de la unidad. El color y la textura de las unidades deben ser especificados por el comprador. Las superficies acabadas que serán

expuestas deben estar conformes con una muestra aprobada consistente en no menos de cuatro unidades, que representan el rango de textura y color permitido.

Muestreo y método de ensayo

El comprador o representante autorizado debe estar conforme con las facilidades adecuadas para inspeccionar y muestrear las unidades en el lugar de fabricación de los lotes listos para el reparto.

Deben permitirse por lo menos 10 días para la conclusión de los ensayos. Las muestras y el ensayo de las unidades se efectuarán de acuerdo con la NTP 399.604.

Conformidad

Si la muestra ensayada de un ladrillo no cumple con los requisitos especificados, se permitirá que el fabricante remueva unidades del lote, y una nueva muestra será seleccionada por el comprador de las unidades remanentes, según la NTP 399.604. Los ensayos correrán a costa del fabricante. Si la segunda muestra cumple con los requisitos especificados, las unidades remanentes del lote representado por la muestra cumplen con las especificaciones. Si no cumple con los requisitos, el lote no debe ser aceptado.

2.2.3 Características y propiedades del PVC

Según la revista textos científicos, POLICLORURO DE VINILIO – PVC, 2005:

Características del PVC.

- 1. Propiedades Eléctricas:** Tiene gran poder de aislamiento eléctrico. Para medirla se usa el método de resistividad volumétrica, que también permite controlarla.
- 2. Resistente y liviano:** Su fortaleza ante la abrasión, bajo peso (1,4 g/cm³), resistencia mecánica y al impacto, son las ventajas técnicas claves para su elección en la edificación y construcción.

3. Longevidad: Es un material excepcionalmente resistente. Los productos de PVC pueden durar hasta más de 60 años como se comprueba en aplicaciones tales como tuberías para conducción de agua potable y sanitarios. Una evolución similar ocurre con los marcos de puertas y ventanas en PVC.

4. Seguridad: Debido al cloro que forma parte del polímero PVC, no se quema con facilidad ni arde por si solo y deja de arder una vez que la fuente de calor se ha retirado. Se emplea eficazmente para aislar y proteger cables eléctricos en el hogar, oficinas y en las industrias. Los perfiles de PVC empleados en la construcción para recubrimientos, cielorrasos, puertas y ventanas, tienen también esta propiedad de ignífugos.

TABLA N° 04: Propiedades del PVC-PAVCO

PROPIEDADES	NORMA	UNIDADES
Peso Específico a 25°C	ASTM D – 792	1.41 gr/cm ³
Coefficiente de Dilatación Térmica	ASTM D – 696	0.06 mm / m /°C
Constante Dieléctrica	ASTM D - 150	A 10 ³ – 10 ⁶ Hz 3.0 – 3.8
Inflamabilidad	NTP 399.007	Auto extinguable
Coefficiente de Fricción	-	n= 0.009 Manning; C= 150 Hazen - Williams
Tension de Diseño	-	100 bar
Resistencia a la tracción	ASTM D - 638	48 Mpa

Fuente: PAVCO – VINDUIT, 2012.

Normas Técnicas Peruanas

- NTP-ISO 4422-1: Tubos y conexiones de poli (cloruro de vinilo) no plastificado (PVC-u) para el abastecimiento de agua.
- NTP-ISO 4422-2: Tubos y conexiones de poli (cloruro de vinilo) no plastificado (PVC-u) para el abastecimiento de agua.
- NTP-ISO 4422-3: tubos y conexiones de poli (cloruro de vinilo) no plastificado (PVC-u) para el abastecimiento de agua.

TABLA N° 05: Características técnicas y mecánicas

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Propiedades Físicas	
Peso específico	1.44 g/cm ³ a 25°C
Absorción de agua	< 40 g/m ²
Estabilidad dimensional a 150 °C	< 5 %
Coefficiente de dilatación térmica	0.06 – 0.08 mm / m / °C
Constante dieléctrica a 10 ³ – 10 ⁶ HZ	3 – 3.8
Inflamabilidad	Auto extinguable
Coefficiente de fricción	n= 0.009 Manning; C= 150 Hazen - Williams
Punto Vicat	≥ 80 °C
Características Mecánicas	
Tensión de diseño	100 kgf/cm ²
Resistencia a la tracción	480 – 560 kgf/cm ²
Resistencia a la compresión	610 – 650 Kgf/cm ²
Módulo de elasticidad	≈ 30 000 kgf/cm ²

Fuente: NTP – ISO 4422, 2006.

TABLA N° 06: Propiedades químicas del PVC

PROPIEDADES QUÍMICAS	OBSERVACIONES
RESISTENCIA A HIDROCARBUROS	DEFICIENTE
RESISTENCIA A ÁCIDOS DÉBILES A TEMP. AMBIENTE	MUY BUENA
RESISTENCIA A ÁLCALIS DÉBILES A TEMP. AMBIENTE	MUY BUENA
RESISTENCIA A PROD. QUÍMICOS DEFINIDOS	CONSULTAR
EFFECTOS DE RAYOS SOLARES	ALGO LO AFECTAN
APROBADO PARA CONTACTO CON ALIMENTOS	SI
COMPORTAMIENTO A LA COMBUSTIÓN	ARDE CON DIFICULTAD
PROPAGACIÓN DE LLAMA	AUTO EXTINGUIBLE
COMPORTAMIENTO AL QUEMARLO	SE ABLANDA Y DESCOMPONE
COLOR DE LA LLAMA	AMBAR CON BORDE VERDE
OLOR AL QUEMARLO	COLORO

Fuente: JQ. RICHARDSON, 2013.

2.2.4 Tipos de PVC.

Según la revista textos científicos, **RESINAS DE POLIURETANO, SILICONAS Y VINÍLICAS, 2008:**

Los principales tipos de PVC son el PVC rígido, el PVC flexible.

- **PVC rígido**

Es un material que es resistente al impacto y estabilizado frente a la acción de la luz solar y efectos de la intemperie.

TABLA N° 07: Ventajas y desventajas del PVC rígido

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Bajo precio	Dificultad en el procesamiento por su inestabilidad
Alta resistencia mecánica	
Buena resistencia química	Mala resistencia a la deformación bajo carga estática a temperaturas altas
Baja absorción de agua	
Buena resistencia a la intemperie	
No es combustible	
Buena rigidez	
Excelentes propiedades eléctricas	
Buena apariencia superficial	
Livianos para el transporte y manipuleo	

Fuente: Textos científicos, 2008.

- **PVC flexible**

También llamado PVC plastificado. Los plásticos de policloruro de vinilo flexible incluyen una gran variedad de compuestos para moldeado, con una gran diversidad de propiedades y aplicaciones y que se procesan con casi todas las técnicas de transformación.

TABLA N° 08: Ventajas y desventajas del PVC flexible

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Buena resistencia química	Muy sensible al calor
Buen costo / beneficio	Tiene que ser formulado adecuadamente para evitar problemas de manchas.
Alta tenacidad	
Excelentes propiedades eléctricas	
Se puede volver conductor	Dificultades para procesarlo.
Buena apariencia superficial	
Se le puede limpiar fácilmente	

Fuente: Textos científicos, 2008.

2.2.5 Reciclaje del PVC

Según el Ministerio del Medio Ambiente de Colombia, 1997.

El objetivo de reutilización es, por un lado, impedir que los residuos producidos se desperdicien y, por otro lado, intentar emplearlos de nuevo como materia prima en la producción, después de una etapa de preparación. Existen 4 tipos de reciclaje son:

Reciclaje primario

Consiste en la conservación del desecho plástico en artículos con propiedades físicas y químicas idénticas a la del material original. El reciclaje primario se hace en termoplásticos como PET (Polietileno tereftalato), PEAD (Polietileno de alta densidad), PEBD (Polietileno de baja densidad), PP (Poliestireno) y PVC (Cloruro de vinilo).

Reciclaje secundario

"El reciclaje secundario convierte al plástico en artículos con propiedades que son inferiores a las del polímero original. Ejemplos de plásticos recuperados por esta forma son los termoestables o plásticos contaminados. Este elimina la necesidad de separar y limpiar los plásticos. La mezcla de plásticos, incluyendo tapas de aluminio, etiquetas de papel, polvo, etc., se muelen y funden juntas dentro de un extrusor. Los plásticos pasan por un tubo con una gran abertura hacia un baño de agua, y luego son cortadas a varias longitudes dependiendo de las especificaciones del cliente.

Reciclaje terciario

Este degrada al polímero en compuestos químicos básicos y combustibles. Es fundamentalmente diferente a los dos tipos de reciclaje mencionados anteriormente porque involucra un cambio químico además del físico. Aquí las largas cadenas del polímero se rompen en pequeños hidrocarburos (monómeros) o monóxido de carbono e hidrógeno.

Reciclaje cuaternario

Consiste en el calentamiento del plástico con el objeto de usar la energía térmica liberada de este proceso para llevar a cabo otros procesos, es decir, el plástico es usado como un combustible con objeto de reciclar energía. La incineración puede incluirse en esta clasificación siempre que la recuperación de carbón sea acompañada de un generador de vapor, como Arthur J. Warner dice en su libro Solid management of plastics, "por el uso directo de gases de horno de alta temperatura en un proceso que requiere una fuente de calor externa ". Estos gases de humo son para recalentar, secar o templar hornos. Existen otras ventajas de la incineración tales como:

- a. Mucho menos espacio ocupado que en los rellenos sanitarios.
- b. La recuperación de metales.
- c. El manejo de diferentes cantidades de desecho.

Sin embargo, algunas de sus desventajas es la generación de contaminantes gaseosos, aunque esta sea mínima.

Si bien existen más de cien tipos de plásticos, los más comunes son sólo seis:

TABLA N° 09: Tipos de reciclaje

TIPO / NOMBRE	USOS / APLICACIONES
 <p>PET Polietileno Tereftalato</p>	<p>Envases para gaseosas, aceites, agua mineral, cosmética, frascos varios (mayonesa, salsas, etc.). Películas transparentes, fibras textiles, laminados de barrera (productos alimenticios), envases al vacío, bolsas para horno, bandejas para microondas, cintas de video y audio, geotextiles (pavimentación /camino); películas radiográficas.</p>
 <p>PEAD Polietileno de Alta densidad</p>	<p>Envases para: detergentes, aceites automotor, shampoo, lácteos, bolsas para supermercados, bazar y menaje, cajones para pescados, gaseosas y cervezas, baldes para pintura, helados, aceites, tambores, caños para gas, telefonía, agua potable, minería, drenaje y uso sanitario, macetas, bolsas tejidas.</p>
 <p>PVC Cloruro de Polivinilo</p>	<p>Envases para agua mineral, aceites, jugos, mayonesa. Perfiles para marcos de ventanas, puertas, caños para desagües domiciliarios y de redes, mangueras, pilas, juguetes, envolturas para golosinas, películas flexibles para envasado (carne, fiambres, verduras), film cobertura, cables, papel vinílico (decoración).</p>
 <p>PEBD Polietileno de Baja densidad</p>	<p>Bolsas de todo tipo: supermercados, boutiques, panificación, congelados, industriales, etc. Películas para: Agro (recubrimiento de Acequias), alimentos y productos industriales (leche, agua, plásticos, etc.) base para pañales descartables. Bolsas para suero, contenedores herméticos domésticos. Tubos y pomos (cosméticos, medicamentos y alimentos), tuberías para riego.</p>

 <p> PP Polipropileno </p>	<p> Película/Film (para alimentos, cigarrillos, chicles, golosinas, indumentaria). Bolsas tejidas (para papas, cereales). Envases industriales (Big Bag). Hilos cabos, cordelería. Caños para agua caliente. Jeringas descartables. Tapas en general, envases. Bazar y menaje. Cajones para bebidas. Baldes para pintura, helados. Fibras para tapicería, cubrecamas, etc. Telas no tejidas (pañales descartables). Cajas de batería, autopartes. </p>
 <p> PS Poliestireno </p>	<p> Potes para lácteos (yoghurt, postres, etc.), helados, dulces, etc. Envases varios, vasos, bandejas de supermercados y rotiserías. Heladeras: contrapuestas, anaqueles. Cosmética: envases, máquinas de afeitar descartables, platos, cubiertos, bandejas, etc. Juguetes, cassetes, etc. </p>

Fuente: Plastic Bottle Institute, 2000.

2.3 Definición de términos básicos.

- Ladrillo**, es un bloque hecho de arcilla o adobe, con o sin cocción. También se hacen de hormigón u otro tipo de mortero. "Los ladrillos de arcilla son hechos en moldes o, más comúnmente en producción comercial, extendiendo la arcilla en una capa gruesa y luego cortándola con alambres al tamaño adecuado. Los ladrillos son utilizados en edificaciones o pavimentación. Se utiliza principalmente para construir muros o tabiques. Aunque se pueden colocar a hueso, lo habitual es que se reciban con mortero. La disposición de los ladrillos en el muro se conoce como aparejo, existiendo gran variedad de ellos". (HORNBOSTEL y Limusa, 1999.)
- El PVC** (policloruro de vinilo) es una combinación química de carbono, hidrógeno y cloro. Sus componentes provienen del petróleo bruto (43%) y de la sal (57%). Es el plástico con menos dependencia del petróleo. En este momento sólo el 4% del consumo total del petróleo se utiliza para fabricar materiales plásticos y de ellos, únicamente una octava parte corresponde al PVC. Se obtiene por polimerización del cloruro de vinilo, cuya fabricación se realiza a partir de cloro y etileno. Es un material ligero y químicamente inerte e inocuo. Es un material termoplásticos, es decir, bajo la acción del calor (140 a 205°C) se reblandece pudiendo moldearse

fácilmente; cuando se enfría recupera la consistencia inicial conservando la nueva forma. (ASOVEN PVC, 2015)

- **Reciclaje**, proceso simple o complejo que sufre un material o producto para ser reincorporado a un ciclo de producción o de consumo, ya sea éste el mismo en que fue generado u otro diferente. La palabra "reciclado" es un adjetivo, el estado final de un material que ha sufrido el proceso de reciclaje. Según la complejidad del proceso que sufre el material o producto durante su reciclaje, se establecen dos tipos: directo, primario o simple; e indirecto, secundario o complejo". (HORNBOSTEL y Caleb, 1999)
- **Medición de dimensiones**, 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. (NTP 399.604)
- **Ensayo de capilaridad**, 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. (UNE 67031, 1986).
- **Ensayo de absorción**, 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)
- **Ensayo de resistencia a la compresión**, 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. (NTP 399.604)
- **Módulo de rotura (Ensayo a flexión)**, El ensayo permitió determinar la resistencia a tracción indirecta de ladrillos sometiéndolos a una fuerza de compresión aplicada en una banda estrecha en toda su longitud, en

consecuencia, el resultado de la fuerza de tracción ortogonal resultante origina que la probeta se rompa a tracción. (NTP 399.613)

- **Alabeo**, Es la deformación curvilínea de la superficie de un ladrillo o pieza refractaria que se produce durante su fabricación. (NTP 399.613)
- **Absorción**: Etimológicamente la palabra absorción deriva del vocablo latino "absorption" cuyo significado es devorar o tragar. Es una capacidad de las sustancias u organismos de incorporar otras u otros a su interior. (Conceptos Básicos, 2014)
- **Concreto**: Mezcla de un material aglutinante (Cemento Portland Hidráulico), con un material de relleno (agregados), agua, y eventualmente aditivos, que al endurecerse forma un todo compacto (piedra artificial) y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión. (Guzmán, 2001)
- **Curado**: es el proceso por el cual el concreto elaborado con cemento hidráulico madura y endurece con el tiempo, como resultado de la hidratación continua del cemento en presencia de suficiente cantidad de agua y de calor (Sika, 2009)
- **Fraguado**: Proceso de solidificación y pérdida de la plasticidad inicial que tiene lugar en el hormigón, mortero, cemento, etc., por la desecación y cristalización. (Baroni, 2014)

CAPÍTULO 3: Hipótesis.

3.1 Formulación de la hipótesis.

Las propiedades físico - mecánicas de unidades de ladrillos de concreto elaborados con residuos plásticos de PVC se incrementan.

3.2 Variables

3.2.1 Variable Independiente

- Comparación de las propiedades físico - mecánicas (Medición de medidas, capilaridad o succión, absorción, resistencia a la compresión y resistencia a la tracción)

TABLA N° 10: Variable independiente

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Propiedades físico - mecánicas	<p>- Las propiedades físicas son aquellas que se pueden medir u observar sin alterar la composición del elemento.</p> <p>-Las propiedades mecánicas son aquellas propiedades de los materiales que tienen la capacidad de resistir acciones de cargas.</p>	Medición de dimensiones (mm).	Las medidas de las unidades enteras secas, para el ancho, la altura, longitud.
		Succión (gr).	Velocidad inicial con la que el ladrillo toma agua por capilaridad, medida en gramos de agua absorbidos por cada cm ² de superficie puesta en contacto con el agua en un minuto
		Absorción (%)	Capacidad de absorción de agua de un ladrillo.
		Alabeo (mm)	Deformación curvilínea de la superficie de un ladrillo o pieza refractaria durante su fabricación.
		Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Capacidad de resistencia de una sección de espécimen.
		Módulo de rotura - ensayo de flexión (kg/cm ²)	Módulo de rotura en el plano de falla del espécimen.

Fuente: Elaboración propia, 2015

3.2.2 Variables Dependientes

- Residuos plásticos de PVC.

CAPÍTULO 4: Materiales y métodos.

4.1 Tipo de diseño de Investigación

La Investigación es de carácter Experimental – aplicada.

4.2 Material de estudio.

4.2.1 Unidad de estudio.

Unidades de ladrillos de concreto elaborados con residuos plásticos de PVC

CARACTERÍSTICAS GENERALES

- a) Se denomina ladrillo a aquella unidad cuya dimensión y peso permite que sea manipulada con una sola mano. Se denomina bloque a aquella unidad que por su dimensión y peso requiere de las dos manos para su manejo.
- b) Las unidades de albañilería a las que se refiere esta norma son ladrillos y bloques en cuya elaboración se utiliza arcilla, sílice-cal o concreto, como materia prima.
- c) Estas unidades pueden ser sólidas, huecas, alveolares o tubulares y podrán ser fabricadas de manera artesanal o industrial.
- d) Las unidades de albañilería de concreto serán utilizadas después de lograr su resistencia especificada y su estabilidad volumétrica. Para el caso de unidades curadas con agua, el plazo mínimo para ser utilizadas será de 28 días, que se comprobará de acuerdo a la NTP 399.601.

4.2.2 Población.

30 unidades de ladrillos de concreto.

4.2.3 Muestra.

Para determinar el tamaño de muestra se utilizó la norma NTP 399.604. Mostrado en el siguiente cuadro.

TABLA N°11: Tamaño de muestra

Ensayos	N° Unidades de ladrillo	N° Unidades de ladrillo con 50% de PVC	N° Unidades de ladrillo con 100% de PVC
1. Medición de dimensiones, capilaridad o Succión, y alabeo.	4	4	4
2. Resistencia a la tracción.	3	3	3
3. Resistencia a la compresión	3	3	3
TOTAL	10	10	10

Fuente: Elaboración propia, 2015

El tamaño de muestra comprende un total de 30 unidades de ladrillos.

4.3 Métodos

4.3.1 Técnicas de recolección de datos y análisis de datos

Los instrumentos de recolección de datos usados en la tesis son los siguientes:

- Observación: Se evaluó las diferentes formas de reciclaje, entre ellas se eligió el material a utilizar el PVC reciclado, posteriormente se localizó las fuentes del material luego de localizar las fuentes se clasifica y se selecciona el material, se seleccionó todo tipo de PVC reciclado de tuberías de edificaciones como son las instalaciones sanitarias de agua y desagüe.
- Selección de maquinaria y equipos: Se determinó el lugar donde se efectuó el proceso de triturado del material reciclado para ello se utilizó una trituradora de 2.5 HP, realizado el día 29 de Abril del 2015.
- Ensayos:
 - Se realizaron ensayos de laboratorio de mecánica de suelos con el fin de determinar las propiedades mecánicas de los tipos de agregados que son: el PVC triturado, agregado fino y agregado grueso.
 - Se realizaron ensayos de laboratorio de tecnología de concreto con el fin de determinar las propiedades del concreto en estado fresco entre los ensayos se utilizaron el cono de abrahams y el ensayo de peso volumétrico del concreto.

- Se realizaron ensayos para las unidades de albañilería con el fin de determinar las propiedades físico - mecánicas de los ladrillos entre los ensayos comprenden: resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, medición de dimensiones, capilaridad o succión, absorción y alabeo.

4.3.2 Procedimientos

A. ENSAYOS EN AGREGADOS

1. Análisis Granulométrico (NTP 400.012, 2001)

a. Materiales y equipos

- ✓ Agregado fino: arena gruesa de la cantera.
- ✓ Agregado grueso: piedra mediana de la cantera
- ✓ Juego de Tamices de: 1 ½", 1", ¾", ½", ⅜", 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:

a) Agregado Grueso:

- Muestra de piedra mediana de la cantera.
- Peso para el ensayo 5000 gr.
- Se pesó 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 (1 ½", 1", ¾", ½", ⅜" y N° 4) y el de la cazoleta.
- Finalmente se halla su módulo de finura con la siguiente fórmula.

$$MF = \left(\frac{\sum \% \text{ Retenido en las mallas } 1", 3/4", 1/2", 3/8", N^{\circ}4 + 600}{100} \right)$$

b) Agregado Fino:

- 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, N° 100 Y N° 200).
- Finalmente se halla su módulo de finura con la siguiente fórmula.

$$MF = \left(\frac{\sum \% \text{ Retenido en las mallas } \frac{3}{8}, 4, 8, 16, 30, 50, 100}{100} \right)$$

2. Contenido de humedad (NTP 339.185, 2013)

a. Generalidades:

El contenido de humedad en suelo, se define como la cantidad de agua de un suelo, se representa por la siguiente expresión:

$$W\% = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso seco}} * 100 = \frac{W_h - W_s}{W_s} * 100$$

b. Materiales y equipos:

- ✓ Agregado con humedad natural de cantera.
- ✓ Taras
- ✓ Horno
- ✓ Balanza

c. Procedimiento:

- ✓ Se calcula aproximadamente la cantidad de muestra con la cual se va a trabajar.
- ✓ Se pesa correctamente las taras para realizar la práctica.

- ✓ Se coloca en las taras el suelo húmedo y pesar (tara + suelo húmedo)
- ✓ Se lleva al horno por un tiempo de 24 horas y a una temperatura de 110°C para la eliminación del agua.
- ✓ Cumplidas las 24 horas se deja enfriar las muestras hasta la temperatura de ambiente y pesarlas (tara + suelo seco).
- ✓ Luego se calcula el % de contenido de humedad.

3. Peso unitario (NTP 400.017, 1999)

a. Materiales

- ✓ Recipiente de medida: es un cilindro de metal, el cual debe ser lo suficientemente rígido como para no deformarse en condiciones de uso o trabajo fuerte. La altura será del mismo tamaño del diámetro del cilindro, el cual nunca debe ser menos del 80% de la altura o más del 150%. El borde superior del cilindro deberá ser de un espesor de 0,01 pulgadas.
- ✓ Barra compactadora: es una barra de acero recta de 5/8 de pulgada, 60 cm de longitud y terminada en una punta semiesférica, la cual es usada para el apisonamiento del material.
- ✓ Pala de mano: debe poseer las dimensiones adecuadas para el llenado de los cilindros.
- ✓ Balanza: la escala de lectura dependerá del tipo que se use de acuerdo con el tipo de agregado, pues para el agregado fino se necesita una con una incertidumbre de $\pm 0,1g$ ó 0,1%; y para el agregado grueso debe ser de $\pm 0,5g$ ó 0,5%.

b. Procedimiento

Procedimiento para el agregado en estado suelto (tanto para la piedra como para la arena):

- ✓ Muestra necesaria para realizar el ensayo.
- ✓ Se pesa el recipiente.
- ✓ Se coloca el recipiente dentro de otra bandeja y con una cuchara pulpera se deja caer el agregado en el recipiente a una altura de unos 50 mm aproximadamente.

- ✓ En el momento que el recipiente se encuentra lleno y con material que sobrepasa su superficie, se procede a enrasar para nivelar la superficie.
- ✓ Luego se pesa el recipiente con el agregado y se anota su valor.
- ✓ El procedimiento se repite por un total de 3 veces.
- ✓ El peso volumétrico suelo se halla con la siguiente fórmula.

$$PUSS = \frac{PESO_{recipiente+muestra} - PESO_{recipiente}}{Volumen\ del\ recipiente}$$

Procedimiento para el agregado compactado (tanto para la piedra como para la arena):

- ✓ Muestra necesaria para realizar el ensayo.
- ✓ Se pesa el recipiente.
- ✓ Se llena un tercio de la capacidad del recipiente de forma aproximada.
- ✓ Se compacta el material con 25 golpes que se distribuye de manera uniforme en la superficie.
- ✓ Se llena un tercio más (sumando con esto dos tercios) de la capacidad del recipiente de forma aproximada.
- ✓ Se compacta el material con 25 golpes que se distribuyó de manera uniforme en la superficie de agregado expuesta.
- ✓ Luego se termina de llenar el recipiente con el agregado, de tal forma que parte del material sobrepasó la superficie del recipiente.
- ✓ Una vez más, se compacta el material con 25 golpes que se distribuye de manera uniforme en la superficie de agregado.
- ✓ Se nivela la superficie con los dedos y con la ayuda de un enrasador.
- ✓ Luego se pesa el recipiente que contiene el agregado y se anota su valor.
- ✓ El procedimiento se repite por un total de 3 veces.
- ✓ El peso volumétrico compactado se halla con la siguiente fórmula.

$$PUSC = \frac{PESO_{recipiente+muestra} - PESO_{recipiente}}{Volumen\ del\ recipiente}$$

4. Peso específico

a. Agregado Grueso (NTP 400.021, 2002)

- **Material y equipo**

- ✓ Muestra de agregado
- ✓ Agua
- ✓ Balanza

- **Procedimiento**

- ✓ Se pesa la tara.
- ✓ Luego se pesa la muestra con la tara.
- ✓ Luego se coloca la muestra en un balde de metal y se colocó en un gancho para después sumergirla totalmente.
- ✓ Finalmente se anota el peso sumergido de la muestra.

b. Agregado Fino (NTP 400.022, 2002)

- **Material y equipo**

- ✓ Muestra seca
- ✓ Agua
- ✓ Balanza con aproximación de 0.01 gr.
- ✓ Fiola de 500 ml

- **Procedimiento**

- ✓ Se pesa la muestra seca
- ✓ Se llena la fiola con agua
- ✓ Se coloca la muestra seca ya pesada en la fiola vacía y vertí agua hasta cubrir la muestra y agitar.
- ✓ Luego se agrega agua hasta la marca de 500 ml y pesar
- ✓ Finalmente se determinó el peso específico.

B. ENSAYOS EN LADRILLOS

1. Medición de dimensiones (NTP 399.604)

1.1. 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)

1.2. Materiales / equipos

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

1.3. 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.

2. Succión (NTP 399.613)

2.1. 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).

2.2. Materiales / equipos

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

2.3. Procedimiento

1. 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.
2. 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.
3. La succión (S), de cada pieza, expresada en gramos por centímetro cuadrado y minuto con precisión de 0.01 g/cm²., calculada por la fórmula:

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

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

3. Absorción (NTP 399.613)

3.1. 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. (Verdusch, 1986)

3.2. 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.

3.3. Procedimiento

1. Saturación: Sumergiendo los especímenes de prueba en agua a una temperatura de 15.6 °C a 26.7 °C por 24 horas. Pesar los especímenes mientras están sumergidos y registrar el peso sumergido (W_i). Retirar el agua con un paño húmedo; pesar y registrar como peso saturado (W_s).
2. 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 (W_d).
3. Cálculos

Absorción: Calcular la absorción como sigue:

$$\text{Absorción, Kg/m}^3 = [(W_s - W_d)/(W_s - W_i)] \times 1000$$

$$\text{Absorción, \%} = [(W_s - W_d)/W_d] \times 100$$

Donde:

W_s = Peso saturado del espécimen, (Kg)

W_i = Peso sumergido del espécimen, (Kg)

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

4. Resistencia a la compresión (NTP 399.604)

4.1. 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.

4.2. 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.

4.3. Materiales / Equipos

- ✓ Máquina para ensayo a compresión axial, marca Forney, serie: 10165, capacidad: 250000 lbs., 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.
- ✓ Tres unidades de ladrillo de cemento.

4.4. Preparación de las muestras

- a. Si las caras del ladrillo presentan irregularidades y se rellenan con una capa de cemento yeso - cemento, antes de aplicar el recubrimiento, por medio de uno del procedimiento que se detalla a continuación.
- b. Se cubre ambas caras opuestas del ladrillo con solución alcohólica de goma laca, dejándolas secar perfectamente.

- c. Se aplica una capa delgada de pasta de yeso cocido extendiéndola hasta obtener una superficie plana y uniforme.
- d. Se repite el procedimiento en la otra cara del Ladrillo. Luego se comprobó de que ambas caras sean aproximadamente paralelas y se esperó 2 horas, antes de efectuarse el ensayo.

4.5. Procedimiento

1. **Colocación de los especímenes:** Ensayar los especímenes con el centroide de sus superficies de apoyo alineada verticalmente con el centro de empuje de la rótula de la máquina de ensayo.
2. **Condición de humedad de los especímenes:** Cuando se ensayen los especímenes, estarán libres de humedad visible o manchas de humedad.
3. **Velocidad de ensayo:** Aplicar la carga hasta la mitad del espécimen, después ajustar los controles de la máquina para dar un recorrido uniforme de cabezal móvil tal que la carga restante sea aplicada en no menos de 1 minuto y no más de 2 minutos.
4. **Carga máxima:** Registrar la carga de compresión máxima en Newtons como $P_{m\acute{a}x}$.

4.6. Cálculos

- a. La resistencia a la compresión se calculó por la ecuación siguiente:

$$MPa = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A_n}$$

Siendo:

$P_{m\acute{a}x}$ = Carga de compresión máxima.

A_n = Área de la sección

- b. La superficie A se calculó por la ecuación siguiente:

$$A = a \times I$$

Siendo:

a = ancho de la muestra, en milímetros.

l = largo de la muestra, en milímetros

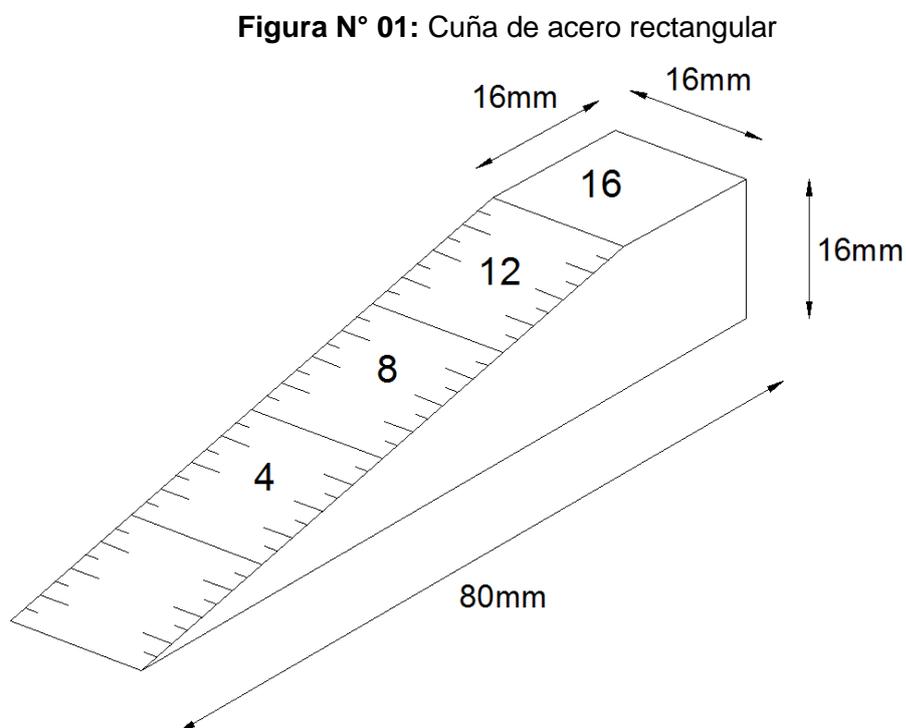
5. Alabeo (NTP 399.613)

5.1. Resumen:

Es la deformación curvilínea de la superficie de un ladrillo o pieza refractaria que se produce durante su fabricación.

5.2. Aparatos:

Dos cuñas de acero rectangulares. La cara inclinada de las cuñas debe estar graduada en valores que corresponden a las alturas, en milímetros, de la misma con respecto a la cara horizontal (base de la cuña), como se muestra en la Figura N°01.



Fuente: Gasabonne & Gallegos, 2005.

Una regla de acero de bordes rectos, de 40 cm de largo por 3 a 4 cm de ancho. Las cuñas deben ser periódicamente contrastadas para verificar su exactitud.

5.3. Muestra:

Estará constituida por ladrillos secos enteros obtenidos según la Norma NTP 399.604. Pueden usarse los mismos ladrillos usados en la determinación de dimensiones.

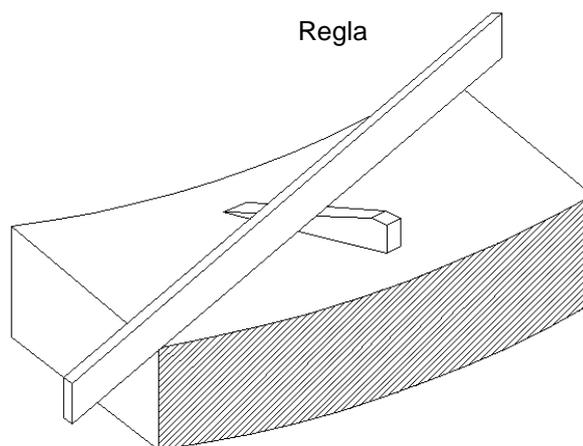
5.4. Procedimiento:

Según el alabeo se presenta como concavidad o convexidad, seguir el procedimiento que para cada caso se detalla a continuación en las dos caras mayores del ladrillo.

5.4.1. Medición de concavidad:

Se coloca el borde recto de la regla ya sea longitudinalmente o sobre una diagonal de una de las caras mayores del ladrillo. Se introduce la cuña en el punto correspondiente a la flecha máxima. Se efectúa la lectura con la precisión de 1 mm y se registra el valor obtenido (ver Figura N°02).

Figura N° 02: Concavidad



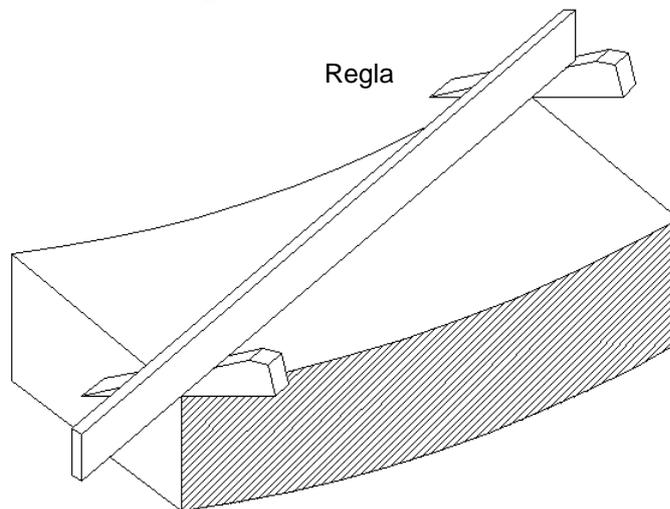
Fuente: Gasabonne & Gallegos, 2005.

5.4.2. Medición de convexidad:

Se empleó alternativamente uno de los procedimientos siguientes:

-Se colocó al borde recto de la regla sea sobre una diagonal o bien sobre dos aristas opuestas de una de las caras mayores de ladrillo. Se introdujo en cada vértice una cuña y se busca el punto de apoyo de la regla sobre la diagonal, para el cual en ambas cuñas se obtenga la misma medida (ver Figura N°03).

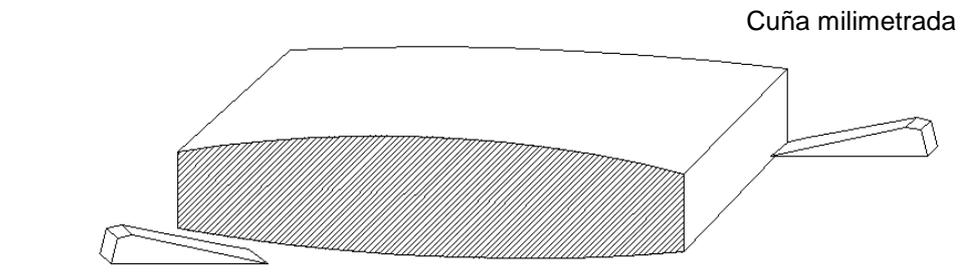
Figura N° 03: Convexidad



Fuente: Gasabonne & Gallegos, 2005.

-Se apoyó el ladrillo por la cara a medir sobre una superficie plana, se introduce cada una de las cuñas en dos vértices opuestos diagonalmente o en dos aristas, buscando el punto para el cual en ambas cuñas se obtenga la misma medida (ver Figura N°04).

Figura N° 04: Medición de superficie plana



Fuente: Gasabonne & Gallegos, 2005.

5.5. Expresión de resultados:

Se indicó los promedios de los valores correspondientes a concavidad y/o convexidad obtenidos en milímetros enteros.

6. Módulo de rotura (ensayo de flexión) (NTP 399.604)

6.1. Materiales / equipos

- ✓ Máquina para ensayo a compresión axial, marca Forney, serie: 10165, capacidad: 250000 lbs., 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.
- ✓ Tres unidades de ladrillo de concreto
- ✓ Barras de acero de 5/8".

6.2. Procedimiento

1. Se coloca los ladrillos en la máquina de ensayo entre los rodillos esféricos pero entre estos y la muestra se colocan las barras de acero.
2. Se fue aplicando gradualmente cargas, registrando los valores de deformaciones y cargas hasta la rotura.
3. Luego se extrajo el ladrillo de la maquina empleada.

6.3. Cálculos

- a. El cálculo de resistencia a la tracción por flexión como el módulo de rotura según la fórmula siguiente

$$S = \frac{3 * W * L}{2 * b * h^2}$$

Siendo:

S= Módulo de rotura del espécimen en el plano de falla (kgf/cm²)

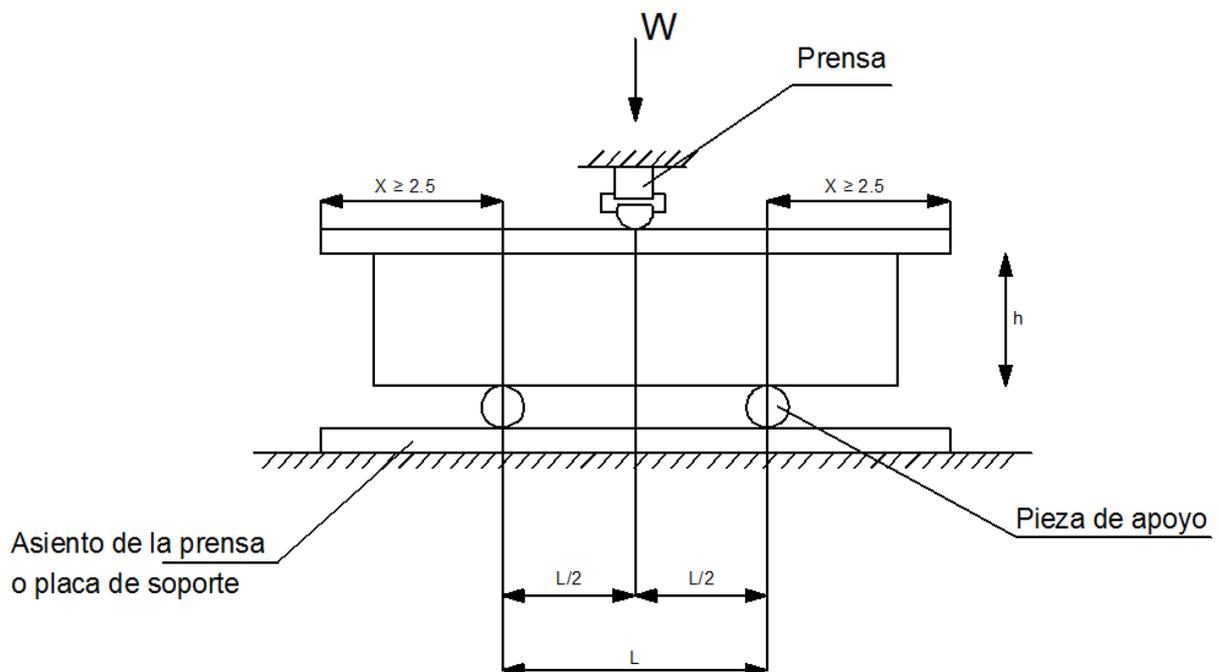
W= Carga máxima aplicada en (kgf)

L= Distancia entre apoyos

b= Ancho promedio de la unidad en la unidad en la sección de rotura (cm)

h= Altura promedio de la unidad en la sección de rotura (cm)

Figura N° 05: Ensayo a flexión



Fuente: Elaboración propia, 2015

CAPÍTULO 5: Desarrollo

En la tesis se desarrolló hojas de cálculo para los ensayos en el laboratorio de mecánica de suelos y de tecnología del concreto, para determinar las propiedades físico – mecánicas de los ladrillos.

5.1 Descripción de la planta recicladora

La empresa "WILO S.R.L" lugar donde se realizó la inspección del material reciclado se encuentra en la Av. San Martín de Porres N° 1722.

Figura N° 06: Establecimiento de la trituradora WILO S.R.L



Fuente: Google earth, 2015

TABLA N° 12: Coordenadas UTM

PTO	ESTE	NORTE	COTA
A	776447	9206073	2701
B	776402	9206038	2703
C	776417	9206021	2703
D	776439	9206036	2702
E	776429	9206049	2702
F	776453	9206069	2700

Fuente: Elaboración propia, 2015

5.2 Inspección del material

La inspección se realizó el día 28 de Abril del 2015, con la finalidad de observar si la empresa recicladora cuenta con el suficiente material reciclado de PVC, se observó que todo el material reciclado llegó a una cantidad de 240 kg de PVC reciclado también se llegó a un acuerdo con el Sr. Baldomar Ramirez Vargas, gerente general de la empresa trituradora, con respecto a la venta del mismo, el acuerdo llegado fue de S/. 2.5 por cada kilogramo de PVC. El triturado del material se realizó el día 29 de Abril del 2015.

5.3 Obtención de la muestra

El triturado del material se realizó en el depósito N°02 de la empresa "WILO S.R.L" localizado en la Av. Héroes del Cenepa cuadra N°10.

Figura N° 07: Establecimiento N°02 de la trituradora WILO S.R.L



Fuente: Google earth, 2015

TABLA N° 13: Coordenadas UTM

PTO	ESTE	NORTE	COTA
A	775871	9205356	2741
B	775850	9205373	2741
C	775861	9205380	2741
D	775855	9205390	2714
E	775867	9205399	2740
F	775891	9205375	2739

Fuente: Elaboración propia, 2015

- Primero: Se seleccionó todo el PVC reciclado, todo material reciclado destinado para instalaciones de agua y desagüe el suficiente para llenar 2 sacos con un peso de 60 Kg cada saco.
- Segundo: Todo el PVC seleccionado se trituró en una máquina trituradora con una potencia de 2.5 HP, con un tamaño máximo de 1/2", todo este proceso se realizó en un tiempo máximo de 2 horas. La máquina trituradora se encuentra debajo del nivel de piso terminado para garantizar que el triturado no salga al exterior contaminando el aire y el suelo.
- El peso total de PVC reciclado obtenido fue de 120 Kg.

5.4 Agregados

La compra de los agregados se realizó el día 05 de Mayo del 2015. En el distrito de Baños del Inca, cantera del Río Chonta, que lleva por nombre "Roca Fuerte", donde se realizó la compra de agregado fino (arena gruesa) y agregado grueso (3/4").

Figura N° 08: Establecimiento de la cantera "ROCA FUERTE"



Fuente: Google earth, 2015

TABLA N° 14: Coordenadas UTM

PTO	ESTE	NORTE	COTA
A	779685	9207574	2663
B	779680	9207534	2662
C	779576	9207599	2665
D	779642	9207531	2662
E	779644	9207504	2662
F	779578	9207518	2662

Fuente: Elaboración propia, 2015

5.5 Ensayos en el laboratorio de mecánica de suelos

5.5.1 Granulometría

✓ **Granulometría del PVC triturado.**

A este material se realizó el ensayo granulométrico con la finalidad de comprobar si el material cumple con los usos granulométricos, realizado el día 30 de Abril del 2015. Teniendo como referencia la norma NTP 400.012. Pasando el material por las mallas seleccionadas.

✓ **Granulometría del agregado fino y agregado grueso**

El ensayo de granulometría del agregado fino y grueso, se realizó el día 08 de Mayo del 2015, con la finalidad de verificar si el agregado seleccionado cumple con los usos granulométricos según la norma NTP 400.012. Pasando el material por las mallas seleccionadas.

5.5.2 Contenido de humedad del agregado grueso y agregado fino

Para el ensayo de contenido de humedad se realizó los días 13 de Mayo del 2015 y 14 de mayo del 2015, de acuerdo en lo estipulado en la norma NTP 339.185. Pesando el material con agua presente, luego dejando 24 horas en el horno y pesar la muestra seca, aplicando la siguiente fórmula.

$$W\% = \left(\frac{P_h - P_s}{P_s} \right) \times 100$$

5.5.3 Peso unitario suelto y compactado

Para este ensayo se realizó el día 13 de Mayo del 2015, primero se secó 30 kg de agregado grueso y fino, para poder desarrollar los ensayos.

Ensayo de peso unitario suelto y compactado para el agregado fino y agregado grueso

Este ensayo se realizó de acuerdo en lo estipulado en la norma NTP 400.017 1999.

Peso unitario suelto:

- Se pesó el recipiente o molde vacío.
- Se determinó el volumen interno del recipiente en m³, colocando agua hasta enrazar el recipiente.
- Se vertió la muestra a una altura aproximada de 15 centímetros sobre el borde superior del recipiente, de agregado hasta enrazar.
- Se pesó la muestra y el molde
- Finalmente el procedimiento se realizó 3 veces. Para determinar el peso unitario suelto se utilizó la siguiente fórmula.

$$PUSS = \frac{PESO_{\text{recipiente+muestra}} - PESO_{\text{recipiente}}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

Peso unitario compactado:

- Para este ensayo se tomó los mismos datos del volumen de recipiente.
- Se vertió el material sobre el recipiente en tres capas iguales, cada capa se compactó con la varilla con 25 golpes y luego se enrazó la superficie con la varilla.
- Se pesó la muestra y el molde.
- Finalmente el procedimiento se realizó 3 veces. Para determinar el peso unitario compactado se utilizó la siguiente fórmula.

$$PUSC = \frac{PESO_{\text{recipiente+muestra}} - PESO_{\text{recipiente}}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

5.5.4 Descripción del ensayo de peso específico

El ensayo de peso específico se realizó los días 14 de Mayo del 2015 y 15 de Mayo del 2015, de acuerdo a lo estipulado en la norma NTP 400.022, 2002 para agregado fino y la NTP 400.021, 2002 para agregado grueso.

Ensayo de peso específico para el agregado fino:

- Se lavó aproximadamente 1000 gr del material seleccionado.
- Se sumergió la muestra con agua y se dejó en reposo por 24 horas.
- Luego se secó el material hasta que las partículas puedan fluir libremente.
- En el molde de tronco cónico se llenó con tres capas compactadas con 25 golpes por capa con un pisón metálico.
- Luego se verificó si existe humedad libre observando cuando se retira el cono si el agregado mantiene su forma, el proceso concluyó cuando el cono al ser retirado, el agregado compactado se derrumba, esto significa que el agregado alcanzó su condición de saturado.
- Alcanzando el estado SSS se introdujo en la fiola 500 gr de agregado.
- Luego se agitó la fiola con el material más 500 cm³ de agua, para eliminar las burbujas de aire.
- Finalmente se extrajo la muestra de la fiola para secar en el horno a 100 °C.
- Para determinar el peso específico de la masa (gr/cm³), peso específico de la masa SSS (gr/cm³), peso específico aparente y su porcentaje de absorción se utilizó las siguientes fórmulas.

$$P. e. m = \left(\frac{W_o}{V - V_a} \right)$$

$$P. e. m \text{ S.S.S} = \left(\frac{500}{V - V_a} \right)$$

$$P. e. a = \left(\frac{W_o}{V - V_a} \right) - (500 - W_o)$$

$$\% ABS = \left(\frac{500 - W_o}{W_o} \right)$$

Donde:

W_o : Muestra seca (gr)

V : Peso de la fiola (gr)

V_a : Volumen de agua añadida (gr)

Ensayo de peso específico para el agregado grueso:

- Se lavó 5000 gr de material
- Luego se sumergió el material en agua por 24 horas.
- Se extendió el material para secarlo con un paño la superficie de cada partícula y luego se pesó el material en condición SSS (B).
- Se colocó el material en una sesta de alambre y se pesó dentro de agua (C).
- Finalmente la muestra se secó en el horno a una temperatura constante de 100 °C (A).
- Para determinar el peso específico de la masa (gr/cm³), peso específico de la masa SSS (gr/cm³), peso específico aparente y su porcentaje de absorción se utilizó las siguientes fórmulas.

$$P. e. m = \left(\frac{A}{B - C} \right)$$

$$P. e. m \text{ S.S.S} = \left(\frac{B}{B - C} \right)$$

$$P. e. a = \left(\frac{A}{A - C} \right)$$

$$\% \text{ ABS} = \left(\frac{B - A}{A} \right)$$

Donde:

A: Peso en el aire de la muestra seca al horno (gr)

B: Peso en el aire de la muestra SSS (gr)

C: Peso en el agua de la muestra SSS (gr)

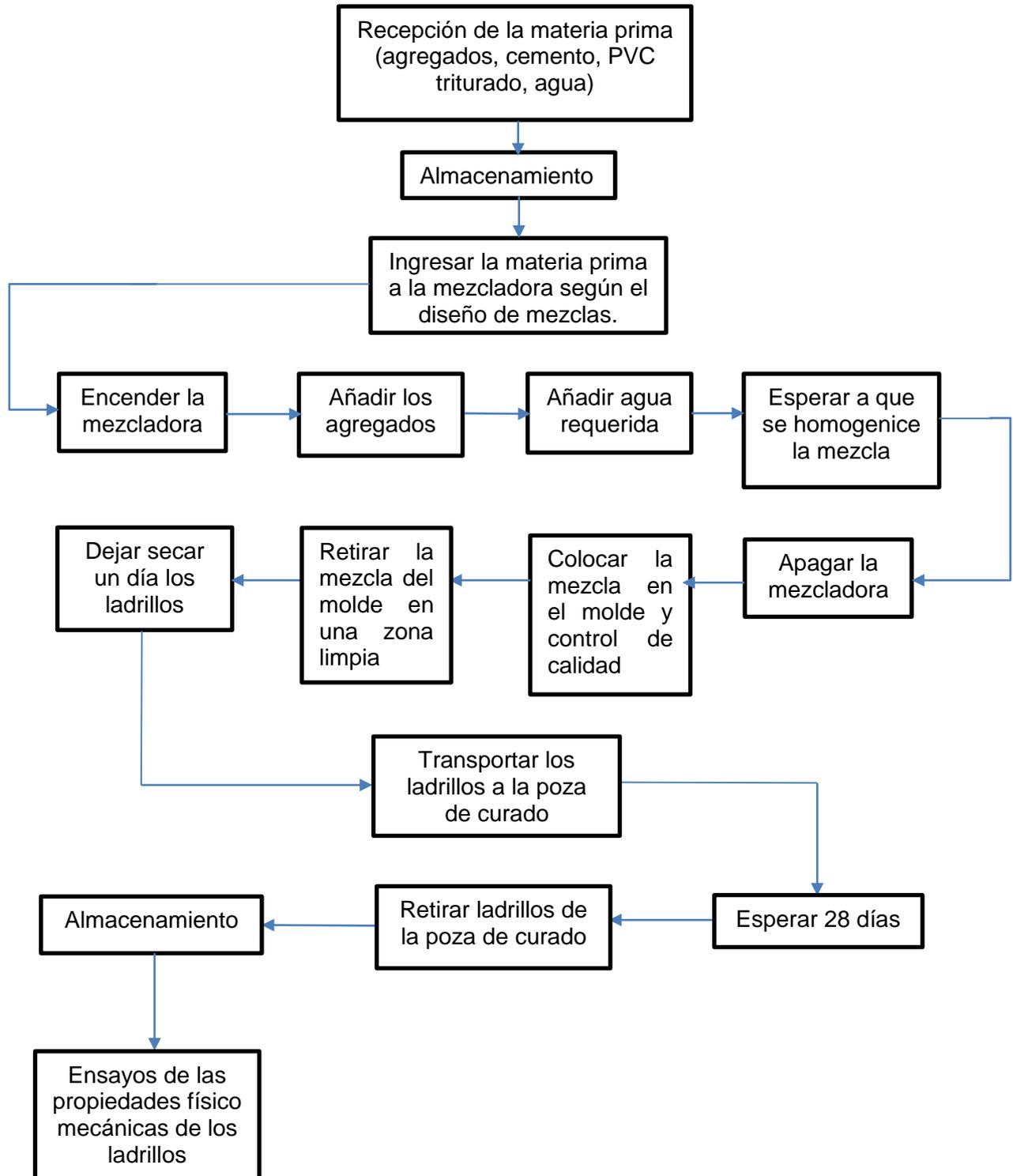
5.6 Ensayos en el laboratorio de tecnología de concreto

5.6.1 Elaboración de ladrillos de concreto

5.6.1.1 Procedimiento

- ✓ Se realizó la recepción de la materia prima para elaborar los ladrillos: cemento, agregado grueso 3/4" agregado fino (arena gruesa) y agua.
- ✓ Se realizó el triturado del PVC reciclado mediante una trituradora, luego se lavó el material para que esté libre de impurezas para ser utilizada en la mezcla.
- ✓ Se dosificó cada materia prima para cada una de las mezclas sin PVC y con 50% y 100% de PVC reciclado, reemplazando al agregado grueso. Por el método ACI.
- ✓ Se transportó las materias primas dosificada a la mezcladora y se encendió la mezcladora,
- ✓ Se vertió las materias primas y se añadió el agua necesaria para cada mezcla, hasta llegar a homogenizar la mezcla.
- ✓ Se realizaron ensayos control de calidad del concreto fresco, como el ensayo de peso unitario del concreto NTP 339.046 y el ensayo de medición de asentamientos NTP 399.035.
- ✓ Luego se transportó la cantidad requerida de mezcla al molde y se llenó los moldes.
- ✓ Se vibrocompactó la mezcla en el molde y se retiró el molde de la máquina.
- ✓ Se desmoldó los ladrillos en un lugar limpio y adecuado donde se realizó el proceso de secado.
- ✓ Cumplido el proceso de fraguado, se transportó los adoquines al recipiente de curado.
- ✓ Se repitió los procesos anteriormente hasta realizar el total de muestras necesarias requerida para la investigación.
- ✓ Se esperó 28 días cumpliendo el proceso de curado.
- ✓ Se retiró los ladrillos de la poza de curado.
- ✓ Se transportó los ladrillos a un lugar limpio, hasta que se realizó los ensayos respectivos.

✓ Flujograma de fabricación de ladrillos.



5.6.1.2 Materiales

Cemento:

El cemento para la producción de los ladrillos cumplió con la norma NTP 334.009 "Cemento. Cemento Portland. Requisitos", se utilizó cemento gris. El cemento se almacenó en un lugar seco y limpio hasta su utilización.

5.6.1.3 Agregados:

Requisitos generales:

Los agregados cumplieron con los requisitos establecidos en la norma NTP 400.012. Análisis Granulométrico del agregado grueso, fino y global".

Para la fabricación de ladrillos se utilizó un agregado grueso con un tamaño máximo de 3/4".

Granulometría de los agregados

Los agregados cumplieron con los usos granulométricos.

Tabla N°15: Límites de granulometría agregado grueso

LIMITE INFERIOR ASTM.		LIMITE SUPERIOR ASTM.	
Cazuela	-	Cazuela	-
1 1/2"	95	1 1/2"	100
3/4"	35	3/4"	70
3/8"	10	3/8"	30
N° 4	0	N° 4	5

Fuente: NTP 400.012, 2012

Tabla N°16: Límites de granulometría agregado fino

LIMITE INFERIOR ASTM.		LIMITE SUPERIOR ASTM.	
cazuela	-	cazuela	-
N° 200	0	N° 200	0
N° 100	2	N° 100	10
N° 50	10	N° 50	30
N°30	25	N°30	60
N°16	50	N°16	85
N°8	80	N°8	100
N°4	95	N°4	100

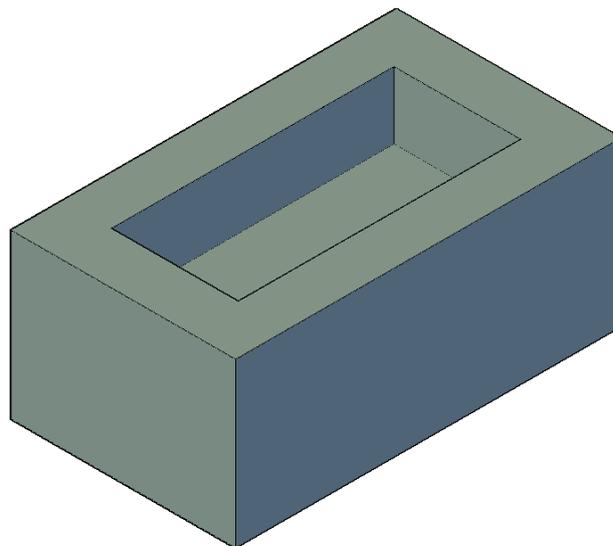
Fuente: NTP 400.012, 2012

Agua de diseño: El agua de diseño cumplió con los requisitos establecidos en el diseño por el método ACI. Se utilizó el agua potable tanto como agua de mezclado y de curado.

5.6.1.4 Diseño de mezclas por el método ACI

Se realizó el diseño de mezclas utilizando el método ACI, se tomó en cuenta los datos realizados en el laboratorio de mecánica de suelos, y las medidas del molde para determinar el volumen que se necesita para realizar un ladrillo de concreto.

Figura N° 09: Ladrillo de concreto (13.9 X 10.2 x 23.9 cm)



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Según Rivva López, 1992.

La trabajabilidad, es una propiedad del concreto al estado endurecido la cual determina su capacidad para ser manipulado, transportado, colocado y consolidado adecuadamente, con un mínimo de trabajo y un máximo de homogeneidad así como para ser acabado sin que se presente segregación.

Cuando se realizaron unidades de ladrillos utilizando el diseño de mezclas más el PVC triturado, se observó que la trabajabilidad era mala.

Finalmente se trabajó el PVC triturado junto con los agregados, para ladrillos patrones se utilizaron las cantidades de acuerdo con el diseño y para ladrillos con PVC se disminuyó en un 50% y 100% el agregado grueso, para ser reemplazado por el PVC triturado.

Las proporciones para el diseño de mezclas son las siguientes:

1. Valores de diseño (para 1 m³ de concreto)

Cemento	=	340.26 Kg	=	8.01 bolsas
Agua de diseño	=	190.00 Lts		
A. Fino Seco	=	873.26 Kg		
A. Grueso Seco	=	860.24 Kg		

2. Corrección por humedad

A. Fino Seco	=	962.59 Kg
A. Grueso Seco	=	878.31 Kg
Agua efectiva	=	120.07 Lts

3. Volumen del ladrillo

Para un molde: $0.239 * 0.102 * 0.139 = 0.0034272 \text{ m}^3$

Para dos moldes: $2 * 0.0034272 = 0.0068544 \text{ m}^3$

Cemento	=	2.33 Kg
Agua	=	0.82 Lts
A. Fino Seco	=	6.60 Kg
A. Grueso Seco	=	6.02 Kg

CAPÍTULO 6: 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.

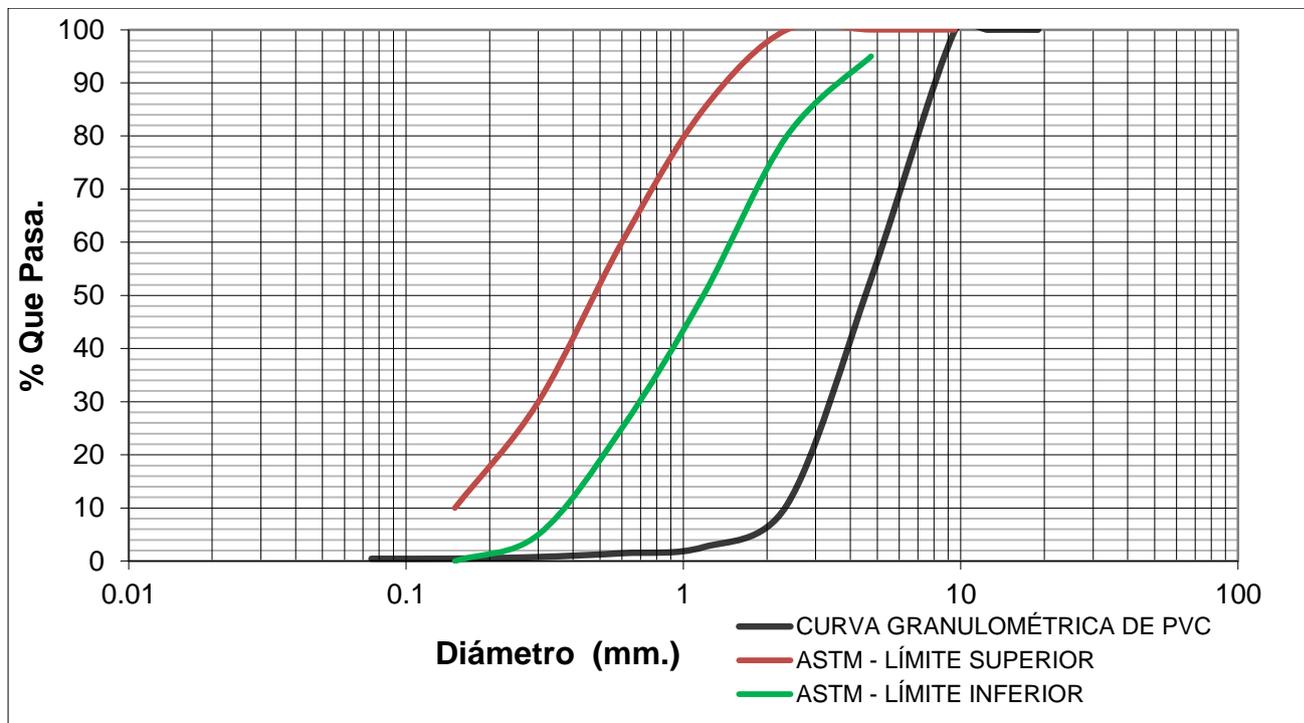
A. Ensayos de PVC.

TABLA N° 17: Tamizado del PVC triturado

PVC Triturado						
Peso Inicial (gr)						
Tamaño de Tamiz	ABERTURA (mm)	Peso Retenido Parcial (gr)	Peso Reten. Acumulado (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que pasa
3/4"	19.00	-	-	-	-	100.00
1/2"	12.50	-	-	-	-	100.00
3/8"	9.50	4.7	4.7	0.235	0.235	99.77
N° 4	4.75	933	937.7	46.65	46.885	53.12
N° 8	2.36	851.7	1789.4	42.585	89.47	10.53
N° 16	1.18	158.2	1947.6	7.91	97.38	2.62
N° 30	0.60	22.8	1970.4	1.14	98.52	1.48
N° 50	0.30	14.1	1984.5	0.705	99.225	0.78
N° 100	0.15	6.1	1990.6	0.305	99.53	0.47
N° 200	0.08	0.4	1991	0.02	99.55	0.45
CAZOLETA	-	0.3				
TOTAL		1991.3				

Fuente: Elaboración propia, 2015.

GRÁFICA N° 05: Curva granulométrica del PVC triturado



Fuente: Elaboración propia, 2015.

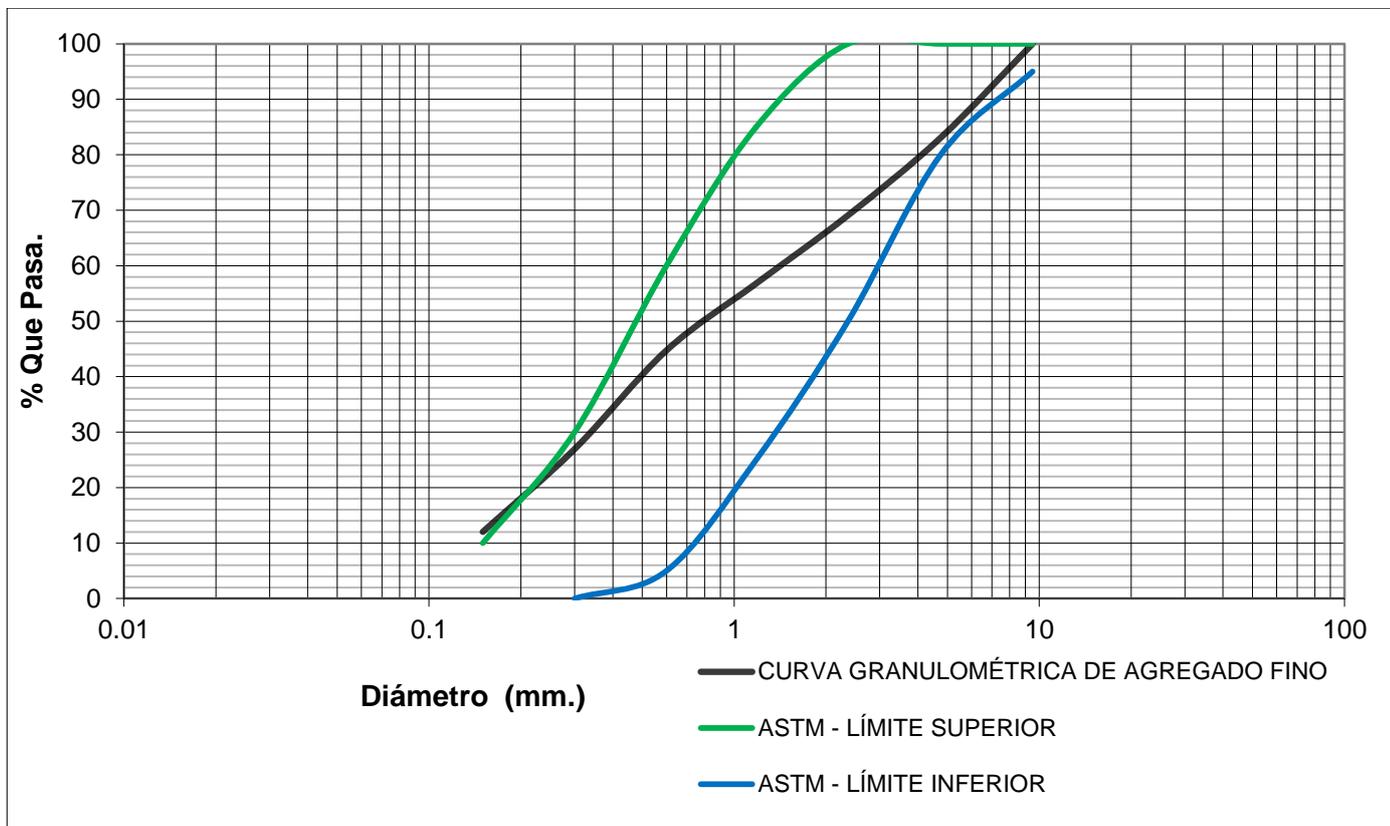
B. Ensayos de agregado fino

TABLA N° 18: Tamizado del agregado fino

Agregado Fino						
Peso Inicial (gr)						
Tamaño de Tamiz	ABERTURA (mm)	Peso Retenido Parcial (gr)	Peso Reten. Acumulado (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que pasa
3/4"	19.00	-	-	-	-	100.00
1/2"	12.50	-	-	-	-	100.00
3/8"	9.50	0	0	0	0	100.00
N° 4	4.75	195.7	195.7	16.93	16.93	83.07
N° 8	2.36	161.8	357.5	14.00	30.92	69.08
N° 16	1.18	142.1	499.6	12.29	43.21	56.79
N° 30	0.60	139.3	638.9	12.05	55.26	44.74
N° 50	0.30	205.6	844.5	17.78	73.05	26.95
N° 100	0.15	172.6	1017.1	14.93	87.98	12.02
N° 200	0.075	79.4	1096.5	6.87	94.84	5.16
CAZOLETA	-	59.6	1156.1		100	0
TOTAL		1156.1				

Fuente: Elaboración propia, 2015.

GRÁFICA N° 06: Curva granulométrica de agregado fino



Fuente: Elaboración propia, 2015.

TABLA N° 19: Otros ensayos realizados al agregado fino

Peso específico de la masa (gr/cm ³)	2.51
Peso específico de la masa S.S.S (gr/cm ³)	2.57
Peso específico aparente (gr/cm ³)	2.66
% Absorción	2.12
Contenido de humedad (W %)	10.24
Peso unitario seco suelto (PUSS kg/m ³)	1602.530
Peso unitario seco compactado (PUSC kg/m ³)	1761.310

Fuente: Elaboración propia, 2015.

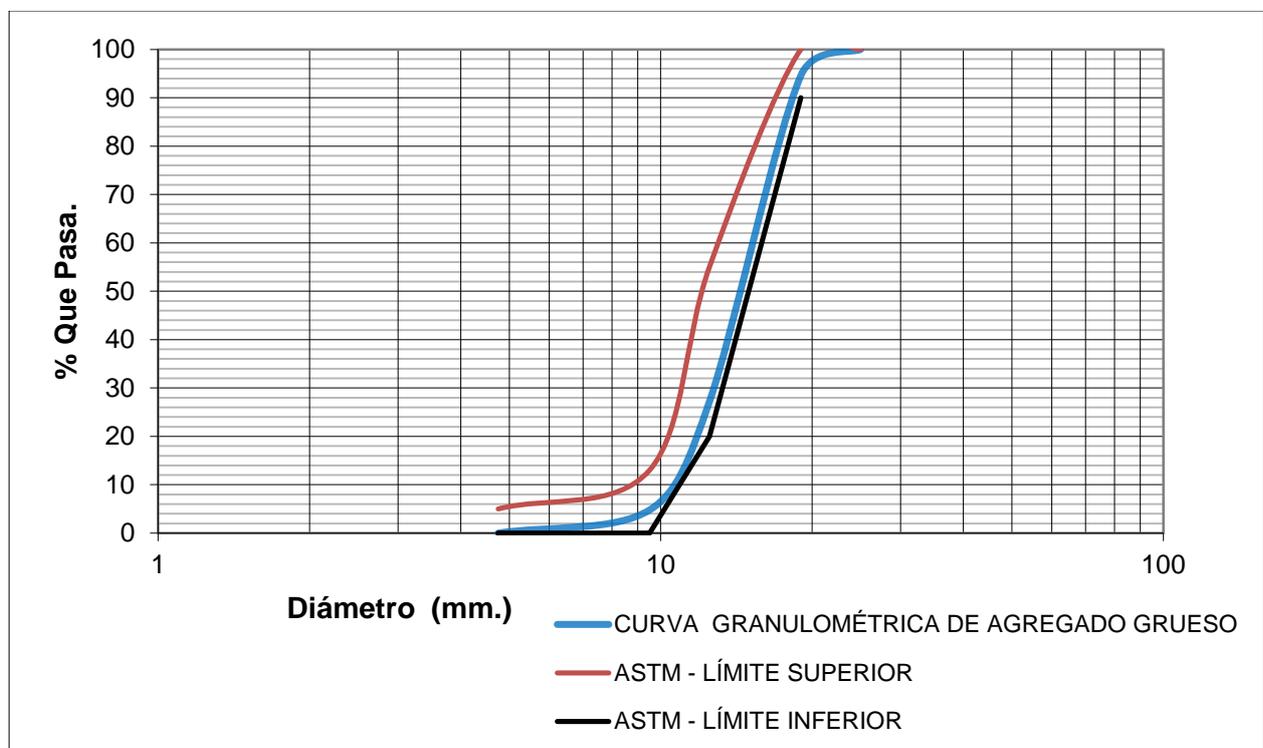
C. Ensayos de agregado grueso

TABLA N° 20: Tamizado del agregado grueso

Agregado Grueso						
Peso Inicial (gr)						
Tamaño de Tamiz	ABERTURA (mm)	Peso Retenido Parcial (gr)	Peso Reten. Acumulado (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que pasa
2"	50.00	-	-	-	-	100.00
1 1/2"	37.50	-	-	-	-	100.00
1"	25.00	0	0	0	0	100.00
3/4"	19.00	270.9	270.9	5.418	5.418	94.58
1/2"	12.50	3370.4	3641.3	67.408	72.826	27.17
3/8"	9.50	1120.1	4761.4	22.402	95.228	4.77
N° 4	4.75	238.6	5000	4.772	100	0.00
CAZOLETA	-		5000		100	0
TOTAL		5000				

Fuente: Elaboración propia, 2015.

GRÁFICA N° 07: Curva granulométrica de agregado grueso



Fuente: Elaboración propia, 2015.

La curva granulométrica del agregado grueso cumple con el HUSO N°6, según en lo estipulado en la norma NTP 400.037, en la tabla N°1 Requisitos granulométricos del agregado grueso, el agregado grueso tiene un tamaño máximo nominal de 3/4".

TABLA N° 21: Otros ensayos realizados al agregado fino

Peso específico de la masa (gr/cm ³)	2.53
Peso específico de la masa S.S.S (gr/cm ³)	2.59
Peso específico aparente (gr/cm ³)	2.68
% Absorción	2.20
Contenido de humedad (W %)	2.11
Peso unitario seco suelto (PUSS kg/m ³)	1315.490
Peso unitario seco compactado (PUSC kg/m ³)	1433.740

Fuente: Elaboración propia, 2015.

D. Ensayos de ladrillos

a. Medición de dimensiones

TABLA N° 22: Medición de dimensiones ladrillos de concreto

MUESTRA	DATOS	DIMENSIONES PROMEDIO DE LADRILLOS PATRONES	DIMENSIONES PROMEDIO DE LADRILLOS CON 50% DE PVC	DIMENSIONES PROMEDIO DE LADRILLOS CON 100% DE PVC
01	LARGO (mm)	238.98	238.00	239.00
	ANCHO (mm)	135.43	140.68	140.41
	ALTO (mm)	103.33	101.11	106.04
02	LARGO (mm)	238.80	238.00	239.00
	ANCHO (mm)	140.33	141.10	122.64
	ALTO (mm)	104.30	105.00	103.48
03	LARGO (mm)	239.00	238.05	240.00
	ANCHO (mm)	140.08	140.18	142.30
	ALTO (mm)	103.43	105.48	105.18

04	LARGO (mm)	238.78	238.95	238.95
	ANCHO (mm)	141.18	142.00	140.10
	ALTO (mm)	103.05	100.69	103.10
05	LARGO (mm)	239.00	239.00	239.00
	ANCHO (mm)	141.18	141.90	140.10
	ALTO (mm)	102.33	102.30	105.00
06	LARGO (mm)	238.00	240.00	238.00
	ANCHO (mm)	141.94	141.94	140.90
	ALTO (mm)	104.23	100.80	104.00
07	LARGO (mm)	239.00	239.00	239.00
	ANCHO (mm)	140.00	141.56	140.20
	ALTO (mm)	102.73	103.75	104.13
08	LARGO (mm)	238.00	240.00	239.00
	ANCHO (mm)	141.35	142.03	140.20
	ALTO (mm)	104.25	101.55	104.60
09	LARGO (mm)	239.00	239.00	238.00
	ANCHO (mm)	141.56	140.60	140.40
	ALTO (mm)	104.44	101.23	105.55
10	LARGO (mm)	238.00	240.00	240.00
	ANCHO (mm)	141.23	141.60	141.40
	ALTO (mm)	103.73	102.50	102.65

Fuente: Elaboración propia, 2015.

b. Alabeo

TABLA N° 23: Alabeo ladrillos de concreto

MUESTRA	DATOS	PROMEDIO DE LADRILLOS PATRONES	PROMEDIO DE LADRILLOS CON 50% DE PVC	PROMEDIO DE LADRILLOS CON 100% DE PVC
01	CONVEXIDAD (mm)	1	1.5	1.5
	CONCAVIDAD (mm)			
02	CONVEXIDAD (mm)	1	2	1
	CONCAVIDAD (mm)			
03	CONVEXIDAD (mm)	2.5	-	1
	CONCAVIDAD (mm)			
04	CONVEXIDAD (mm)	1.25	-	1
	CONCAVIDAD (mm)			
05	CONVEXIDAD (mm)	1	2.5	2.5
	CONCAVIDAD (mm)			
06	CONVEXIDAD (mm)	-	1	3
	CONCAVIDAD (mm)			
07	CONVEXIDAD (mm)	1.25	-	2
	CONCAVIDAD (mm)			
08	CONVEXIDAD (mm)	1.75	1.5	-
	CONCAVIDAD (mm)			
09	CONVEXIDAD (mm)	1.5	-	1.5
	CONCAVIDAD (mm)			
10	CONVEXIDAD (mm)	-	1	-
	CONCAVIDAD (mm)			

Fuente: Elaboración propia, 2015.

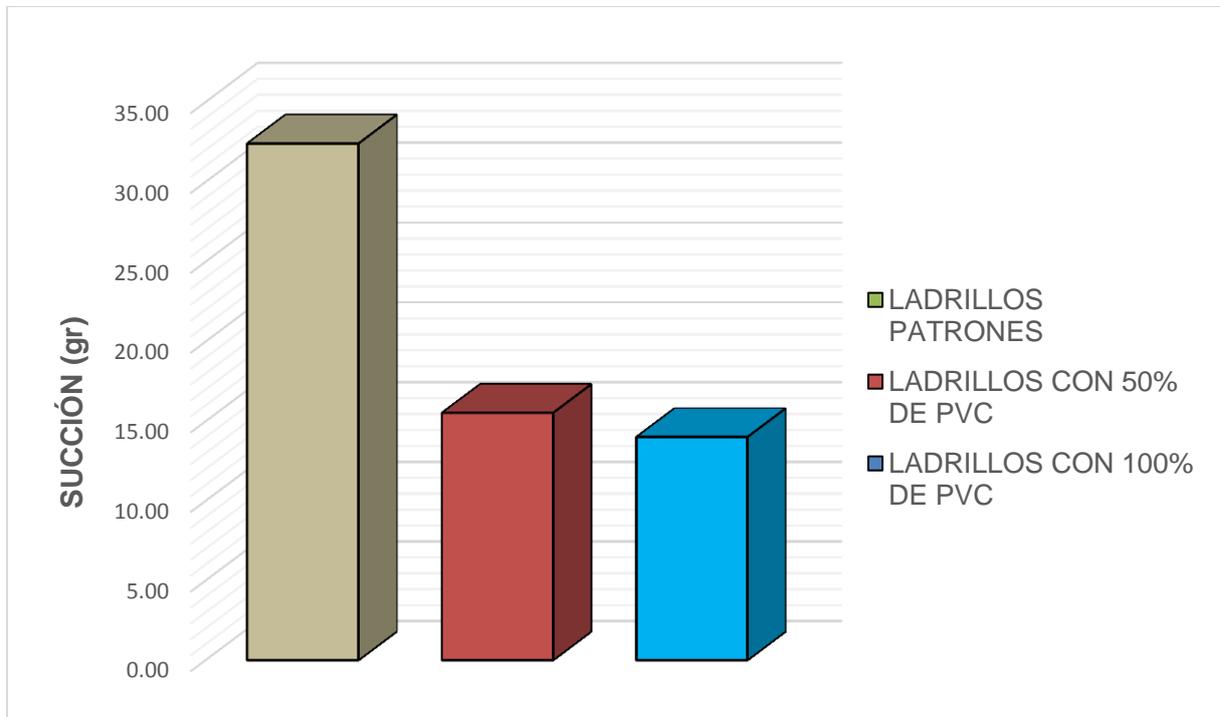
c. Succión

TABLA N° 24: Succión de ladrillos de concreto

PROMEDIOS	LADRILLOS PATRONES (gr)	LADRILLOS CON 50% DE PVC (gr)	LADRILLOS CON 100% DE PVC (gr)
	32.41	15.54	14.02

Fuente: Elaboración propia, 2015.

GRÁFICA N° 08: Datos promedios de succión



Fuente: Elaboración propia, 2015.

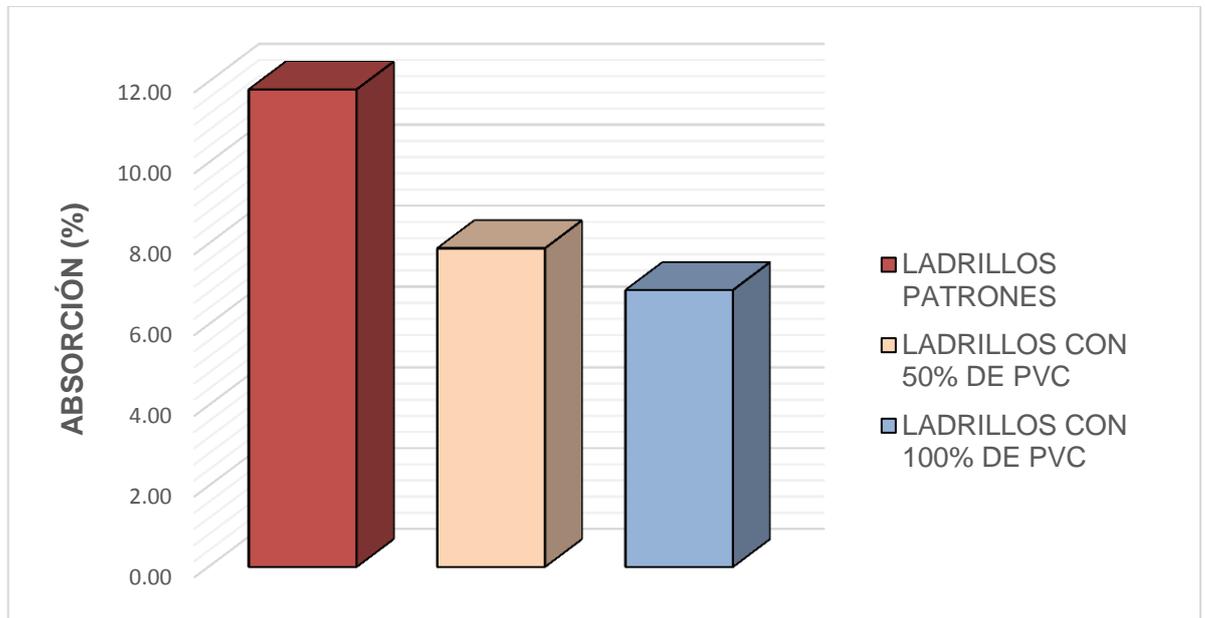
d. Absorción

TABLA N° 25: Absorción de ladrillos de concreto

PROMEDIOS	LADRILLOS PATRONES (%)	LADRILLOS CON 50% DE PVC (%)	LADRILLOS CON 100% DE PVC (%)
	11.81	7.89	6.85

Fuente: Elaboración propia, 2015.

GRÁFICA N° 09: Datos promedios de absorción



Fuente: Elaboración propia, 2015.

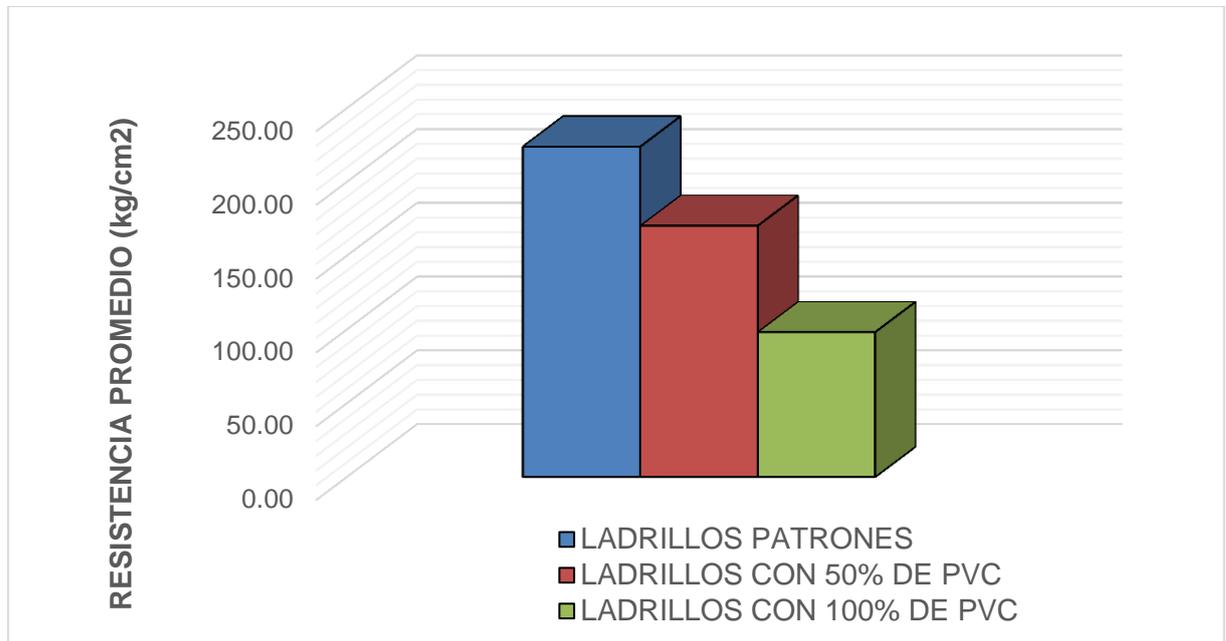
e. Resistencia a la compresión

TABLA N° 26: Resistencia a compresión de ladrillos de concreto

	LADRILLOS PATRONES			LADRILLOS CON 50% DE PVC			LADRILLOS CON 100% DE PVC		
	06	07	10	07	08	10	01	03	04
MUESTRA	06	07	10	07	08	10	01	03	04
LARGO PROMEDIO (cm)	23.80	23.90	23.80	23.90	24.00	24.00	23.90	24.00	23.90
ANCHO PROMEDIO (cm)	14.19	14.00	14.12	14.16	14.20	14.16	14.04	14.23	14.01
ALTO PROMEDIO (cm)	10.42	10.27	10.37	10.38	10.16	10.25	10.60	10.52	10.31
ÁREA (cm²)	337.81	334.60	336.12	338.33	340.86	339.84	335.57	341.52	334.77
ALABEO (mm)	-	1.25	-	-	1.5	-	1.5	1	1
CARGA ÚLTIMA (kg)	73512	73033	79357	57677	56949	58936	34146	31416	33768
TIEMPO (min)	02' 12"	02' 04"	02' 32"	01' 37"	01' 29"	01' 40"	01' 38"	01' 54"	01' 42"
RESISTENCIA f'c (kg/cm²)	217.61	218.27	236.10	170.47	167.07	173.42	101.76	91.99	100.87
PROMEDIO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm²)	223.99			170.32			98.20		

Fuente: Elaboración propia, 2015.

GRÁFICA N° 10: Datos promedios de resistencia a compresión



Fuente: Elaboración propia, 2015.

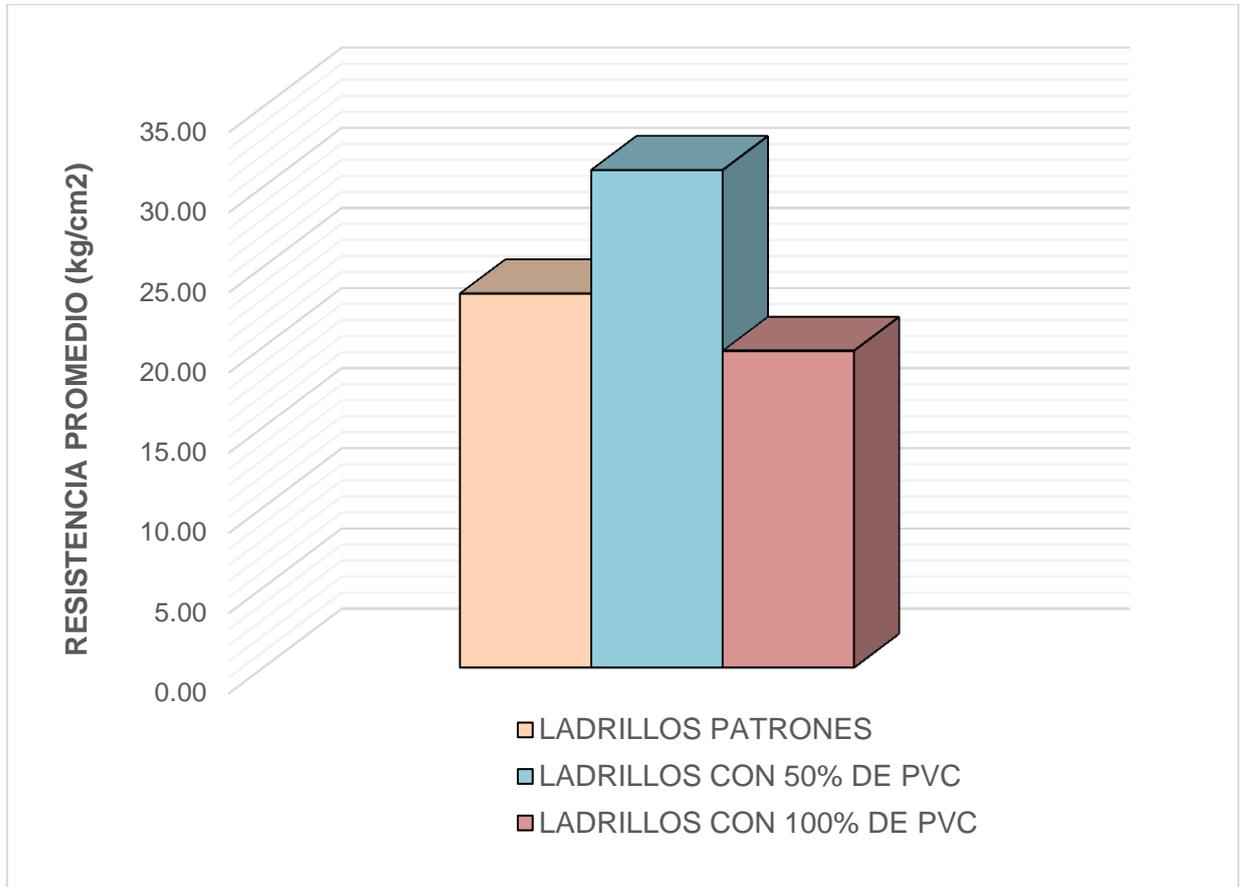
f. Módulo de rotura ensayo de flexión

TABLA N° 27: Ensayo de flexión de ladrillos de concreto

	LADRILLOS PATRONES			LADRILLOS CON 50% DE PVC			LADRILLOS CON 100% DE PVC		
	02	03	09	02	03	05	06	08	09
MUESTRA	02	03	09	02	03	05	06	08	09
LARGO PROMEDIO (cm)	23.88	23.90	23.90	23.80	23.81	23.90	23.80	23.90	23.80
ANCHO PROMEDIO (cm)	14.03	14.01	14.16	14.11	14.02	14.19	14.09	14.02	14.04
ALTO PROMEDIO (cm)	10.43	10.34	10.44	10.50	10.55	10.23	10.40	10.46	10.55
ÁREA (cm²)	335.10	334.78	338.33	335.82	333.70	339.14	335.34	335.08	334.15
ALABEO (mm)	1	2.5	2.5	2	-	2.5	3	-	-
CARGA ÚLTIMA (kg)	8638	7531	7356	9434	9230	12684	6967	6535	6351
TIEMPO (min)	01' 42"	01' 38"	01' 24"	01' 42"	01' 38"	01' 34"	01' 14"	01' 29"	01' 32"
RESISTENCIA f'_c (kg/cm²)	25.78	22.50	21.74	28.09	27.66	37.40	20.78	19.50	19.01
MÓDULO DE ROTURA (kg/cm²)	117.81	104.80	99.33	125.53	122.56	178.09	94.63	88.83	84.06
PROMEDIO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm²)	23.34			31.05			19.76		
PROMEDIO DE MÓDULO DE ROTURA (kg/cm²)	107.31			142.06			89.17		

Fuente: Elaboración propia, 2015.

GRÁFICA N° 11: Datos promedios de ensayo a flexión



Fuente: Elaboración propia, 2015.

CAPÍTULO 7: DISCUSIÓN

Se evaluó la medición de dimensiones, alabeo, succión, absorción, resistencia a compresión, módulo de rotura ensayo a flexión, de cada muestra de ladrillo sin PVC triturado y con porcentaje de PVC, se analizó los resultados de los ensayos realizados a los agregados y al PVC triturado y la dosificación de la mezcla.

Medición de dimensiones

La variación promedio de dimensiones en los ladrillos fabricados sin PVC triturado y ladrillos fabricados con porcentaje de PVC triturado, es mínima. Debido a que se trabajó con un mismo molde para todas las unidades de albañilería. (VER TABLA N° 22)

Alabeo

La variación promedio de los ladrillos fabricados sin PVC triturado y ladrillos fabricados con % de PVC triturado, es de un mínimo valor de 0 mm y un máximo valor de 2.5 mm. (VER TABLA N° 23)

Succión

De acuerdo con el ensayo de succión los ladrillos sin PVC, la succión promedio es más alta que en los otros ladrillos con un valor de 32.41 gr, ladrillos con 50% de PVC tienen una succión promedio de 15.54 gr y en ladrillos con 100% de PVC una succión promedio de 14.02 gr, siendo la cantidad más baja en succión. (VER TABLA N° 24)

Absorción

Por medio de los ensayos obtenidos del ensayo a absorción los ladrillos fabricados sin PVC absorben 11.81%, el cual cumple con la norma NTP 399.601, donde el máximo porcentaje es 12%; para ladrillos con 50% de PVC absorben 7.89 y ladrillos con 100% de PCV absorben 6.85%, siendo el porcentaje más bajo de absorción. (VER TABLA N° 25)

Resistencia a la compresión

La resistencia promedio a compresión de los ladrillos fabricados sin PVC es de 223.99 Kg/cm², con este valor promedio cumple la resistencia para un ladrillo diseñado para un concreto de $f'c = 210$ kg/cm². Para ladrillo con 50% de PVC su resistencia promedio es de 170.32 kg/cm², este valor es menor que los ladrillos sin PVC.

En caso de ladrillos con 100% de PVC su resistencia promedio es de 98.20 Kg/cm², este valor mucho menor que los ladrillos sin PVC y ladrillos con 50% de PVC, siendo la resistencia más baja. (VER TABLA N° 26)

Módulo de rotura ensayo a flexión

La resistencia promedio a flexión de los ladrillos fabricados sin PVC es de 107.31 kg/cm², para ladrillos con 50% de PVC un valor promedio de 142.06 kg/cm² dando el valor más alto para este ensayo superando a los ladrillos sin PVC y ladrillos con 100% de PVC. Para ladrillos con 100% de PVC un valor promedio de 89.17 kg/cm², los cuales son menores que los ladrillos sin PVC y ladrillos con 50% de PVC. (VER TABLA N° 27)

CONCLUSIONES

1. Se cumple parcialmente con la hipótesis, debido a que no todas las propiedades físico – mecánicas de los ladrillos de concreto, elaborados con residuos plásticos de PVC se incrementan.
2. La principal limitación se superó, obteniendo un molde artesanal con medidas exactas para dos unidades de ladrillos. Los resultados obtenidos son favorables y precisos en esta investigación.
3. Las propiedades físico mecánicas de unidades de ladrillo de concreto elaborados con residuos plásticos de PVC se incrementan, excepto la resistencia a compresión. Para el ensayo de variación de dimensiones es mínima, en alabeo un promedio de 0 – 2.5 mm, en succión los ladrillos con porcentajes de PVC tienen menor capacidad de succión de agua con un valor promedio de 15.54 gr para ladrillos con 50% de PVC y 14.02 gr para ladrillos con 100% de PVC, para el ensayo de absorción los ladrillos con porcentajes de PVC presentan menor capacidad de absorber agua, con un valor promedio de 7.89% para ladrillos con 50% de PVC y 6.85% para ladrillos con 100% de PVC, para el ensayo de módulo de rotura (ensayo de flexión) los ladrillos con 50% de PVC presentan mayor capacidad de resistencia a flexión con un valor promedio de 142.06 kg/cm² y finalmente para el ensayo de resistencia a la compresión los ladrillos con porcentajes de PVC, presentan baja resistencia a compresión frente a ladrillos sin porcentajes de PVC con un valor promedio de 223.99 kg/cm², el cual cumple con el diseño de mezclas para un concreto de $f'c = 210$ kg/cm².
4. Los ladrillos con porcentajes de PVC triturado podrían utilizarse en muros perimétricos, parapetos, jardinería, en albañilería aporcada y en muros no portantes.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar ladrillos con PVC triturado en estructuras que las unidades de albañilería no cumplan con un fin estructural.
2. Se recomienda que se realicen ladrillos con otros porcentajes de PVC triturado.
3. Se recomienda realizar estudios de impacto ambiental en el triturado del PVC.
4. Implementar un análisis de costos en el PVC triturado, para tener referencia en cuanto difiere el precio frente a otros tipos de ladrillos.
5. Implementar cementos puzolánicos, en la elaboración de unidades de ladrillos de concreto, para verificar su resistencia a compresión.
6. Se recomienda verificar el revestimiento en muros utilizando ladrillos con porcentajes de PVC triturado, para comparar en cuanto disminuye o incrementa.

REFERENCIAS.

1. Ministerio de Construcción, Vivienda y Saneamiento (2006). Norma E 0.70.
2. Caleb Editor (1999). Limusa Wiley y Hornbostel. Materiales para Construcción.
3. Asociación ventanas PVC (2015). Concepto de PVC.
4. Antonio García Verduch (1986). Método de ensayo para la determinación de la capacidad de absorción de agua de los ladrillos.
5. Ministerio de la Producción (2010). Guías de buenas prácticas artesanales para ladrilleras Perú
6. Componentes constructivos elaborados con una mezcla cementicia y agregados de plásticos reciclados, (Centro Experimental de la Vivienda Económica. CEVE – CONICET Igualdad 3585 Villa Siburu – Córdoba Capital), 16 - 17 Octubre 2008.
7. Revista INVI, Rosana Gaggino arquitecta, magister en diseño arquitectónico, doctora en ciencias de diseño y además investigadora de CEVE (Centro Experimental de la Vivienda Económica). En su artículo "LADRILLOS Y PLACAS PREFABRICADAS CON PLÁSTICOS RECICLADOS APTOS PARA LA AUTOCONSTRUCCIÓN", 2008.
8. Nicoll S.A, NTP – ISO 4422 (2006). Tubos y Accesorios de PVC – U, Catálogo y Manual Técnico.
9. Revista textos científicos (2005). POLICLORURO DE VINILIO – PVC.
10. Revista textos científicos (2008). RESINAS DE POLIURETANO, SILICONAS Y VINÍLICAS.
11. LEIDER Jacoby y DEKKER Marcel (1990). "Plastic Waste Recovery of ecomic value" – 1990 EE.UU.
12. Códigos recomendados por el Plastic Bottle Institute (2000). RICHARDSON. Industria del plástico. Madrid: Paraninfo.
13. Tecnología del concreto (1992). DISEÑO DE MEZCLAS – ENRIQUE RIVVA LOPEZ.

14. Baroni M. & Zancheta E. (2005). Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española. Significado: "Comparación". Recuperado el 20 de septiembre del 2014.
15. Cementos Pacasmayo. (2015). Especificación Técnicas. Lima, Perú.
16. Guzmán, D. (2001). Tecnología del Concreto y del Mortero. Colombia: Bhandar Editores Ltda.
17. Sika. (2009). Curado de Concreto. Informaciones Técnicas.
18. Asociación Española de Normalización y Certificación (1986). Norma UNE 67031
19. Casabonne. C, & Gallegos. H, (2005). Albañilería Estructural. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
20. ASTM C33 / NTP 400.037, 2001. Requisitos granulométricos del Agregado Grueso.
21. INDECOPI. (2001).NTP 400.012 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. (2a ed.). Lima, Perú
22. INDECOPI. (1999).NTP 400.017. AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado. (2a ed.). Lima, Perú
23. INDECOPI (2002).NTP 399.604 UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto. (1a ed.). Lima, Perú
24. INDECOPI (2002).NTP 399.601 LADRILLOS DE CONCRETO REQUISITOS.
25. INDECOPI (2002).NTP 399.613 MÉTODOS DE MUESTREO Y ENSAYO DE LADRILLOS DE ARCILLA USADOS EN ALBAÑILERÍA

ANEXOS

1. Anexo N°01: Requisitos granulométricos del agregado grueso
2. Anexo N°02: Ficha técnica
3. Anexo N°03: Diseño de mezclas
4. Anexo N°04: Panel fotográfico
5. Anexo N°05: Plano de Ubicación – Localización de la empresa "WILO S.R.L"
6. Anexo N°06: Formatos utilizados en los ensayos de agregados y ladrillos

ANEXO N° 1: REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO GRUESO

TABLE 1 Grading Requirements for Coarse Aggregates															
Size Number	Nominal Size (Sieves with Square Openings)	Amounts Finer than Each Laboratory Sieve (Square-Openings), Mass Percent													
		100 mm (4 in)	90 mm (3 1/2 in)	75 mm (3 in)	63 mm (2 1/2 in)	50 mm (2 in)	37.5 mm (1 1/2 in)	25 mm (1 in)	19 mm (3/4 in)	12.5 mm (1/2 in)	9.5 mm (3/8 in)	4.75mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)	300 um (N° 50)
1	90 to 37.5 mm (3 1/2 to 1 1/2 in)	100	90 to 100	.....	25 to 60	.....	0 to 15	.....	0 to 5	.....	.....	.....	.....	.....	.....
2	63 to 37.5 mm (2 1/2 to 1 1/2 in)	.....	.....	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	.....	0 to 5	.....	.....	.....	.....	.....	.....
3	50 to 25 mm (2 to 1 in)	.....	.....	.....	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	.....	0 to 5	.....	.....	.....	.....	.....
357	50 to 4.75 mm (2 in to N° 4)	.....	.....	.....	100	90 to 100	.....	35 to 70	.....	10 to 30	.....	0 to 5	.....	.....	.....
4	37.5 to 19 mm (1 1/2 to 3/4 in)	.....	.....	.....	.....	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	.....	0 to 5	.....	.....	.....	.....
467	37.5 to 4.75 mm (1 1/2 in to N° 4)	.....	.....	.....	.....	100	90 to 100	.....	35 to 70	.....	10 to 30	0 to 5	.....	.....	.....
5	25.0 to 12.5 mm (1 to 1/2 in)	.....	.....	.....	.....	.....	100	90 to 100	20 to 55	0 to 10	0 to 5	.....	.....	.....	.....
56	25.0 to 9.5 mm (1 to 3/8 in)	.....	.....	.....	.....	.....	100	90 to 100	40 to 85	10 to 40	0 to 15	0 to 5	.....	.....	.....
57	25.0 to 4.75 mm (1 in to N° 4)	.....	.....	.....	.....	.....	100	95 to 100	.....	25 to 60	.....	0 to 10	0 to 5	.....	.....
6	19.0 to 9.5 mm (3/4 to 3/8 in)	.....	.....	.....	.....	.....	.....	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	0 to 5	.....	.....	.....
67	19.0 to 4.75 mm (3/4 in to N° 4)	.....	.....	.....	.....	.....	.....	100	90 to 100	.....	20 to 55	0 to 10	0 to 5	.....	.....
7	12.5 to 4.75 mm (1/2 in to N° 4)	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	100	90 to 100	40 to 70	0 to 15	0 to 5	.....	.....
8	9.5 to 2.36 mm (3/8 in to N° 8)	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	100	85 to 100	10 to 30	0 to 10	0 to 5	.....
89	9.5 to 1.18 mm (3/8 in to N° 16)	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	100	90 to 100	20 to 55	5 to 30	0 to 10	0 to 5
9A	4.75 to 1.18 mm (N° 4 to N° 16)	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	100	95 to 100	10 to 40	0 to 10	0 to 5

C 33 - 07

A Size Number 9 aggregate is defined in terminology C 125 is a fine aggregate. It is included as a coarse aggregate when it is combined with a size number 8 material to create a size number 89, which is a coarse aggregate as defined by Terminology C 125.

Fuente: ASTM C33 / NTP 400.037, 2001

ANEXO N° 02: FICHA TÉCNICA

		
<p>Ladrillos patrones</p>	<p>Ladrillos con 50% de PVC</p>	<p>Ladrillos con 100% de PVC</p>
<p>Medidas: Largo: 23.9 cm Ancho: 13.9 cm Alto: 10.2 cm</p>	<p>Medidas: Largo: 23.9 cm Ancho: 13.9 cm Alto: 10.2 cm</p>	<p>Medidas: Largo: 23.9 cm Ancho: 13.9 cm Alto: 10.2 cm</p>
<p>composición: Cemento :2.33kg Agregado fino: 6.60 kg Agregado grueso: 6.02 Agua: 0.82 lts</p>	<p>composición: Cemento: 2.33 kg Agregado fino: 6.60 kg PVC triturado: 3.01 kg Agregado grueso: 3.01kg Agua: 0.82 lts</p>	<p>composición: Cemento: 2.33 kg Agregado fino: 6.60 kg PVC triturado: 6.02 kg Agua: 0.82 lts</p>
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Uniformidad dimensional - Alabeo: 0-2.5mm - Buena resistencia a compresión con un valor promedio de 223.99 kg/cm² 	<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Uniformidad dimensional - Alabeo: 0-2.5mm - Succión baja: 15.54 gr - Absorción baja: 7.89 % - Buena resistencia a la flexión con un valor promedio de 142.06 kg/cm² 	<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Uniformidad dimensional - Alabeo: 0-2.5mm - Succión baja: 14.02 gr - Absorción baja: 6.85 %
<p>Descripción: Ladrillo de concreto que puede ser utilizado eficientemente en la construcción.</p>	<p>Descripción: Ladrillo de concreto que puede ser utilizado eficientemente en la construcción.</p>	<p>Descripción: Ladrillo de concreto que puede ser utilizado eficientemente en la construcción.</p>
<p>Usos: Muros portantes de albañilería confinada, tabiques, parapetos, cercos perimétricos. Puede ser usado en su forma de acabado cara-vista. Si por lo contrario, se requiriera el tarrajeo (enlucido), éste será de espesor mínimo, dada la uniformidad dimensional de la unidad.</p>	<p>Usos: Muros no portantes de albañilería, tabiques, parapetos, jardinería, cercos perimétricos, en albañilería aporticada.</p>	<p>Usos: Muros no portantes de albañilería, tabiques, parapetos, jardinería, cercos perimétricos, en albañilería aporticada.</p>

ANEXO N° 03: DISEÑO DE MEZCLAS

Cálculo de la resistencia promedio

TABLA N° 28: Resistencia promedio

F'c (kg/cm²)	f'cr (kg/cm²)
Menos de 210	f'c + 70
210 a 350	f'c + 84
Sobre 350	f'c + 98

Fuente: Rivva López, 1992.

DATOS

T.M.N. =	3/4"	Pulg =	19.05	mm
SLUMP =	2	Pulg =	50.8	mm
f'cr =	294	Kg/cm ² =	4180.48	Psi
γ _m Cemento =	3150	Kg/m ³		

CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

	A. fino	A. grueso	
Peso específico de masa =	2514.638	2532.291	Kg/m ³
Peso específico de masa (S.S.S.) =	2568.053	2588.011	Kg/m ³
Peso unitario suelto seco =	1602.5303	1315.490	Kg/m ³
Peso unitario seco compactado =	1761.3096	1433.740	Kg/m ³
Contenido de humedad =	10.23	2.1	%
Absorción =	2.124	2.2	%
Módulo de finura =	3.07	-	

DISEÑO DE MEZCLAS POR EL METODO ACI – COMITÉ 211

1. Asentamiento: 0 – 2 " (consistencia seca)

TABLA N° 29: Asentamientos recomendados para varios tipos de estructuras

TIPO DE ESTRUCTURA	ASENTAMIENTOS EN PULGADAS	
	MÁXIMO*	MÍNIMO
Zapatas y muros de cimentación reforzado	3	1
Cimentaciones simples, cajas y subestructuras de muro	3	1
Vigas y muros armados	4	1
Columnas de edificios	4	1
Losas y pavimentos	3	1
Concreto ciclópeo	2	1

Fuente: Rivva López, 1992.

* El asentamiento puede incrementarse en 1" si se emplea un método de consolidación diferente a la vibración

TABLA N° 30: Consistencia de la mezcla

Consistencia	Asentamiento	Trabajabilidad
Seca	0" a 2"	Poco trabajable
Plástica	3" a 4"	Trabajable
Húmeda	≥ 5"	Muy trabajable

Fuente: Rivva López, 1992.

- Tamaño Máximo del agregado grueso: 3/4"
- Contenido de agua de mezclado: Concreto sin aire incorporado

Agua de mezclado: 190 Lts

Aire atrapado: 2 %

TABLA N° 31: Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes valores del asentamiento y tamaño nominal máximo del agregado

ASENTAMIENTO	AGUA EN kg/m ³ DE CONCRETO PARA LOS TAMAÑOS NOMINAL MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO Y CONSISTENCIA INDICADOS							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	195	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	....
Cont. De aire atrapado (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
CONCRETO CON AIRE INCORPORADO								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	....
Promedio recomendable para el contenido total de aire atrapado (%)	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

Fuente: Rivva López, 1992.

4. Relación agua cemento:

4.1. Por resistencia:

TABLA N° 32: Relación agua / cemento y resistencia a la compresión del concreto

Resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm ²) f'c	RELACIÓN AGUA/CEMENTO EN PESO	
	CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO	CONCRETO CON AIRE INCORPORADO
450	0.38	....
400	0.43	....
350	0.48	0.4
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.7	0.61
150	0.8	0.71

Fuente: Rivva López, 1992.

Interpolación:

f'c	A/C
300	0.55
294	X =
250	0.62

$$X = 0.5584$$

5. Factor cemento:

$$\text{Cemento} = 190 / 0.5584 = 340.26 \text{ Kg/m}^3$$

6. Cantidad de agregado grueso:

TABLA N° 33: Volumen de agregado grueso por unidad de volumen del concreto

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO	VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO SECO Y COMPACTADO POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL CONCRETO PARA DIFERENTES MODULOS DE FINURA DEL AGREGADO FINO			
	2.4	2.6	2.8	3
3/8"	0.5	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.7
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Rivva López, 1992.

X = 0.6, ya que el módulo de finura del agregado fino es 3.07

Cantidad de Agregado Grueso Seco Compactado (SSS)

$$G = 0.6 * 1433.74 = 860.2443 \text{ Kg/m}^3$$

7. Cantidad de Agregado Fino: (Método de Volúmenes Absolutos)

$$\text{Volumen absoluto de cemento} = 340.26 / 3150 = 0.108019 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen absoluto de agua} = 190 / 1000 = 0.19 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen absoluto de grava} = 860.2443 / 2532.3 = 0.339710 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. De aire atrapado} = 1.5 / 100 = \underline{0.015 \text{ m}^3}$$

$$\text{TOTAL} = \mathbf{0.652729 \text{ m}^3}$$

$$\text{Volumen absoluto de A. Fino} = 0.347271 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso de agregado fino} = 0.347271 * 2414.6 = \mathbf{873.26 \text{ Kg/m}^3}$$

8. Valores de diseño (para 1 m³ de concreto)

Cemento	= 340.26 Kg	= 8.01 bolsas
Agua de diseño	= 190.00 Lts	
A. Fino Seco	= 873.26 Kg	
A. Grueso Seco	= 860.24 Kg	

9. Corrección por humedad

A. Fino Seco	= 962.59 Kg
A. Grueso Seco	= 878.31 Kg
Agua efectiva	= 120.07 Lts

10. Volumen del ladrillo

$$\text{Para un molde: } 0.239 * 0.102 * 0.139 = 0.0034272 \text{ m}^3$$

$$\text{Para dos moldes: } 2 * 0.0034272 = 0.0068544 \text{ m}^3$$

Cemento	= 2.33 Kg
Agua	= 0.82 Lts
A. Fino Seco	= 6.60 Kg
A. Grueso Seco	= 6.02 Kg

11. Proporción en obra

Cemento	= 1
A. Fino Seco	= 2.83
A. Grueso Seco	= 2.58
Agua	= 0.35

ANEXO N° 04: PANEL FOTOGRÁFICO

Inspección de los materiales



Fotografía N° 01: Inspección de los materiales reciclados.



Fotografía N° 02: Inspección de los materiales de PVC a triturar.

Obtención de la muestra



Fotografía N° 03: Selección del material a triturar.



Fotografía N° 04: PVC reciclado seleccionado triturado con tamaño máximo de 1/2"

Análisis granulométrico de los agregados.



Foto N° 05: Compra de los agregados en la cantera del río chonta



Foto N° 06: Secado del material para realizar los ensayos.



Foto N° 07: Tamizando el material por las mallas, para el ensayo de granulometría.



Foto N° 08: Taras o depósitos utilizados para pesar el material retenido en cada malla.



Fotografía N° 09: Pesos retenidos en las mallas del agregado grueso

Análisis granulométrico del PVC reciclado



Fotografía N° 10: PVC triturado



Foto N° 11: Tamizando el PVC triturado por las mallas, para el ensayo de granulometría.

Peso unitario del agregado grueso y agregado fino



Fotografía N° 12: Peso unitario seco compactado, del agregado grueso.



Fotografía N° 13: Peso unitario seco compactado, del agregado fino.

Peso específico del agregado grueso y agregado fino



Fotografía N° 14: Peso de fiola



Fotografía N° 15: Humedad libre del agregado fino



Fotografía N° 16: Material seleccionado de agregado grueso para el ensayo



Fotografía N° 17: Peso de canasta y del material sumergido en agua

Lavado del PVC triturado



Fotografía N° 18: Lavado del PVC triturado para eliminar impurezas



Fotografía N° 19: Secado del material después del lavado

Elaboración de los ladrillos



Fotografía N° 20: Cantidades de agregados y cemento para fabricar ladrillos.



Fotografía N° 21: Prueba de control de peso unitario del concreto



Fotografía N° 22: Peso de recipiente más mezcla de concreto



Fotografía N° 23: Prueba de control de consistencia de la mezcla.



Fotografía N° 24: Medición de slump



Fotografía N° 25: Vibrado del molde más la mezcla



Fotografía N° 26: Ladrillos desmoldados SECOS



Fotografía N° 27: Curado de los ladrillos en la poza.

Medición de dimensiones



Fotografía N° 28: Toma de medidas de los ladrillos patrones.



Fotografía N° 29: Toma de medidas de los ladrillos patrones utilizando el vernier

Alabeo



Fotografía N° 30: Toma de medida de convexidad de ladrillos



Fotografía N° 31: Toma de convexidad de ladrillos.

Capilaridad

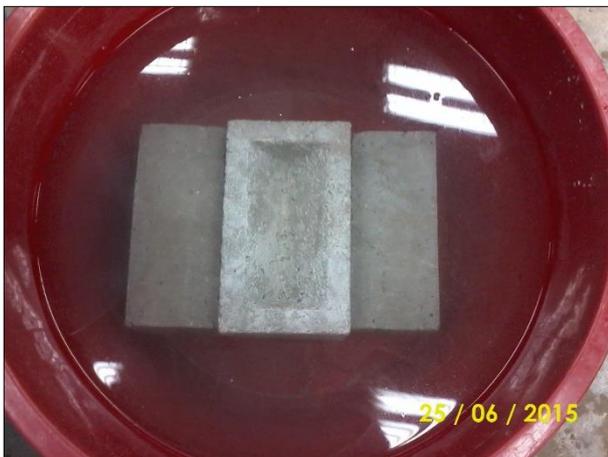


Fotografía N° 32: Capilaridad de ladrillos, tiempo 1 minuto



Fotografía N° 33: Medida de 3 mm para el ensayo de capilaridad.

Absorción



Fotografía N° 34: Ladrillos sumergidos en agua por 24 horas



Fotografía N° 35: Ladrillos en horno por 24 horas después de la inmersión

Resistencia a la compresión



Fotografía N° 36: Preparación de mezcla yeso – cemento para refractar los ladrillos



Fotografía N° 37: Refractado de ladrillos con yeso



Fotografía N° 38: Toma de datos de deformaciones en los ladrillos



Fotografía N° 39: Ensayo a compresión de los ladrillos de concreto



Fotografía N° 40: Carga axial en los ladrillos



Fotografía N° 41: Falla a compresión de ladrillos patrones

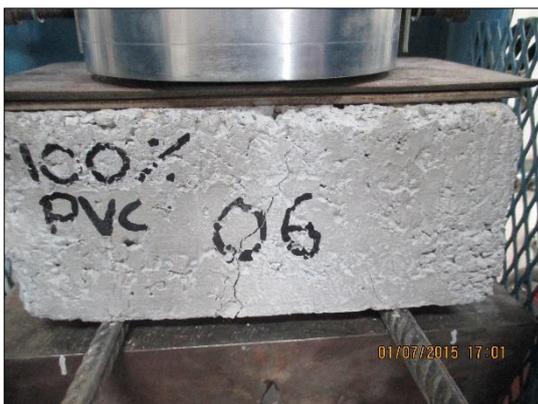
Resistencia a la flexión



Fotografía N° 42: Ensayo a flexión de los ladrillos de concreto



Fotografía N° 43: Ensayo a flexión en ladrillos con 50% de PVC



Fotografía N° 44: Ensayo a flexión en ladrillos con 100% de PVC



Fotografía N° 45: Falla a flexión de ladrillos con 100% de PVC



Fotografía N° 46: Falla a flexión de ladrillos patrones.



Fotografía N° 47: Espesor de la falla a flexión en ladrillos patrones

**ANEXO N° 05: PLANO DE UBICACIÓN – LOCALIZACIÓN DE
LA EMPRESA “WILO S.R.L”**

ANEXO N° 06: FORMATOS UTILIZADOS EN LOS ENSAYOS DE AGREGADOS Y LADRILLOS