

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“ELABORACIÓN DE LADRILLOS DE 18 HUECOS TIPO IV CON  
RESIDUOS DE DEMOLICIÓN Y CEMENTO”**

Presentada por:

JOSE LUIS CRUZADO RUIZ

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÍCOLA

LIMA – PERÚ

2018

## **DEDICATORIA**

*Quiero dedica el presente trabajo especialmente a mi madre, por todo el apoyo que me ha brindado, porque ella es mi inspiración y modelo a seguir como persona.*

*A mi familia, por preocuparse y apoyarme de una u otra forma.*

*A mis amigos de la universidad del grupo llamado “La Familia”, porque hemos compartido demasiadas cosas juntos, y aunque ya no nos juntamos como antes por diversos motivos, siempre estamos en comunicación ya sea por motivos sociales o laborales.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Agradecer a mi asesor el Ing. Carlos Bravo Aguilar por los consejos brindados en las diversas etapas del trabajo. También agradecer al Ing. Hermes Valdivia Aspilcueta por sus recomendaciones.*

*Mi agradecimiento al Ing. Alfonso Cerna Vásquez por permitirme el uso del Laboratorio de Prueba y Ensayo de Materiales.*

*Agradecer a la empresa MP Recicla, la cual es pionera en el tema de reciclaje de residuos de la construcción en el Perú; principalmente a Don Walter Mori y Roger Mori por todo el apoyo y facilidades que recibí.*

*También quiero agradecer al que en su momento fue el técnico del Laboratorio de Prueba y Ensayo de Materiales, Walter Diaz, por su apoyo en los ensayos que realicé.*

*Y no quiero dejar de agradecer a todos mis amigos que de vez en cuando me visitaban en el laboratorio para conversar del tema e incluso me ayudaban cuando tenía problemas con la extracción del ladrillo. Entre ellos Luis Pool Chinchayan que casi siempre estaba ahí.*

# ÍNDICE GENERAL

## RESUMEM

## ABSTRACT

<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.1.1. OBJETIVO GENERAL.....	2
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
2.1. ANTECEDENTES .....	3
2.2. LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN .....	3
2.2.1. DEFINICIÓN.....	3
2.2.2. COMPOSICIÓN .....	4
2.2.3. CLASIFICACIÓN.....	4
2.2.4. REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE DE LOS RCD.....	5
2.3. LOS LADRILLOS COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN .....	6
2.3.1. LADRILLOS .....	6
2.3.2. CLASIFICAIÓN PARA FINES ESTRUCTURALES.....	6
2.3.3. LIMITACIONES DE APLICACIÓN.....	7
2.3.4. LADRILLOS DE ARCILLA.....	8
2.3.5. LADRILLOS DE CONCRETO .....	9
2.4. CEMENTO.....	11
2.4.1. CEMENTO PORTLAND .....	11
2.5. LOS AGREGADOS COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN .....	11
2.5.1. AGREGADO RECICLADO.....	11
2.5.2. CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS SEGÚN SU COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA.....	11
2.5.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS .....	12
2.6. EXPERIENCIAS SIMILARES A LOS LADRILLOS FABRICADOS CON AGREGADOS RECICLADOS.....	13
2.6.1. CONCRETO RECICLADO .....	13
2.6.2. LADRILLOS ECOLÓGICOS .....	14
2.7. PRUEBAS O ENSAYOS EN LADRILLOS .....	16
2.7.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN .....	16
2.7.2. VARIACIÓN DIMENSIONAL .....	16
2.7.3. PRUEBA DE ABSORCIÓN.....	16
2.7.4. PORCENTAJE DE VACÍOS .....	16

<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>17</b>
3.1. GENERALIDADES.....	17
3.2. SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN .....	17
3.3. PROCESAMIENTO DE LOS ESCOMBROS Y OBTENCIÓN DEL AGREGADO .....	18
3.3.1. PREPARACION DE LOS ESCOMBROS PARA LA TRITURACIÓN.....	18
3.3.2. TRITURACIÒN.....	18
3.3.3. TAMIZADO .....	19
3.4. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL AGREGADO RECICLADO DE RCD .....	20
3.5. DISEÑO DE MEZCLA PARA LA ELABORACIÓN DE LOS LADRILLOS .....	20
3.5.1. CONSISTENCIA DE LA MEZCLA.....	21
3.5.2. DOSIFICACIONES FINALES .....	22
3.6. PRUEBAS Y DISEÑO DEL MOLDE FINAL.....	22
3.7. PROCESO DE FABRICACIÓN DE LOS LADRILLOS .....	22
3.7.1. ELABORACIÓN DE LA MEZCLA .....	22
3.7.2. COLOCACIÓN DE LA MEZCLA Y DESMOLDE.....	23
3.7.3. CURADO DE LOS LADRILLOS .....	24
3.8. ENSAYOS .....	24
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>25</b>
4.1. CLASIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN .....	25
4.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL AGREGADO RECICLADO DE RCD .....	25
4.3. ENSAYO DE VARIACIÓN DE DIMENSIONES .....	26
4.4. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN .....	27
4.5. ENSAYO DE ABSORCIÓN.....	29
4.6. PORCENTAJE DE VACÍOS .....	30
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>31</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>33</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>34</b>
<b>VIII. ANEXOS .....</b>	<b>37</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Clase de unidad de albañilería para fines estructurales .....	7
Cuadro 2: Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales .....	7
Cuadro 3: Requisitos para los ladrillos de arcilla .....	9
Cuadro 4: Requisitos de absorción para los ladrillos de arcilla.....	9
Cuadro 5: Requisitos de resistencia y absorción de los ladrillos de concreto .....	10
Cuadro 6: Tamices a utilizar para realizar el análisis granulométrico .....	12
Cuadro 7: Diseños de mezcla para el ladrillo de 18 huecos tipo IV .....	22
Cuadro 8: Resumen de las características del agregado reciclado de RCD .....	25
Cuadro 9: Cuadro resumen del porcentaje de variación .....	27
Cuadro 10: Resumen de la resistencia a la compresión de cada diseño .....	28
Cuadro 11: Porcentaje de absorción de los ladrillos .....	29
Cuadro 12: Porcentaje de vacíos del ladrillo .....	30

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Zonas Sísmicas del Territorio Nacional (NTE E0.30).....	8
Figura 2: Ecoladrillo .....	14
Figura 3: Ladrillos Modulares ECO - PERÚ .....	16
Figura 4: Bloques ecológicos .....	16
Figura 5: Recepción del escombro.....	18
Figura 6: Ajuste de la máquina trituradora o chancadora de quijada .....	19
Figura 7: RCD triturado por la máquina .....	19
Figura 8: Rotura y desmoronamiento por falta de agua en la mezcla.....	21
Figura 9: Mezclado de los materiales para fabricar el ladrillo .....	23
Figura 10: Ladrillo recién levantado del molde.....	23
Figura 11: Curva granulométrica del agregado reciclado de RCD con los límites permisibles según la NTP 400.037 .....	26
Figura 12: Comparación de la resistencia a la compresión de cada diseño .....	28

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: BOTADEROS REGISTRADOS EN EL 2009 EN LIMA METROPOLITANA.....	38
ANEXO 2: CLASIFICACIÓN Y OPCIONES DE MANEJO DE LOS RESIDUOS DE LA ACTIVIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN.....	39
ANEXO 3: OPCIONES DE APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE LA ACTIVIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN.....	40
ANEXO 4: CURVA GRANULOMÉTRICA DEL RCD TRITURADO QUE PASA LA MALLA NUMERO 8.....	41
ANEXO 5: MOLDES DE MADERA UTILIZADOS EN LA ETAPA PRELIMINAR.....	42
ANEXO 6: DETALLES DE LA MÁQUINA MANUAL PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS DE 18 HUECOS.....	43
ANEXO 7: ENSAYO DE VARIACIÓN DE DIMENSIONES.....	44
ANEXO 8: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	46
ANEXO 9: PORCENTAJE DE ABSORCIÓN.....	49
ANEXO 10: ENSAYO DE PORCENTAJE DE VACÍOS.....	51
ANEXO 11: IMÁGENES DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICION UTILIZADOS.....	54
ANEXO 12: CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO RECICLADO DE RCD CON LOS LIMITES PERMISIBLES SEGÚN LA NTP 400.037.....	55
ANEXO 13: ENSAYO DE PESO VOLUMÉTRICO O UNITARIO DEL AGREGADO RECICLADO DE RCD.....	56
ANEXO 14: ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO RECICLADO DE RCD.....	58
ANEXO 15: DISEÑO DE MEZCLA PARA EL LADRILLO CON AGREGADO RECICLADO.....	60
ANEXO 16: MEMORIA DE CÁLCULO PARA EL ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS DEL LADRILLO.....	61
ANEXO 17: MEMORIA DE CÁLCULO PARA EL ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE LA PRODUCCIÓN DE AGREGADO RECICLADO.....	62
ANEXO 18: ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS PARA LA PRODUCCIÓN DE AGREGADO RECICLADO.....	63
ANEXO 19: ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS PARA EL LADRILLO.....	64
ANEXO 20: BENEFICIOS DEL ESTUDIO.....	66
ANEXO 21: PANEL DE FOTOS GENERAL.....	67

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo evaluar las propiedades físicas – mecánicas del ladrillo de 18 huecos tipo fabricado con residuos de demolición y cemento IV elaborado en el Laboratorio de Prueba y Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina. El diseño de la mezcla para los ladrillos fue de manera empírica por aproximaciones sucesivas (Ensayo – Error), con relaciones de agua - cemento bajas y la menor cantidad de cemento posible para cumplir principalmente los requisitos de resistencia según la Norma Técnica Peruana E 0.70. Los resultados nos mostraron que la resistencia a la compresión promedio del Diseño 3 (Diseño con la mayor relación Agregado Fino – Cemento) fue de 99.8 Kg/cm<sup>2</sup>; con la cual no se alcanzó a cumplir los requisitos mínimos exigidos para un ladrillo tipo IV según la norma anteriormente mencionada. Sin embargo, la resistencia máxima alcanzada por una de las muestras (140.5 Kg/cm<sup>2</sup>) nos hace pensar que mejorando y uniformizando el proceso de fabricación de podría llegar a cumplir con los requisitos de resistencia. Por otro lado, se obtuvo que el ladrillo posee una absorción de 12.8 por ciento, la cual es mucho menor a los ladrillos de arcilla, pero superior a los ladrillos de concreto debido a que en la composición del agregado reciclado utilizado se encuentra gran porcentaje de ladrillo. Los resultados obtenidos son específicamente para el residuo de demolición no clasificado (Muros de ladrillos), por lo que una de las formas de mejorar los resultados de resistencia y absorción sería utilizando residuos de concreto de demolición, además de aumentar la dosificación de cemento o incluso reducir ligeramente el diámetro de los huecos del ladrillo.

**Palabras clave:** Ladrillos de 18 huecos, ladrillos tipo IV, residuos de la construcción y demolición, elaboración de ladrillos, agregado reciclado, RCD.



## **ABSTRACT**

The objective of the present investigation is to evaluate the physical and mechanical properties of the 18-hole brick (Type IV) made with demolition waste and cement developed in the Materials Testing Laboratory of the Faculty of Agricultural Engineering of the National Agrarian University - La Molina. The mix design for the bricks was empirically by successive approximations (trial – error), with low water-cement ratios and the least amount of cement possible to fulfill the resistance requirements according to Peruvian Technical Standard E 0.70. The results showed that the average compression strength of Design 3 (Design with the highest Fine Aggregate - Cement ratio) was 99.8 Kg/cm<sup>2</sup>; with which was not possible to get the minimum requirements for a brick type IV according to the aforementioned standard. However, the maximum resistance reached by one of the samples (140.5 Kg/cm<sup>2</sup>) makes us think that improving and standardizing the manufacturing process could reach the resistance requirements. On the other hand, it was obtained that the brick has an absorption of 12.8 percent, which is much less than clay bricks, but higher than concrete bricks because in the composition of the recycled aggregate used there is a large percentage of brick. The results obtained are specifically for the unclassified demolition waste (brick walls), so one of the ways to improve the resistance and absorption results would be using demolition concrete waste, in addition to increasing the dosage of cement or even slightly reduce the diameter of the brick holes.

**Keywords:** 18 – hole brick, brick type IV, construction and demolition waste, brick making, recycled aggregate, CDW.

## I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación contribuye con el desarrollo de la construcción sostenible porque demuestra que el uso de agregados reciclados para la fabricación de materiales de construcción no convencionales como ladrillos puede ser factible. Por ello el objetivo de la investigación es evaluar las propiedades físicas - mecánicas de los ladrillos de 18 huecos tipo IV fabricados con material de demolición, cemento y agua.

Para lograr el objetivo principal se realizaron diversas pruebas y ensayos de laboratorio como: evaluación de la resistencia a la compresión, evaluación de la variación dimensional, evaluación del porcentaje de absorción y evaluación del porcentaje de vacíos. Para finalmente comparar los resultados con las propiedades - físicas mecánicas de los ladrillos convencionales de arcilla y concreto según la Norma Técnica Peruana E.070.

En el mundo de la construcción la eliminación de los residuos sólidos que se generan por la demolición, construcción o movimientos de tierras es un problema porque no se sabe dónde arrojarlos o en que usarlos, ya que estos generan un impacto ambiental en el paisajismo, suelo, agua y/o aire dependiendo del tipo de RCD (Residuos de construcción y demolición).

Observando el problema anteriormente mencionado, surgió la idea por parte de la empresa MP Recicla S.A.C de cómo reutilizarlos, y se llegó a la conclusión que una de las formas de uso es la fabricación de ladrillos, por eso el estudio se basa en la fabricación y evaluación de las propiedades físicas – mecánicas de ladrillos 18 huecos tipo IV fabricados con RCD (escombros, específicamente material de demolición no clasificado, según la NTP 400.050 Manejo de residuos de la actividad de la construcción). Además, una de las motivaciones fue que en diversos países ya se cuenta con plantas de producción de agregados reciclados que generalmente son usados para concreto reciclado, como en España, Brasil, México, etc.

En Resumen, el estudio se basa en la reutilización del material de demolición no clasificado (Demolición de muros) para la fabricación de ladrillos utilizando el cemento como elemento ligante, generando diferentes diseños de mezcla hasta obtener el que posea una resistencia a la compresión similar a un ladrillo tipo IV según la Norma Técnica Peruana E.070.

Con la investigación incentiva la creación de plantas de elaboración de ladrillos a partir de RCD, de manera que es una solución ecológica para el manejo de estos residuos, porque se emplearán como áridos o agregados reciclados.

El trabajo no solo será un aporte a la construcción, sino también un aporte al cuidado del medio ambiente.

## **1.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1.1. OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar las propiedades físico - mecánicas de los ladrillos de 18 huecos tipo IV fabricados con material de demolición, cemento y agua.

### **1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Obtener el diseño de mezcla óptimo con la menor cantidad de cemento posible para que el ladrillo de 18 huecos tipo IV pueda ser económica y técnicamente viable.
- Evaluar la resistencia a la compresión por unidad del ladrillo de 18 huecos tipo IV.
- Evaluar la variación de dimensiones del ladrillo de 18 huecos tipo IV.
- Evaluar la absorción del ladrillo de 18 huecos tipo IV.
- Evaluar el porcentaje de vacíos del ladrillo de 18 huecos tipo IV.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. ANTECEDENTES**

Actualmente en Lima Metropolitana existen 22 botaderos de residuos sólidos, de los cuales 11 son exclusivamente para escombros (Subgerencia de Medio Ambiente de la Municipalidad Metropolitana de Lima, 2009, ver en Anexo 1). Estos escombros pueden ser residuos de construcción y demolición (RCD) o movimiento de tierras.

En el mundo de la construcción existe una gran demanda de los materiales de construcción convencionales (ladrillos, arena y grava), por ello, a medida que pasa el tiempo las fuentes de recursos naturales próximos se agotan, es decir existe una mayor distancia de transporte, por lo tanto, el costo económico y energético es mayor. Además de considerar el tratamiento elevado de los RCD que genera el sector construcción.

Es por lo anterior mencionado que existen diversos estudios respecto a elaboración de agregados reciclados, específicamente aplicado a concreto, estos estudios han sido principalmente en Europa, EE. UU y algunos países latino americanos.

Si bien existe una norma para el manejo de estos residuos, aún no es aplicada de la mejor manera en el Perú.

En conclusión, existe una alta disponibilidad de los residuos de construcción y demolición para generar un producto con material no convencional (RCD) como el ladrillo de 18 huecos tipo IV. Se eligió este tipo de ladrillo porque es uno de los más comerciales, dando así una solución al manejo de estos residuos a futuro con el apoyo del Estado, gobiernos regionales, municipalidades, etc.

### **2.2. LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN**

#### **2.2.1. DEFINICIÓN**

Se denomina residuos de construcción y demolición (RCD) a aquellos residuos que provienen, de la construcción, rehabilitación, restauración o demolición de edificaciones y

diversos tipos de estructuras existentes, así como de la producción de materiales de construcción.

### **2.2.2. COMPOSICIÓN**

La composición que poseen los RCD depende del tipo de infraestructuras, y esto también varía de acuerdo a los países, debido a sus climas, regiones, poder adquisitivo, etc, ya que la disponibilidad de las diferentes materias primas no es igual en todas las regiones.

Las distintas materias primas que se usan en la construcción y que se puede hallar en los RCD son: arena, yeso natural, metales, grava, caliza (producción de cemento), arcilla, piedra natural, madera, petróleo (plásticos).

Los residuos que llegan a los botaderos contienen escombros desglosados en los siguientes materiales: ladrillos y otros cerámicos, concreto, arena, grava y otros áridos, madera, vidrios, plásticos, metales, asfalto, yeso, papel, basura y otros en diferentes porcentajes.

### **2.2.3. CLASIFICACIÓN**

Los RCD se clasifican según la Norma Técnica Peruana (NTP 400.050) en:

- Excedentes de remoción

Comprende todo material excedente proveniente del movimiento de tierras. Se dividen en: reutilizables, reciclables y para disposición final.

- Excedentes de obra

Son todos los materiales de construcción, que resultan sobrantes durante la ejecución de la obra. Se dividen en: reutilizables, reciclables y para disposición final.

- Escombros

Residuos generados por la demolición y/o la construcción parcial o total de una obra de construcción. Se dividen en: reutilizables, reciclables y para disposición final.

- Otros residuos

Son todos aquellos que no son excedentes de obra, excedentes de remoción ni de escombros.

El material que se usara como materia prima son específicamente los escombros. Los escombros por su origen se clasifican en:

- Concreto de demolición

Es el término con el cual se le denomina a los fragmentos de concreto obtenidos por la demolición de los elementos de concreto armado o simple que posee una construcción, así como también los provenientes de pavimentos de concreto.

También incluye al concreto de los excedentes de obra.

- Mezcla asfáltica de demolición

Es el término con el que se denomina a los fragmentos de mezcla asfáltica o materiales bituminosos obtenidos por la remoción o demolición de estos

- Material no bituminoso de carreteras

Es el término con el que se denomina a los materiales no tratados obtenidos al remover capas intermedias y sub base de carreteras

- Material de demolición no clasificado

Es el término genérico con el que se denomina a los materiales o mezcla de materiales provenientes de la demolición de edificaciones, constituidos principalmente por compuestos minerales no metálicos, que no cumplen con la definición de concreto de demolición.

#### **2.2.4. REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE DE LOS RCD**

Según el reglamento para la gestión de residuos sólidos de la construcción y demolición, del ministerio de vivienda construcción y saneamiento, para el reciclado de estos residuos se debe contar con una planta de reciclaje especializada.

- Reciclaje de concreto de demolición

Se pueden reciclar en bloques o en partículas pequeñas mediante fresado, provenientes de construcciones de concreto simple, armado o tensado, que no contengan elementos peligrosos (tóxicos), para que puedan ser usados como agregado en la fabricación de nuevos concretos, como material de relleno no portante, etc.

- Reciclaje de materiales de demolición no clasificados

El material de demolición granulado no clasificado, proveniente de edificación u obras en general podrá ser reaprovechado en la preparación de capas de fundación, mezclas asfálticas recicladas, concreto reciclado, rellenos no portantes, etc.

El material debe estar libre de fierro, plástico, madera y cualquier otro material que contenga residuos peligrosos.

El tratamiento para ambos tipos de residuo será el chancado y tamizado, reduciéndolo al tamaño máximo de partícula requerida.

En el Anexo 2 y 3 se puede ver las opciones de manejo y aprovechamiento de los RCD según la Norma Técnica Peruana (NTP 400.050).

## **2.3. LOS LADRILLOS COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN**

### **2.3.1. LADRILLOS**

El ladrillo es un elemento de construcción generalmente cerámico o de concreto con forma ortoédrica, cuya dimensión y peso permite que sea manipulable con una sola mano, caso contrario se le denomina bloque.

Se utilizan generalmente para construir muros o tabiques y habitualmente se reciben con morteros.

Los ladrillos pueden ser sólidos, huecos, alveolares o tubulares y se fabrican de manera artesanal e industrial. Los ladrillos macizos son aquellos que cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área igual o mayor que el 70% del área bruta en el mismo plano, caso contrario son huecos. Los ladrillos tubulares son aquellos con huecos paralelos a la superficie de asiento.

### **2.3.2. CLASIFICAIÓN PARA FINES ESTRUCTURALES**

Según la norma E0.70 de albañilería para efectos de diseño estructural, las unidades de albañilería tendrán las siguientes características indicadas en el Cuadro 1.

**Cuadro 1: Clase de unidad de albañilería para fines estructurales**

CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN (Máxima en porcentaje)			ALABE O (Máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN $f'_{cb}$ mínimo en MPa (kg/cm <sup>2</sup> ) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4,9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6,9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9,3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12,7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17,6 (180)
Bloque P	± 4	± 3	± 2	4	4,9 (50)
Bloque NP	± 7	± 6	± 4	8	2,0 (20)

FUENTE: NTP E0.70 Albañilería

### 2.3.3. LIMITACIONES DE APLICACIÓN

El uso y aplicación de los elementos de albañilería (ladrillos) está limitado según la región sísmica en la que se trabaje. Las zonas sísmicas son las indicadas por la NTE E0.30 Diseño sismorresistente y se pueden apreciar en la Figura 1.

**Cuadro 2: Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales**

TIPO	ZONA SÍSMICA 2 Y 3		ZONA SÍSMICA 1
	Muro portante en edificios de 4 pisos a más	Muro portante en edificios de 1 a 3 pisos	Muro portante en todo edificio
Sólido Artesanal	NO	Sí, hasta dos pisos	Sí
Sólido Industrial	SI	Sí	Sí
Alveolar	Sí Celdas totalmente rellenas con grout	Sí Celdas parcialmente rellenas con grout	Sí Celdas parcialmente rellenas con grout
Hueca	No	No	Sí
Tubular	No	No	Sí, hasta 2 pisos

FUENTE: NTP E0.70 Albañilería





**Figura 1: Zonas Sísmicas del Territorio Nacional (NTE E0.30)**

*FUENTE: Tomado de NTP E0.30 Diseño Sismo Resistente (2016)*

#### **2.3.4. LADRILLOS DE ARCILLA**

Es la unidad de albañilería fabricada de arcilla moldeada, extruida o prensada en forma de prisma rectangular y quemada o cocida en un horno (NTP 331.017, 2003).

La clasificación de acuerdo a su resistencia y área de orificios es la misma que la del título 2.3.1 y 2.3.2.

##### **a. Requisitos**

- Variación de dimensiones, alabeo, resistencia a la compresión y densidad: El ladrillo ensayado mediante los procedimientos descritos en la NTP 331.018, deberá cumplir con las especificaciones indicadas en el Cuadro 3.

**Cuadro 3: Requisitos para los ladrillos de arcilla**

CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN (Máxima en porcentaje)			ALABE O (Máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN $f'_b$ mínimo en MPa (kg/cm <sup>2</sup> ) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
<b>Ladrillo I</b>	± 8	± 6	± 4	10	4,9 (50)
<b>Ladrillo II</b>	± 7	± 6	± 4	8	6,9 (70)
<b>Ladrillo III</b>	± 5	± 4	± 3	6	9,3 (95)
<b>Ladrillo IV</b>	± 4	± 3	± 2	4	12,7 (130)
<b>Ladrillo V</b>	± 3	± 2	± 1	2	17,6 (180)
<b>Bloque P</b>	± 4	± 3	± 2	4	4,9 (50)
<b>Bloque NP</b>	± 7	± 6	± 4	8	2,0 (20)

FUENTE: NTP E0.70 Albañilería

- Absorción: Los ladrillos deberán cumplir con los requisitos del Cuadro 4.

**Cuadro 4: Requisitos de absorción para los ladrillos de arcilla**

Tipo	ABSORCIÓN (Máxima en %)
I	Sin Límite
II	Sin Límite
III	25
IV	22
V	22

FUENTE: NTP 331.017

### 2.3.5. LADRILLOS DE CONCRETO

Según la NTP 399.601 el ladrillo de concreto se fabrica básicamente con cemento Portland, agregados y agua; además, las dimensiones máximas de los ladrillos de concreto son 290 mm de largo, 190 mm de ancho y 190 mm de alto.

#### a. Clasificación

Los ladrillos de concreto además de poseer la clasificación general por orificios y por fines estructurales en los Títulos 3.3.1 y 3.3.2, también posee una clasificación específica

por su resistencia a la compresión según la NTP 399.601, 2006. Donde se clasifican en cuatro con un número distinto cada uno, el que es equivalente a su resistencia a la compresión en Megapascales (MPa),

- 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 y resistencia a la penetración de la humedad y a la acción severa del frío.
- Tipo 17: Para su 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 su uso general donde se requiere moderada resistencia a la compresión.
- Tipo 10: Para su uso general donde se requiere moderada resistencia a la compresión.

**b. Requisitos**

- Resistencia a la compresión y absorción: en el Cuadro 5 se muestran los requisitos para cada tipo de ladrillo.

**Cuadro 5: Requisitos de resistencia y absorción de los ladrillos de concreto**

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN fb mínimo en MPa sobre área bruta			ABSORCIÓN Máximo en % (Promedio de 3 unidades)
Tipo	Promedio de 3 unidades	Unidad individual	
24	24	21	8
17	17	14	10
14	14	10	12
10	10	8	12

*FUENTE: NTP 399.601*

- Variación de dimensiones: Las dimensiones de ancho, alto y largo no deben diferir por más de  $\pm 3,2$  mm de las dimensiones estándar especificadas por el fabricante. A menos que sea especificado de otro modo, el ladrillo debe ser macizo o hueco. Ninguna parte de algún agujero debe estar a menos de 19.1 mm de algún borde del ladrillo.

## **2.4. CEMENTO**

Es un aglomerante formado a base de caliza y arcilla calcinadas que posteriormente pasan a ser molidas para dar origen al Clinker, el cual se convierte en cemento al agregarle yeso y tiene la propiedad de fraguar y endurecerse en contacto con el agua.

### **2.4.1. CEMENTO PORTLAND**

Cemento hidráulico producido mediante la pulverización del Clinker, compuesto generalmente de silicatos de calcio hidráulico y contienen generalmente una o más de las formas de sulfato de calcio como una adicción durante la molienda.

El Cemento portland tipo I es de uso general que no requiera propiedades especiales especificadas para cualquier otro tipo.

## **2.5. LOS AGREGADOS COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN**

Se denomina agregado al conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratados o elaborados, y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por la NTP. Se les llama también áridos (NTP 400.011, 2008).

### **2.5.1. AGREGADO RECICLADO**

Agregado procedente de tratamiento de materiales inorgánicos usados en construcción (NTP 400.011, 2008).

La composición del agregado reciclado puede variar según el origen o clasificación del residuo de construcción que se describe en el Título 3.2.3.

### **2.5.2. CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS SEGÚN SU COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA**

El agregado se puede clasificar en grueso o fino según su tamaño. En el Cuadro 6 se muestran los tamices para realizar el análisis granulométrico.

**Cuadro 6: Tamices a utilizar para realizar el análisis granulométrico**

<b>Agregado</b>	<b>Tamices normalizados</b>
<b>FINO</b>	150 $\mu\text{m}$ (N° 100)
	300 $\mu\text{m}$ (N° 50)
	600 $\mu\text{m}$ (N° 30)
	1,18 mm (N° 16)
	2,36 mm (N° 8)
	4,75 mm (N° 4)
<b>GRUESO</b>	9,50 mm ( 3/8 )
	12,5 mm ( 1/2 )
	19,0 mm ( 3/4 )
	25,0 mm ( 1 )
	37,5 mm ( 1 1/2 )
	50,0 mm ( 2 )
	63,0 mm ( 2 1/2 )
	75,0 mm ( 3 )
	90,0 mm ( 3 1/2 )
	100,0 mm ( 4 )

*FUENTE: NTP 400.011*

### **2.5.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS**

Para la realización de la caracterización de los agregados existen diversos tipos de ensayos. Entre los principales ensayos tenemos:

- **Análisis granulométrico**

Este ensayo nos permite identificar el patrón de tamaños de partículas del agregado fino o grueso. Una muestra de agregado seco, de masa conocida, es separada a través de una serie de tamices que van progresivamente de una abertura mayor a una menor, para determinar la distribución del tamaño de las partículas (NTP 400.012, 2013).

Las principales características que también se pueden obtener del ensayo son el Módulo de fineza, Tamaño máximo y Tamaño máximo nominal.

El método de ensayo se realiza según la norma técnica NTP 400.012.

- **Peso específico**

El peso específico o gravedad específica es la razón entre el peso unitario del agregado y el peso unitario del agua. Para este ensayo no se toma en cuenta los vacíos que pueda presentar el material o agregado, donde el peso unitario sería el peso del

material entre el volumen de los granos (Propiedades geofísicas de los suelos, Joseph E. Bowles, 1982).

El método de ensayo se realiza según la norma técnica NTP 400.022.

- **Peso unitario o volumétrico**

Es la relación entre el peso de agregado y el volumen que ocupa, el cual considera los vacíos. Se puede definir dos tipos de pesos volumétricos, los cuales son: el peso volumétrico suelto y el peso volumétrico compactado. Los dos tipos de pesos volumétricos se usan frecuentemente en el movimiento de tierras.

- **Absorción**

Es la capacidad que tiene un agregado para absorber el agua en sus poros. El conocimiento de esta propiedad es importante especialmente en zonas donde se presentan heladas, porque al congelarse el agua absorbida por los poros, daña el material fabricado con dicho agregado.

El método de ensayo se realiza según la norma técnica NTP 400.022.

- **Contenido de humedad**

Es la cantidad de agua retenida por las partículas del agregado, la cual varía con el tiempo y las condiciones ambientales.

El método de ensayo se realiza según la norma técnica NTP 339.185.

## **2.6. EXPERIENCIAS SIMILARES A LOS LADRILLOS FABRICADOS CON AGREGADOS RECICLADOS**

### **2.6.1. CONCRETO RECICLADO**

Existen diversos estudios acerca del concreto con agregados reciclados. Según el estudio “Recomendaciones para la Utilización de Árido Reciclado en Hormigón Estructural” de la Dra. Pilar Alaejos Gutiérrez del Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (CEDEX) de España, el árido reciclado afecta las propiedades mecánicas del concreto, como aquellas relacionadas con la deformación elástica (módulo de elasticidad) y diferida (retracción y fluencia). Dicho estudio se realizó utilizando diferentes porcentajes de árido reciclado (20, 50 y 100 por ciento) en la fabricación del concreto; donde se llegó a la conclusión que utilizando reducidos porcentajes de árido reciclado (20 a 30 por ciento), la mayor parte de las propiedades no se ve afectada, mientras que con porcentajes mayor se pueden producir importantes disminuciones en la calidad del concreto. Además, también se notó que el

tamaño máximo del agregado reciclado influye en la calidad del concreto, ya que las fracciones más finas son las que presentan peores propiedades.

Para obtener la misma resistencia que un concreto convencional es habitual tener que incorporar más cemento en la dosificación, de forma creciente con el porcentaje de árido sustituido. Este incremento puede variar entre un 5 por ciento para una sustitución de 20 por ciento en concretos de  $25 \text{ N/mm}^2$  ( $255 \text{ Kg/cm}^2$ ), a 18 por ciento para una sustitución del 100 por ciento en concretos de categoría resistente  $50 \text{ N/mm}^2$  ( $510 \text{ Kg/cm}^2$ ). Además, debido a la absorción que presenta el agregado reciclado, la demanda de agua es mayor.

### **2.6.2. LADRILLOS ECOLÓGICOS**

Se atribuye el nombre de ladrillo ecológico a aquel que se fabrica con materiales que no degradan al medio ambiente. Además, el proceso de fabricación de este debe generar un impacto mínimo; caso contrario a los ladrillos convencionales de arcilla, debido a la cocción que necesitan, generan grandes emisiones de  $\text{CO}_2$ . A continuación, se muestran algunos ejemplos:

- Ecoladrillo de María Cabo Laguna, 2011. Universidad Pública de Navarra  
Se emplea el suelo (Magra Gris) para la fabricación de ladrillos. Como aditivos comerciales se emplean el cemento y la cal hidráulica. Como aditivo resistente se utilizan las cenizas de cáscaras de arroz y como aditivo estructurante las cascarillas también de arroz. La adición de estos dos últimos aditivos residuales supone la reducción de un gran impacto medio ambiental ya que las cenizas procedentes de la biomasa generada por la combustión de los restos de la cosecha del arroz, permanecen por millones de toneladas en vertederos de todo el mundo.



**Figura 2: Ecoladrillo**

*FUENTE: Tomado de Cabo Laguna, M*

- Ladrillos Modulares ECO - PERÚ de Jesús Meza López, 2017. Universidad Nacional del Centro del Perú

Para la fabricación de este ladrillo se utiliza solamente tierra arcillosa y arenosa, cemento y agua. Posee propiedades termo acústicas y resistentes a la erosión.



**Figura 3: Ladrillos Modulares ECO - PERÚ**

*FUENTE: Tomado de Diario el Comercio (2017)*

- Bloques ecológicos de Armando de Jesús Aguilar Penagos, 2017. Universidad Nacional Autónoma de México

Este ladrillo utiliza como material aglomerante al suelo arcilloso proveniente de excavaciones, sus agregados de relleno provienen del reciclaje de los RCD (específicamente concreto de demolición y material de demolición no clasificado) y, además, se le incorpora residuos de tala o maderables los que le proporcionan la estabilización durante la solidificación de la mezcla debido a sus propiedades fibrosas.



**Figura 4: Bloques ecológicos**

*FUENTE: Tomado de Aguilar Penagos, A. (2017)*



Además de los ejemplos anteriormente mencionados existen otros tipos de productos donde usan los agregados de RCD como en adoquines, mobiliario urbano, ciclo vías y pistas, etc.

## **2.7. PRUEBAS O ENSAYOS EN LADRILLOS**

Las pruebas o ensayos que se realizan en los ladrillos son los exigidos por la norma E0.70 de albañilería. Todos los ensayos se realizan según las normas técnicas NTP 399.604 y NTP 399.613.

### **2.7.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

Esta prueba consiste en determinar cuanta carga puede soportar un ladrillo, es decir cuántos kilogramos por centímetro cuadrado es capaz de resistir a compresión axial sin que exista alguna falla en su estructura. La resistencia a la compresión es la propiedad mas importante de un ladrillo.

### **2.7.2. VARIACIÓN DIMENSIONAL**

Esta prueba consiste en obtener las dimensiones del ladrillo y compararlas con el total de muestras para ver el grado de variación de dimensiones existente en la fabricación.

### **2.7.3. PRUEBA DE ABSORCIÓN**

Esta prueba consiste en determinar el porcentaje de agua que es capaz de absorber un ladrillo. El conocimiento de esta propiedad es importante especialmente en zonas donde se presentan heladas, porque al congelarse el agua absorbida por los poros, daña el ladrillo fabricado con dicho agregado.

### **2.7.4. PORCENTAJE DE VACÍOS**

Este ensayo nos permite clasificar al ladrillo como macizo o hueco según la Norma Técnica E0.70, donde se establece que los ladrillos macizos son aquellos cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área igual o mayor que el 70% del área bruta en el mismo plano, caso contrario son huecos.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. GENERALIDADES**

Para la creación del ladrillo de 18 huecos tipo IV fabricado con residuos de demolición cemento y agua se utilizó la técnica ensayo y error en sus diferentes etapas por lo cual el proceso de fabricación fue netamente empírico. Posterior a la fabricación se siguió con los requerimientos establecidos en la norma E0.70 para la evaluación de las propiedades físicas mecánicas del ladrillo.

La metodología utilizada para la elaboración y evaluación de las propiedades físicas mecánicas del ladrillo de 18 huecos tipo IV fabricado con residuos de demolición cemento y agua se muestra a continuación.

#### **3.2. SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN**

La selección de los residuos de construcción y demolición fue de manera aleatoria. Se contrató a una persona que se encarga de trasportar escombros hacia los botaderos para que nos proporcione aproximadamente un metro cúbico del material sin preferencias específicas por algún residuo.

El escombros recepcionado fue sometido a la clasificación según la Norma Técnica Peruana (NTP 400.050), y el cual puede ser según su composición:

- Concreto de demolición.
- Mezcla asfáltica de demolición.
- Material no bituminoso de carreteras.
- Material de demolición no clasificado.



**Figura 5: Recepción del escombros**

### **3.3. PROCESAMIENTO DE LOS ESCOMBROS Y OBTENCIÓN DEL AGREGADO**

#### **3.3.1. PREPARACION DE LOS ESCOMBROS PARA LA TRITURACIÓN**

Como primer paso se realizó la segregación de materiales no deseados como fierro, madera, vidrio, plástico, etc.

Para que los escombros ingresen a la trituradora, se redujo el tamaño al máximo admisible. La reducción del tamaño de los escombros se realizó con una comba.

#### **3.3.2. TRITURACIÓN**

Para la efectuar la trituración se ajustó la máquina trituradora o chancadora de quijada que posee el Laboratorio de Prueba y Ensayo de Materiales de Construcción de la UNALM, con el objetivo de conseguir el mayor porcentaje de partículas útiles para la fabricación de los ladrillos.

Una vez triturado el RCD, la máquina nos arrojará un patrón de diferentes tamaños de partícula, el cual debemos tamizar para obtener nuestro agregado de RCD final.



**Figura 6: Ajuste de la máquina trituradora o chancadora de quijada**



**Figura 7: RCD triturado por la máquina**

### **3.3.3. TAMIZADO**

En dicho proceso, el rango del tamaño de partículas fue determinado por la cavidad más pequeña del molde de los ladrillos.

La cavidad mínima del molde es de 8 milímetros, por lo cual se determinó que el tamaño máximo del agregado debía ser de 2.67 milímetros, equivalente a un tercio de la cavidad mínima para evitar problemas de atascamiento en el molde. Adecuando dicho valor a la abertura menor próxima de los tamices que se posee en el Laboratorio de Prueba y Ensayos

de Materiales obtuvimos que el tamaño máximo de partícula es de 2.36 milímetros, equivalente al tamiz número 8 según la NTP 400.011.

Una vez separado los residuos que pasan el tamiz número 8, se procedió a obtener la curva granulométrica de los residuos procesados (Ver anexo 4).

Luego de analizar los resultados de la curva granulométrica del RCD Triturado y notar que existe una cantidad considerable de partículas que pasan el tamiz número 100 (17 por ciento aproximadamente), dicho agregado podría demandar una mayor cantidad de cemento para que el diseño alcance la resistencia mínima requerida de 130 kg/cm<sup>2</sup>. Por lo cual se decidió eliminar las partículas que pasen el tamiz número 100.

En resumen, el rango del tamaño de partículas de nuestro agregado final está compuesto por las que pasan el tamiz número 8 (2.36 mm) y quedan retenidas en el tamiz número 100 (0.15 mm).

### **3.4. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL AGREGADO RECICLADO DE RCD**

En esta etapa se realizó la caracterización del agregado final de RCD en el Laboratorio de Prueba y Ensayo de Materiales de Construcción de la UNALM.

- Ensayo de Granulometría.
- Ensayo de Gravedad Específica.
- Peso unitario o volumétrico
- Ensayo de Absorción.

Los resultados se muestran en el Cuadro 8 del capítulo resultados.

### **3.5. DISEÑO DE MEZCLA PARA LA ELABORACIÓN DE LOS LADRILLOS**

La mezcla está constituida por agregado reciclado de RCD, cemento y agua.

El diseño de mezcla fue netamente empírico.

Los criterios para el diseño de mezcla fueron:

- Se mantuvo constante la dosificación de agregado reciclado.
- Sólo se realizó variaciones en la dosificación del cemento y agua.

- La cantidad de agua se agregó gradualmente en la mezcla hasta obtener la consistencia requerida.
- Intentar obtener la resistencia mínima requerida para el ladrillo tipo IV según la Norma Técnica Peruana E.070 de albañilería.
- Utilizar la menor cantidad posible de cemento.

### **3.5.1. CONSISTENCIA DE LA MEZCLA**

Para definir la consistencia de la mezcla se realizaron diversos ensayos iniciales. Además, tomando como referencia la consistencia de la mezcla de los ladrillos de concreto y bloques que ya existen en el mercado actual, se determinó que la mezcla debe de ser semi seca, aproximadamente la consistencia que se tiene cuando se arma un castillo de arena en la playa para poder extraer el ladrillo del molde fácilmente sin tener que esperar tanto tiempo a que la acción ligante del cemento surta efecto.

En la Figura 8 se aprecia la rotura y desmoronamiento de un ladrillo por falta de agua y compactación en la mezcla al ser extraído del molde de la máquina.



**Figura 8: Rotura y desmoronamiento por falta de agua en la mezcla**

### 3.5.2. DOSIFICACIONES FINALES

Las dosificaciones finales de cada mezcla para el ladrillo se muestran en el cuadro 7:

**Cuadro 7: Diseños de mezcla para el ladrillo de 18 huecos tipo IV**

	Agregado de RCD (Kg)	Cemento (Kg)	Agua (L)	R A/C	R AF/C
Diseño 1	2.8	0.930	0.790	0.85	3.01
Diseño 2	2.8	1.120	0.795	0.71	2.50
Diseño 3	2.8	1.200	0.750	0.63	2.33

El cálculo de la cantidad de agregado fino reciclado a utilizar en la mezcla de prueba para un ladrillo fue utilizando el valor de peso volumétrico compactado ( $1.49 \text{ g/cm}^3$ ). Como se tiene que el porcentaje de vacíos es de aproximadamente 30 por ciento. Además, el volumen bruto es de  $2632 \text{ cm}^3$ , por lo cual el volumen efectivo en un ladrillo es  $1843 \text{ cm}^3$  aproximadamente. En dicho volumen efectivo se necesita 2746 g de agregado fino reciclado, que finalmente se decidió redondear a 2.8 kg para cada mezcla de prueba. La relación de Agregado Fino – Cemento aumentó gradualmente en cada diseño con el fin de aumentar la resistencia. Por otra parte, la relación de Agua – Cemento disminuyó ligeramente entre cada diseño debido a que se observó que a menor cantidad de agua la extracción del ladrillo del molde era más rápida. En el Anexo 15 se puede observar el resumen.

### 3.6. PRUEBAS Y DISEÑO DEL MOLDE FINAL

En este punto se probó 2 tipos de molde de madera para el ladrillo de 18 huecos tipo IV, los cuales no sirvieron porque no se podía retirar el ladrillo debido a que la mezcla fue de una consistencia similar a la de un concreto simple y se esperó hasta el día siguiente. Las fotos se pueden ver en el Anexo 5.

El molde final para la elaboración de los ladrillos de 18 huecos tipo IV fue una máquina manual mandada a hacer por la empresa MP RECICLA S.A.C. Los detalles de la máquina se pueden ver en el Anexo 6.

### 3.7. PROCESO DE FABRICACIÓN DE LOS LADRILLOS

#### 3.7.1. ELABORACIÓN DE LA MEZCLA

Para realizar el proceso de mezclado se usó una máquina mezcladora de mortero que posee el laboratorio. Primero se realizó la mezcla en seco del agregado reciclado de RCD y el cemento. Una vez uniformizada la mezcla, se agregó gradualmente el agua.



**Figura 9: Mezclado de los materiales para fabricar el ladrillo**

### **3.7.2. COLOCACIÓN DE LA MEZCLA Y DESMOLDE**

Antes de realizar la colocación de la mezcla en el molde se necesita engrasarlo para poder retirar el ladrillo sin problemas. La colocación de la mezcla se realizó en 3 capas con una compactación cada una. La compactación se realizó con una placa metálica condicionada para que pase entre las cavidades pequeñas.

Una vez colocada toda la mezcla se dejó reposar entre 5 y 10 minutos para poder levantar el ladrillo del molde, luego se dejaba secar hasta el día siguiente para poder retirarlo de la máquina y llevarlo a la posa de curado.



**Figura 10: Ladrillo recién levantado del molde**



### **3.7.3. CURADO DE LOS LADRILLOS**

El curado de los ladrillos se llevó a cabo en la poza del Laboratorio de Prueba y Ensayos de Materiales de Construcción de la UNALM durante 28 días para posteriormente realizar los ensayos de compresión.

### **3.8. ENSAYOS**

Los ensayos requeridos por la Norma Técnica Peruana E.070 de albañilería se realizaron de acuerdo a lo indicado en las Normas Técnicas Peruanas 399.613 y 399.604.

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Prueba y Ensayo de Materiales de Construcción de la UNALM y se muestran a continuación:

- Variación de dimensiones: Este ensayo se realizó para evaluar la variación de dimensiones del ladrillo provocado por el fraguado. El procedimiento se encuentra detallado en el Anexo 7 y los resultados en el cuadro 9 del Capítulo RESULTADOS.
- Resistencia a la compresión: Este ensayo nos permitió evaluar la resistencia del ladrillo sometido a cargas de compresión. El procedimiento se encuentra detallado en el Anexo 8 y los resultados en el Cuadro 10 del Capítulo RESULTADOS.
- Absorción: Con dicho ensayo obtuvo la capacidad o potencial de absorción de agua que poseen los ladrillos. El procedimiento se encuentra detallado en el Anexo 9 y los resultados en el Cuadro 11 del Capítulo RESULTADOS.
- Porcentaje de vacíos: Con dicho ensayo se determinó si el ladrillo era considerado hueco o macizo. El procedimiento se encuentra detallado en el Anexo 10 y los resultados en el Cuadro 12 del Capítulo RESULTADOS.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. CLASIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

Los RCD utilizados para la fabricación del agregado reciclado pertenecen a la clase escombros, específicamente material de demolición no clasificado según la NTP 400.050 MANEJO DE LOS RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN.

Se observó claramente que los residuos procedían de la demolición de un muro portante de ladrillos; por lo cual, los materiales encontrados fueron mortero de cemento y ladrillos de arcilla. Este último en mayor porcentaje a simple vista.

En el Anexo 11 se puede observar imágenes del residuo utilizado.

### 4.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL AGREGADO RECICLADO DE RCD

En el Cuadro 8 se muestran los resultados de las pruebas realizadas al agregado reciclado de RCD. Si se compara con los estándares del agregado fino para el concreto, observamos que el valor del módulo de finura se encuentra en el rango de la norma NTP 400.037, la cual sugiere un módulo de finura no menor de 2.3 ni mayor de 3.1.

Además, en la figura 11 se puede ver la curva granulométrica, la cual cumple los estándares del porcentaje que pasa en cada tamiz según la norma anteriormente mencionada.

En el caso del peso específico y volumétrico se observa que se encuentran por debajo del promedio común, lo cual confirma que corresponden a agregados absorbentes y débiles.

**Cuadro 8: Resumen de las características del agregado reciclado de RCD**

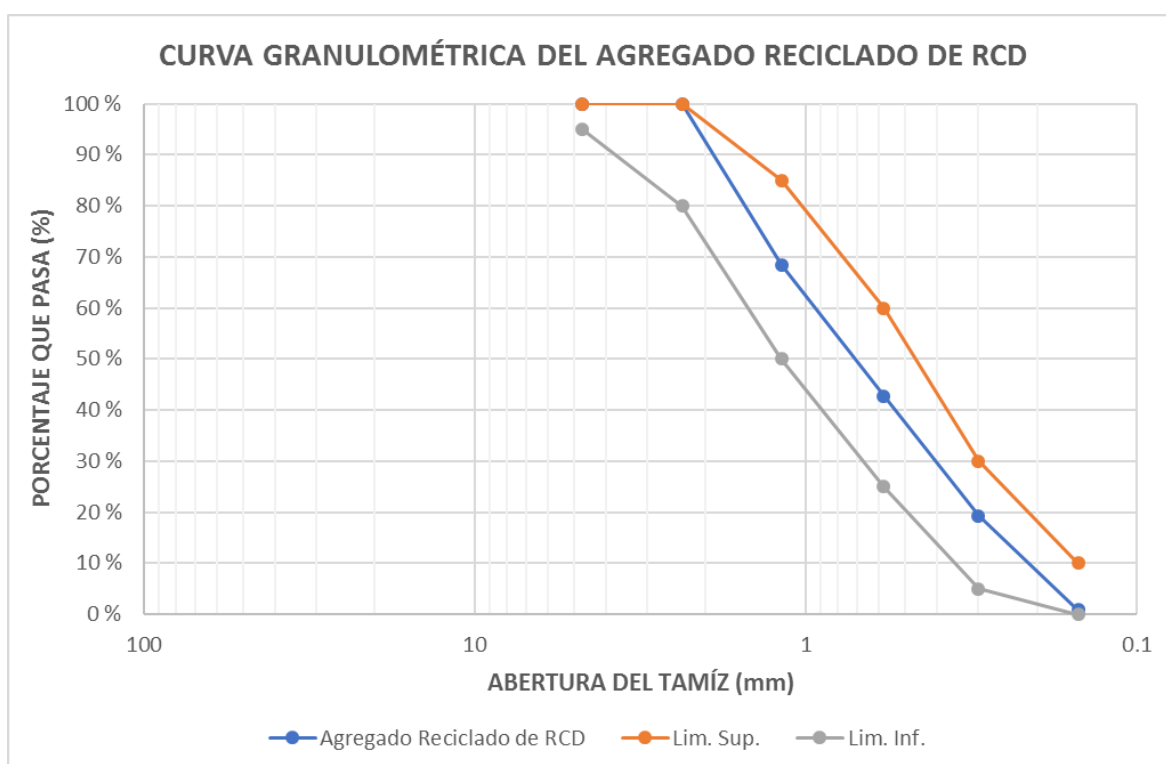
	<b>Agregado reciclado de RCD</b>
Peso Volumétrico Suelto ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	1.35
Peso Volumétrico Compactado ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	1.49
Peso específico ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	2.29
Porcentaje de absorción (%)	4.28
Módulo de finura	2.69

Pero debido a que el peso volumétrico suelto del agregado no es menor o igual a  $1120 \text{ kg/m}^3$  ( $1.112 \text{ gr/cm}^3$ ), no se considera como agregado ligero según la NTP 400.011.

Al realizar la eliminación de las partículas que pasan el tamiz N°100 en el procesamiento del agregado, se consiguió una mejor distribución de los tamaños que pasan en cada tamiz cumpliendo las especificaciones normalizadas de la NTP 400.037.

Los detalles del ensayo de granulometría se pueden ver en el Anexo 12.

Los detalles y procedimiento para el cálculo de los pesos volumétricos, peso específico y porcentaje de absorción se encuentran en los Anexos 13 y 14.



**Figura 11: Curva granulométrica del agregado reciclado de RCD con los límites permisibles según la NTP 400.037**

#### 4.3. ENSAYO DE VARIACIÓN DE DIMENSIONES

En el Cuadro 9 se muestran los valores promedio de las dimensiones para los nueve ladrillos del Diseño 3, donde existe variaciones considerables en la altura, la cual se encuentra ligeramente por encima del límite máximo permisible según la norma de albañilería E 0.70. La variación en porcentaje de la altura, ancho y largo para los ladrillos es de 4.41, 0.32 y 0.20 por ciento respectivamente.

**Cuadro 9: Cuadro resumen del porcentaje de variación  
de las dimensiones del ladrillo**

	<b>Largo (cm)</b>	<b>Ancho (cm)</b>	<b>Altura (cm)</b>
M1	22.48	12.98	8.40
M2	22.45	12.98	8.98
M3	22.45	12.95	8.75
M4	22.48	12.98	8.50
M5	22.45	12.95	8.48
M6	22.45	12.95	8.43
M7	22.45	12.93	8.98
M8	22.45	12.95	8.50
M9	22.45	12.98	8.43
<b>PROMEDIO</b>	22.46	12.96	8.60
<b>VARIACIÓN (%)</b>	0.20	0.32	4.41
<b>C.V (%)</b>	0.05	0.13	2.57

Las variaciones en la altura se debieron a problemas que posee la máquina. Se realizó 2 ajustes que son visibles en la muestra 2 y 7. En cada fabricación de ladrillo se fue perdiendo altura.

Los detalles del ensayo se encuentran en el Anexo 7.

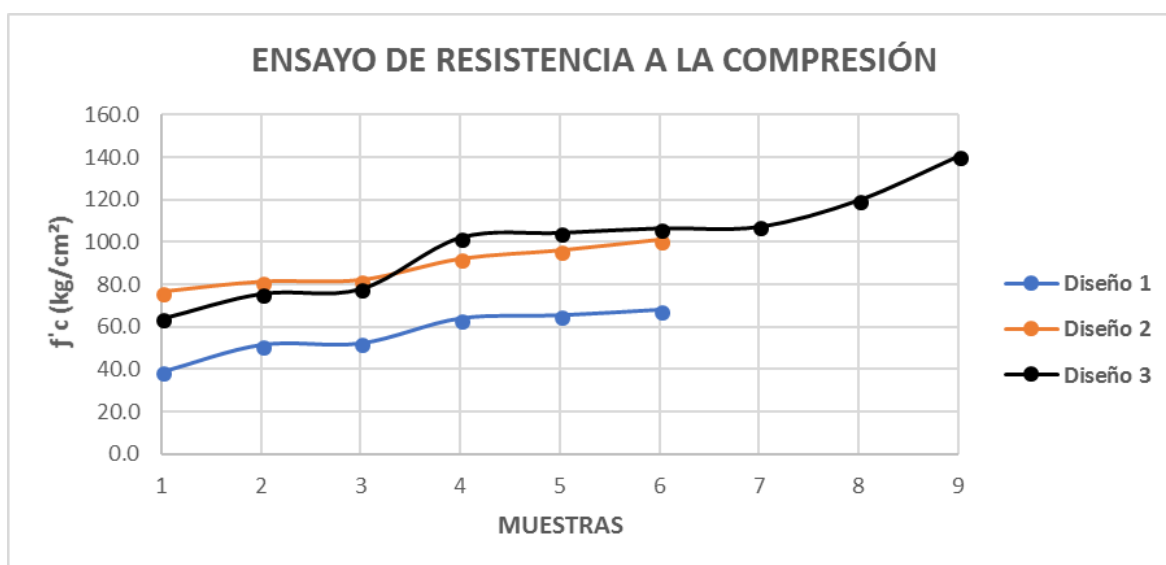
#### **4.4. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

En el Cuadro 10 se muestra los valores de la resistencia a la compresión de cada diseño, además de su promedio, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación.

Los detalles del ensayo se pueden ver en el Anexo 8.

**Cuadro 10: Resumen de la resistencia a la compresión de cada diseño**

	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3
<b><i>f' c</i> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	38.9	76.6	64.0
	51.5	81.3	75.7
	52.2	82.1	78.0
	63.8	92.0	102.2
	65.2	96.0	104.5
	67.8	101.0	106.6
	-	-	107.3
	-	-	119.8
	-	-	140.5
<b>PROMEDIO</b>	56.6	88.1	99.8
<b>VAR</b>	101.2	76.6	502.2
<b>DS</b>	10.1	8.8	22.4
<b>C.V</b>	17.8%	9.9%	22.4%



**Figura 12: Comparación de la resistencia a la compresión de cada diseño**

En la figura 12 se observa una relación de incremento entre cada diseño. A pesar que en el diseño 3 algunas muestras se encuentran muy por debajo del promedio, una muestra alcanzó una resistencia a la compresión de 140.5 kg/cm<sup>2</sup>, cumpliendo así la resistencia mínima requerida para un ladrillo tipo IV según la norma de albañilería E 0.70.

La notoria variabilidad en el diseño 3 se debe a que el proceso de extracción del ladrillo no es uniforme porque la fuerza de torque ejercida en la máquina no siempre es la misma por ser realizada de manera manual, por lo que muchas veces el ladrillo se atascaba. Dichos factores podrían haber afectado el ladrillo internamente en algunas ocasiones.

Si bien la resistencia promedio no alcanzo los requisitos mínimos de resistencia para el ladrillo tipo IV (130 kg/cm<sup>2</sup>), cumple sin ningún problema los del tipo III (95 kg/cm<sup>2</sup>).

#### 4.5. ENSAYO DE ABSORCIÓN

En el Cuadro 11 se muestra los valores de los resultados de absorción para el diseño 3.

**Cuadro 11: Porcentaje de absorción de los ladrillos**

	<b>DISEÑO 3</b>
<b>ABSORCIÓN</b> (%)	12.77
	12.81
	12.78
<b>PROMEDIO</b>	12.79

Los ladrillos poseen una absorción relativamente baja a comparación de los ladrillos convencionales de arcilla que fluctúan entre 17 y 20 por ciento. Cumple con los requisitos de absorción para ladrillos de arcilla tipo IV (22 por ciento), pero ligeramente sobrepasa los requisitos de absorción de los ladrillos de concreto tipo 14 (12 por ciento). Esto se debe a que la composición del agregado reciclado tiene alto porcentaje de arcilla en las partículas ya que provienen de la demolición de un muro.

En el Anexo 9 se pueden ver los detalles del ensayo.

#### 4.6. PORCENTAJE DE VACÍOS

En el cuadro 12 se muestra los valores de los resultados del ensayo de porcentaje de vacíos.

**Cuadro 12: Porcentaje de vacíos del ladrillo**

	<b>Diseño 3</b>
<b>% Vacíos</b>	29.18
	29.18
	29.16
<b>PROMEDIO</b>	29.17

El porcentaje de vacíos promedio del ladrillo es de 29.17, por lo cual la sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento es de 70.83 por ciento del área bruta, lo que lo cataloga como ladrillo macizo. El porcentaje de vacíos se encuentra prácticamente al límite entre la denominación de macizo o hueco.

Al ser denominado ladrillo macizo, se puede utilizar en muros portantes según la NTP E.070, cumpliendo los requisitos respectivos de la misma norma.

En el Anexo 10 se pueden ver los detalles del ensayo.

## V. CONCLUSIONES

1. El tipo de residuo utilizado (Material de demolición no clasificado) proveniente de la demolición de un muro de ladrillos y mortero no fue el más adecuado, probablemente debido a la fragilidad de sus partículas.
2. La resistencia promedio del diseño 3 no alcanza el límite mínimo requerido por la Norma E 0.70, aunque con la resistencia máxima obtenida del diseño 3 (140.5 kg/cm<sup>2</sup>) se podría concluir que la fabricación de los ladrillos de 18 huecos tipo IV es viable técnicamente sólo si se logra mejorar y uniformizar el proceso de fabricación, principalmente agregando una mejor compactación, vibración y extracción de la máquina.
3. Entre cada diseño se observa que la resistencia incrementa a medida que se agrega más cemento, por lo que con un nuevo diseño aumentando la cantidad de cemento sería técnicamente viable sin considerar el aspecto económico.
4. Los problemas de variabilidad en la altura de los ladrillos debido a los imperfectos de la máquina (4.41 %), podrían haber afectado en la notoria variabilidad de datos de resistencia a la compresión de cada unidad.
5. La absorción máxima promedio de los ladrillos de RCD (12.8 %) se encuentra ligeramente por encima de la de los ladrillos de concreto (12 %), pero por debajo de los ladrillos de arcilla (22 %) debido a que la composición de los agregados es una mezcla de residuos de mortero y ladrillos.
6. Para aumentar la resistencia sin modificar el diseño se puede reducir la cavidad de los huecos, es decir reducir el volumen de vacíos.
7. Otra manera de aumentar la resistencia puede ser utilizando solo residuos de concreto de demolición, debido a que ahí se puede encontrar gravas a comparación de la arcilla de los ladrillos.



8. La consistencia de la mezcla probablemente funcione mejor con mayor cantidad de agua. El problema es que el fraguado es muy lento (Unas 24 horas aproximadamente) para poder extraerlo de la máquina sin que se desmorone, provocando que el sistema de producción sea ineficiente en caso que se lleve a nivel industrial.
  
9. Finalmente se concluye que los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión de los ladrillos de 18 huecos fabricados con residuos de demolición no clasificados no alcanzaron los valores de resistencia mínima establecida por la Norma E.070 de albañilería. Por lo que se es necesario incrementar la dosificación de cemento para el tipo de residuo anteriormente mencionado.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Realizar un nuevo estudio de las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo de RCD variando el tipo de residuo de construcción, como por ejemplo concreto de demolición.
2. Trabajar con agregados saturados para el diseño de mezcla, de esta manera se evita los problemas de mayor o menor absorción de los agregados debido a su composición heterogénea.
3. Conseguir una máquina de preferencia de producción a nivel industrial con el proceso de fabricación totalmente uniforme para evitar la gran variabilidad de datos de resistencia a la compresión y dimensiones.
4. Se recomienda realizar pruebas de pilas, muretes y de erosión para extender el estudio.
5. Realizar nuevos estudios con la implementación de algún aditivo en la mezcla, ya sea para aumentar la resistencia a la compresión, resistencia a los sulfatos, etc.
6. Investigar e innovar en tecnologías para crear nuevos materiales sostenibles para la construcción.
7. Realizar un estudio económico y compatibilizarlo con el aspecto técnico para crear una industria sostenible y dar nuevas opciones al mercado de la construcción. El objetivo es que no quede solo en una investigación.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar Penagos, AJ. 2017. Fabricación de bloques ecológicos a base de material producto de la construcción. Tesis Maestro en Ingeniería. Ciudad de México, México, Universidad Nacional Autónoma de México. Capítulo 4, p 55 – 62.
- Alejos Gutiérrez, P. Recomendaciones para la utilización de árido reciclado en hormigón estructural (En línea). Madrid, España, Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (CEDEX). P. 5 - 12. Consultado 15 Mar. 2018. Disponible en <http://www1.caminos.upm.es/estructuras/files/estructuras/articulo%20hormigon%20reciclado.pdf>.
- Cabo Laguna, M. 2011. Ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción. Tesis Ing. Técnico Agrícola en explotaciones agropecuarias. Navarra, España, Universidad Pública de Navarra. Capítulo 4, p. 20 - 30.
- INDECOPI (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y la Protección de la Propiedad Intelectual). 2013. NTP 334.009: Cementos, cementos portland. Requisitos. 5a Edición. Lima, Perú. p. 1-5.
- INDECOPI (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y la Protección de la Propiedad Intelectual). 2013. NTP 339.185: Agregados. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. 2a Edición. Lima, Perú. p. 2-8.
- INDECOPI (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y la Protección de la Propiedad Intelectual). 2015. NTP 399.601: Unidades de albañilería. Ladrillos de concreto. Requisitos. 2a Edición. Lima, Perú. p. 1-9.
- INDECOPI (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y la Protección de la Propiedad Intelectual). 2002. NTP 399.604: Unidades de albañilería. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto. 1a Edición. Lima, Perú. p. 1-16.
- INDECOPI (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y la Protección de la Propiedad Intelectual). 2005. NTP 399.613: Unidades de albañilería. Métodos de

- muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería. 1a Edición. Lima, Perú. p. 1-3.
- INDECOPI (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y la Protección de la Propiedad Intelectual). 2008. NTP 400.011: Agregados. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones. 2a Edición. Lima, Perú. p. 2-7.
  - INDECOPI (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y la Protección de la Propiedad Intelectual). 2013. NTP 400.012: Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. 3a Edición. Lima, Perú. p. 3-15.
  - INDECOPI (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y la Protección de la Propiedad Intelectual). 1999. NTP 400.017: Agregados. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado. 2a Edición. Lima, Perú. p. 1-10.
  - INDECOPI (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y la Protección de la Propiedad Intelectual). 2002. NTP 400.022: Agregados. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino. 2a Edición. Lima, Perú. p. 1-5.
  - INDECOPI (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y la Protección de la Propiedad Intelectual). 2014. NTP 400.037: Agregados. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto. 3a Edición. Lima, Perú. p. 6-8.
  - INDECOPI (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y la Protección de la Propiedad Intelectual). 1999. NTP 400.050: Manejo de residuos de la actividad de la construcción. Generalidades. 1a Edición. Lima, Perú. p. 1-14.
  - ITINTEC (Instituto de investigación tecnológica industrial y de normas técnicas, PE). 1978. ITINTEC 331.017: Elementos de arcilla cocida. Ladrillos de arcilla usados en albañilería. Requisitos.
  - ITINTEC (Instituto de investigación tecnológica industrial y de normas técnicas, PE). 1978. ITINTEC 331.018: Elementos de arcilla cocida. Ladrillos de arcilla usados en albañilería. Métodos de ensayo.
  - Kiwitt - Lopez, U. 2009. Caracterización y categorización de los botaderos en Lima. p. 4-7.
  - Meza López, J. 2017. Ladrillos ecológicos “Eco Perú” (En línea). Noticias de la Universidad del Centro del Perú. Consultado 20 Mar. 2018. Disponible en <http://www.uncp.edu.pe/?q=noticia/ladrillos-ecologicos-obtuvo-el-primer-puesto-en-i-concurso-macroregional-startup-uncp-2017>.

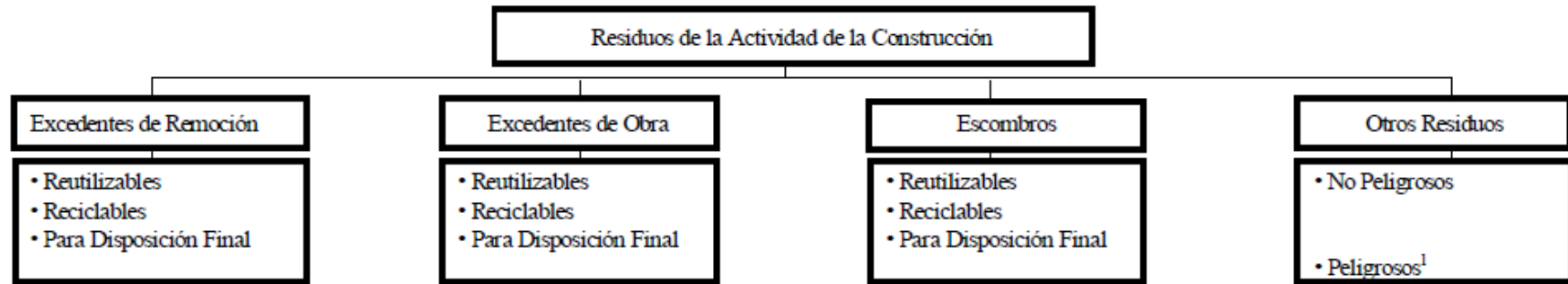
- Morales Galoc, MA. 2012. Ladrillos: El ladrillo según la norma técnica peruana (En línea). Chiclayo, Perú. Consultado 20 feb. 2015. Disponible en [http://es.slideshare.net/Lonely\\_xp/ladrillos-en-la-construccin](http://es.slideshare.net/Lonely_xp/ladrillos-en-la-construccin)
- MVCS (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento). 2006. Reglamento nacional de edificaciones: Norma E.070. Albañilería (En línea). Lima, Perú. El peruano. Consultado 10 feb. 2015. Disponible en [http://www.construccion.org.pe/normas/rne2012/rne2006/rne2006\\_titulo3.htm](http://www.construccion.org.pe/normas/rne2012/rne2006/rne2006_titulo3.htm).
- MVCS (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento). 2013. Reglamento para la gestión de residuos sólidos de la construcción y demolición (En línea). Lima, Perú. Consultado 12 feb. 2015. Disponible en [http://www.vivienda.gob.pe/direcciones/normatividad/construccion/proyecto\\_dnc.pdf](http://www.vivienda.gob.pe/direcciones/normatividad/construccion/proyecto_dnc.pdf). p. 17-20.
- Romero Macías, E. 2006. Residuos de construcción y demolición (En línea). Universidad de Huelva, España. Consultado 11 feb. 2015. Disponible en <http://www.uhu.es/emilio.romero/docencia/Residuos%20Construccion.pdf>.

## **VIII. ANEXOS**

**ANEXO 1: BOTADEROS REGISTRADOS EN EL 2009 EN LIMA METROPOLITANA  
(KIWITT – LÓPEZ, U.2009)**

Denominación del botadero	Tipo de botadero			Activo/ Inactivo (A/IA)	Distrito (código postal que se encuentra en el mapa al lado derecho)	Cantidad de botaderos según Cono
	res. sól.	Botadero con presencia de chan- cherías	escom- bros			
La Pampa			X	A	Ancón (2)	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;"> <span style="color: red;">■</span> Cono Norte 12 botaderos         </div> </div>
Carapongo	X	X		A	Carabaylo (6)	
San Pedro de Carabaylo II	X	X		A		
Huacoy	X	X		A		
Chaperito			X	A	Comas (10)	
Tambo Río			X	A		
Gallinazo			X	IA		
La Vizcacha	X			IA	Puente Piedra (25)	
El Anden <sup>5</sup>	X			IA		
Laderas de Chillón	X			IA		
Chuquitanta	X	X		A	San Martín de Porres (35)	
Cerro Candela <sup>7</sup>	X	X		A		
Santa Clara			X	A		
San Benito "C" (Quebradilla)			X	A	Ate (3)	
Loma La Cantera <sup>8</sup>						
Tolentino <sup>9</sup>						
Botadero Penal Castro Castro			X	IA	Cieneguilla (9)	
Las Violetas			X	IA		
Cultural Lima			X	A		
Quebrada Caracoles	X			A	San Juan de Lurigancho (32)	
Cruz de Hueso	X		X	IA		
Lomo de Corvina <sup>10</sup>			X	A		
<b>Total</b>						<b>22</b>

**ANEXO 2: CLASIFICACIÓN Y OPCIONES DE MANEJO  
DE LOS RESIDUOS DE LA ACTIVIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN  
(NTP 400.050)**



Excedentes de Remoción	Excedentes de Obra	Escombros
Reutilizables		
Entre otros: Agregados, piedras Tierras con contenido orgánico	Entre otros: Cementos y aglomerantes, retazos de fierro, Alambres, piedras, productos cerámicos.	Entre otros: Productos cerámicos, piedras
Reciclables		
Entre otros: Bolonería	Entre otros: Concreto sobrante Casquete de ladrillo	Entre otros: Mezcla asfáltica de demolición Concreto de demolición Material no bituminoso de demolición de carreteras Material de demolición no clasificado Mezcla de ladrillo con mortero
Para Disposición Final		
Materiales Contaminados, otros	Materiales Contaminados, otros	Escombros Contaminados



**ANEXO 3: OPCIONES DE APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS  
DE LA ACTIVIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN  
(NTP 400.050)**

Fracciones de Residuos Información Relevante	Mezcla Asfáltica de Demolición PNT 400.051		Material no Bituminoso de Demolición de Carreteras PNT 400.052	Concreto de Demolición PNT 400.053		Materiales de Demolición no Clasificados PNT 400.054	Excedentes de Remoción PNT 400.055
	Procedencia	Tratamiento asfáltico superficial	Bases y subbases granuladas no tratadas de pavimentos	Losas de Concreto	Edificaciones, carreteras, canales		Suelos a remover
Procesos de Obtención de Fracciones de los Residuos	Fresado	Levantamiento / fresado	Remoción / fresado	Levantamiento / fresado	Demolición selectiva	Demolición	Levantamiento
Proceso de Obtención de Materiales Secundarios	-	Chancado	Chancado	Chancado / selección	Chancado / selección	Chancado / selección	-
Material Secundario Obtenido	Granulado de Asfalto		Granulado no Bituminoso de Carreteras	Granulado de Concreto		Granulado no clasificado	-
Usos	Nivel de Recomendación						
Tipo I	Carpeta Asfáltica	1					
	Losas de Concreto			1			
	Morteros		2				
	Concreto		2	1		1	
	Ladrillos		1	1		1	
Tipo II	Bases sin Aglomerante	2	1	2		2	
	Sub-base	2	1	2			
	Capa Sub-rasante *	2	1	2		2	
Tipo III	Rellenos no portantes	3	3	3		3	1
	Taludes contra ruido	3	3	3		3	1
	Rellenos Sanitarios		3	3		3	1

Legenda:

- Usos: Tipo I: Opciones con uso de aglomerantes (cemento y asfalto).  
Tipo II: Opciones sin necesidad de aglomerantes con mayor exigencia técnica.  
Tipo III: Opciones sin necesidad de aglomerantes con mínima exigencia técnica.

- Niveles de Recomendación: 1: Uso óptimo bajo el criterio de uso de materiales con la opción de mayor exigencia técnica posible.  
2: Uso posible asumiendo pérdida en el potencial de reciclaje de la obra realizada con este material secundario.  
3: Opción menos recomendable.  
■ No recomendable

\* capa de espesor h ubicada debajo del nivel de sub-rasante

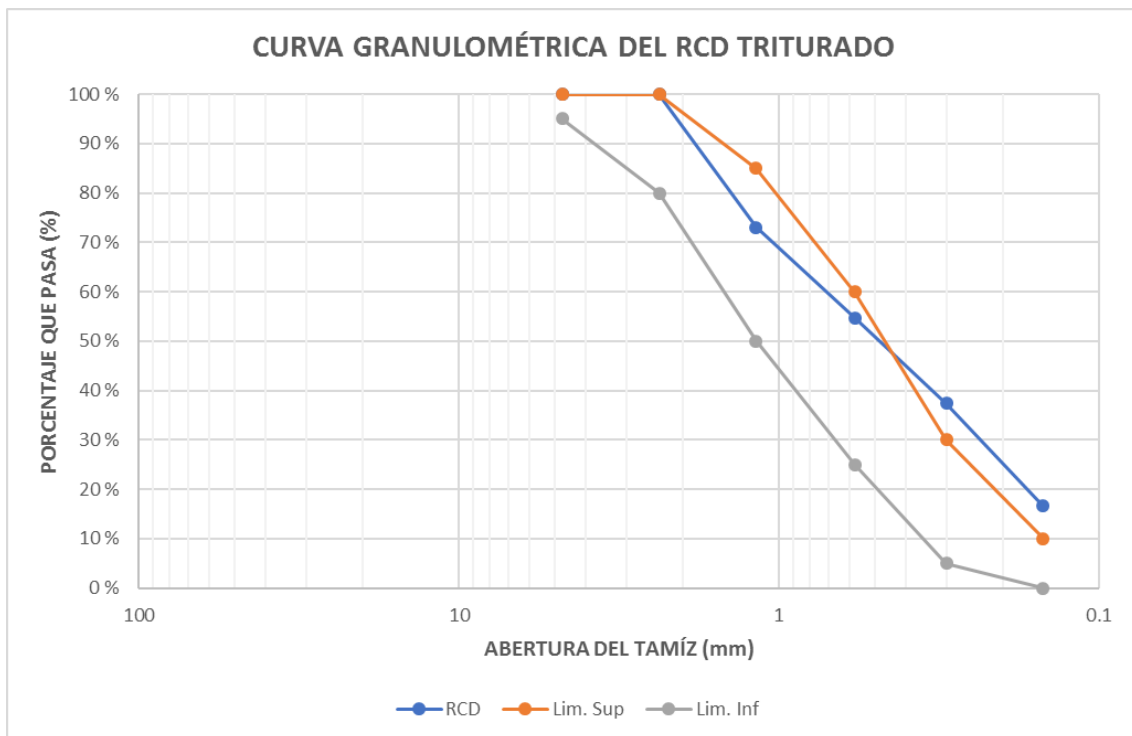
## ANEXO 4: CURVA GRANULOMÉTRICA DEL RCD TRITURADO QUE PASA LA MALLA NUMERO 8

Los límites superior e inferior son los establecidos para el agregado fino de concreto según la norma técnica NTP 400.037.

Se aprecia una excesiva cantidad de partículas finas. El módulo de finura es 2.18.

Peso de la muestra: 1448.7 g

Malla	Abertura en mm	Peso retenido (g)	% de peso retenido	% retenido acumulado	% que pasa
1/2"	15.5	0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.5	0	0.0	0.0	100.0
4	4.75	0	0.0	0.0	100.0
8	2.36	0	0.0	0.0	100.0
16	1.18	391.3	27.0	27.0	73.0
30	0.58	265.1	18.3	45.3	54.7
50	0.3	251.4	17.4	62.7	37.3
100	0.15	300.1	20.7	83.4	16.6
Fondo	0	237.8	16.4	99.8	0.2
		1445.7			



## **ANEXO 5: MOLDES DE MADERA UTILIZADOS EN LA ETAPA PRELIMINAR**

Al realizar la prueba de los moldes, no se logró extraer los ladrillos debido a que la mezcla fue de la consistencia de un concreto normal, por lo cual se esperó hasta el día siguiente sin poder realizar desmolde.



## ANEXO 6: DETALLES DE LA MÁQUINA MANUAL PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS DE 18 HUECOS



La máquina posee una palanca con la cual se ejerce una fuerza para levantar la base del molde, permitiendo de esta manera la extracción del ladrillo del molde.

Para realizar la extracción del ladrillo se necesitaba que una persona mas ejerza una fuerza hacia abajo en el extremo, por lo que es recomendable que la máquina se empotre al suelo.

No existe un manual de operación y mantenimiento por parte del fabricante de la máquina.

## **ANEXO 7: ENSAYO DE VARIACIÓN DE DIMENSIONES (NTP 399.604)**

### **OBJETO**

Determinación de la variación de dimensional de los ladrillos de 18 huecos fabricados con RCD.

### **MATERIALES**

- Ladrillos de 18 huecos fabricados con RCD
- Regla metálica de 30 cm

### **PROCEDIMIENTO**

Se midió el ancho, la altura, y la longitud en cada superficie de contacto, obteniéndose un total de 4 cada una.

### **RESULTADOS**

Se obtuvo la medida promedio de cada una de las dimensiones para cada ladrillo. La diferencia entre la dimensión de fabricación y la dimension promedio correspondiente se expresa en porcentaje, respecto a la dimensión utilizando la siguiente expresión:

$$\text{VARIACIÓN\%} = (D_f - D_p) / D_f * 100$$

Donde:

VARIACIÓN% = Variación de la dimensión (porcentaje)

D<sub>f</sub> = Dimensión de fabricación o nominal (mm)

D<sub>p</sub> = Dimensión promedio medida (mm)

### Ladrillos del Diseño 3

	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	PROM LARGO	PROM ANCHO	PROM ALTURA	VARIACIÓN (%)		
							LARGO	ANCHO	ALTURA
<b>M1</b>	22.5	13	8.5	22.48	12.98	8.40	0.111	0.192	6.667
	22.5	13	8.3						
	22.4	12.9	8.4						
	22.5	13	8.4						
<b>M2</b>	22.5	13	9	22.45	12.98	8.98	0.222	0.192	0.278
	22.5	13	9						
	22.4	13	9						
	22.4	12.9	8.9						
<b>M3</b>	22.5	13	8.8	22.45	12.95	8.75	0.222	0.385	2.778
	22.5	13	8.8						
	22.4	12.9	8.7						
	22.4	12.9	8.7						
<b>M4</b>	22.5	13	8.6	22.48	12.98	8.50	0.111	0.192	5.556
	22.5	13	8.5						
	22.5	12.9	8.5						
	22.4	13	8.4						
<b>M5</b>	22.5	13	8.5	22.45	12.95	8.48	0.222	0.385	5.833
	22.5	13	8.5						
	22.4	12.9	8.5						
	22.4	12.9	8.4						
<b>M6</b>	22.5	13	8.5	22.45	12.95	8.43	0.222	0.385	6.389
	22.5	13	8.3						
	22.4	12.9	8.5						
	22.4	12.9	8.4						
<b>M7</b>	22.5	13	9	22.45	12.93	8.98	0.222	0.577	0.278
	22.5	13	9						
	22.4	12.8	9						
	22.4	12.9	8.9						
<b>M8</b>	22.5	13	8.6	22.45	12.95	8.50	0.222	0.385	5.556
	22.5	13	8.5						
	22.4	12.9	8.5						
	22.4	12.9	8.4						
<b>M9</b>	22.5	13	8.5	22.45	12.98	8.43	0.222	0.192	6.389
	22.5	13	8.4						
	22.4	12.9	8.4						
	22.4	13	8.4						

## **ANEXO 8: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (NTP 399.604)**

### **OBJETO**

Determinar la resistencia a la compresión de los ladrillos

### **MATERIALES**

- Ladrillos de 18 huecos fabricados con agregados reciclados de RCD
- Máquina para ensayo de resistencia a la compresión
- Cemento
- Yeso
- Vasija metálica
- Espátula de aprox. 0.1g
- Balanza

### **PROCEDIMIENTO**

1. Primero se realizó la colocación del capping de yeso - cemento (1:2) a cada ladrillo para uniformizar las superficies de contacto con el cabezal por donde se transmite la carga y la placa de la base. Se dejó secar por horas antes del ensayo.
2. Se colocó el ladrillo en la máquina con un bloque metálico en la base y otro en la parte superior para transmitir la carga de la máquina.
3. Se aplicó la carga hasta la mitad de la máxima prevista, a cualquier velocidad conveniente.
4. Luego, se ajustó los controles de la máquina aplicando la carga a una velocidad uniforme no menos de un minuto ni en más de dos minutos.
5. Finalmente, se registró la carga máxima de rotura de cada ladrillo en KN.

## RESULTADOS

La resistencia a la compresión de la unidad de albañilería ( $f_b$ ) se determina de la siguiente manera:

$$f_b = \frac{P_m}{A_b}$$

Dónde:

$f_b$  = Resistencia a la compresión de la unidad de albañilería ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

$P_m$  = Carga máxima de rotura (kg)

$A_b$  = Área bruta de la unidad de albañilería ( $\text{cm}^2$ )

Como la máquina nos arroja el valor de la carga en kilonewtons el factor de conversión a kilogramos es de 101.9. Es decir  $1 \text{ KN} = 101.9 \text{ Kg}$ .

### - Diseño 1

	Largo cm	Ancho cm	Área cm <sup>2</sup>	Carga KN	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Nº Diseño
1	22.5	13	292.5	147.9	51.5	1
2	22.5	13	292.5	111.8	38.9	1
3	22.5	13	292.5	149.9	52.2	1
4	22.5	13	292.5	194.5	67.8	1
5	22.5	13	292.5	187.2	65.2	1
6	22.5	13	292.5	183.1	63.8	1
					RESISTENCIA PROMEDIO	
					56.6	
					DESVIACIÓN ESTANDAR $\sigma$	
					10.1	



- **Diseño 2**

	<b>Largo cm</b>	<b>Ancho cm</b>	<b>Área cm<sup>2</sup></b>	<b>Carga KN</b>	<b>Resistencia a la compresión (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>1</b>	22.5	13	292.5	219.8	76.6
<b>2</b>	22.5	13	292.5	233.3	81.3
<b>3</b>	22.5	13	292.5	235.6	82.1
<b>4</b>	22.5	13	292.5	264.1	92.0
<b>5</b>	22.5	13	292.5	275.5	96.0
<b>6</b>	22.5	13	292.5	289.9	101.0
		RESISTENCIA PROMEDIO			88.1
		DESVIACIÓN ESTANDAR $\sigma$			8.8

- **Diseño 3**

	<b>Largo cm</b>	<b>Ancho cm</b>	<b>Área cm<sup>2</sup></b>	<b>Carga KN</b>	<b>Resistencia a la compresión (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>1</b>	22.5	13	292.5	293.4	102.2
<b>2</b>	22.5	13	292.5	217.4	75.7
<b>3</b>	22.5	13	292.5	183.7	64.0
<b>4</b>	22.5	13	292.5	299.9	104.5
<b>5</b>	22.5	13	292.5	306.0	106.6
<b>6</b>	22.5	13	292.5	308.1	107.3
<b>7</b>	22.5	13	292.5	403.2	140.5
<b>8</b>	22.5	13	292.5	223.9	78.0
<b>9</b>	22.5	13	292.5	343.9	119.8
		RESISTENCIA PROMEDIO			99.8
		DESVIACIÓN ESTANDAR $\sigma$			22.4

## **ANEXO 9: PORCENTAJE DE ABSORCIÓN**

### **(NTP 399.604)**

#### **OBJETO**

Determinar el porcentaje de agua que es capaz de absorber un ladrillo de inmersión en agua.

#### **MATERIALES**

- Ladrillos de 18 huecos fabricados con RCD
- Horno de secado
- Balanza de aproximación de 0.1 gr

#### **PROCEDIMIENTO**

1. Se sumergió totalmente tres ladrillos en agua potable por espacio de 24 horas, la temperatura del agua deberá estar entre 15.6 a 26.7 °C.
2. Se retiraron los ladrillos del de agua y se secaron superficialmente con un trapo húmedo. Después, se procedió a pesarlos con una balanza de aproximación de 0.1 gr.
3. Luego se colocó cada ladrillo en el horno de secado a 110 °C por 24 horas aproximadamente.
4. Finalmente, se procedió a los ladrillos del horno y a pesar con la balanza.

#### **RESULTADOS**

El cálculo del porcentaje de absorción se realiza con la siguiente fórmula:

$$\text{Absorción (\%)} = (\text{Peso saturado} - \text{Peso Seco}) / \text{Peso Seco} * 100$$

### Ladrillos del diseño 3

M1	
Peso Seco (g)	3016
Peso Húmedo (g)	3401
% Absorción	12.77

M2	
Peso Seco (g)	3021
Peso Húmedo (g)	3408
% Absorción	12.81

M3	
Peso Seco (g)	3020
Peso Húmedo (g)	3406
% Absorción	12.78

Cuadro resumen:

	DISEÑO 3
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	12.77
	12.81
	12.78
PROMEDIO	12.79
VAR	0.0003
D.S	0.0186
C.V	0.1458

## **ANEXO 10: ENSAYO DE PORCENTAJE DE VACÍOS**

### **(NTP 399.604)**

#### **OBJETO**

Determinar el porcentaje de vacíos en las unidades de albañilería

#### **MATERIALES**

- Reglas de acero o calibradores
- Cilindro graduado de vidrio de 500 ml
- Hoja de papel con superficie dura no menor de 610 mm x 610 mm
- 500 ml de arena limpia y seca
- Varilla de acero con borde recto
- Una superficie limpia, seca, chata, lisa y nivelada
- Escobilla de cerda suave
- Balanza
- Ladrillos

#### **PROCEDIMIENTO**

1. Se eliminó con la escobilla las partículas de polvo y otras adheridas a la superficie.
2. Se midió la longitud, ancho y altura del espécimen como en el ensayo para variación de dimensiones.
3. Sobre la superficie nivelada se extendió la hoja de papel. Sobre la hoja de papel se colocó el espécimen a ensayar (perforaciones verticales)
4. Se relleno las perforaciones con arena, permitiendo que la arena caiga libremente. Utilizando la varilla de acero con borde recto se niveló la arena en las perforaciones.
5. Con la escobilla se removió todo exceso de arena en la parte superior del espécimen y de la hoja de papel.
6. Se levanto el espécimen dejando que la arena de las perforaciones caiga sobre las hojas de papel.
7. Se transfirió la arena de la hoja de papel a la balanza y se registró su peso.
8. Con una porción separada de arena se llenó el cilindro de 500 ml hasta la graduación respectiva. La arena fue colocada de manera que caiga natural, sin agitar ni vibrar.
9. Se transfirió la arena a la balanza y se registró su peso.

## CÁLCULOS

### Volumen de arena contenido en el espécimen ensayado

$$V_s = 500 \text{ ml} * S_u / S_c$$

Donde:

$V_s$ : Volumen de arena contenida en el espécimen de ensayo.

$S_c$ : Peso en gramos de 500 ml de arena contenida en el cilindro graduado.

$S_u$ : Peso en gramos de la arena contenido en el espécimen de ensayo.

### Determinación del porcentaje de vacíos

$$\% \text{ Vacíos} = V_s * 100 / V_u$$

Donde:

$V_s$ : Volumen de arena contenido en el espécimen de ensayo.

$V_u$ : Longitud \* Ancho \* Altura del ladrillo.

## RESULTADOS

	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)
M1	22.5	13	8.9
	22.5	13	8.6
	22.5	13	8.4
	22.5	12.9	8.7
	22.5	12.98	8.65

Vol. Cilindro (ml)	500
Peso Cilindro (g)	452.7
Peso arena+ cilindro (g)	1276.2
Peso arena (g)	823.5
Peso arena en agujeros (g)	1213.6
Vol. de arena (ml)	736.9
Vol. Ladrillo bruto (cm <sup>3</sup> )	2525.26
% Vacíos	29.18

Vol. Cilindro (ml)	500
Peso Cilindro (g)	452.7
Peso arena+ cilindro (g)	1276.5
Peso arena (g)	823.8
Peso arena en agujeros (g)	1214.1
Vol. de arena (ml)	736.9
Vol. Ladrillo bruto (cm3)	2525.26
% Vacíos	29.18

Vol. Cilindro (ml)	500
Peso Cilindro (g)	452.7
Peso arena+ cilindro (g)	1277
Peso arena (g)	824.3
Peso arena en agujeros (g)	1214
Vol. de arena (ml)	736.4
Vol. Ladrillo bruto (cm3)	2525.26
% Vacíos	29.16

	<b>Diseño 3</b>
<b>% Vacíos</b>	29.18
	29.18
	29.16
<b>PROMEDIO</b>	29.17

**ANEXO 11: IMÁGENES DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICION UTILIZADOS**



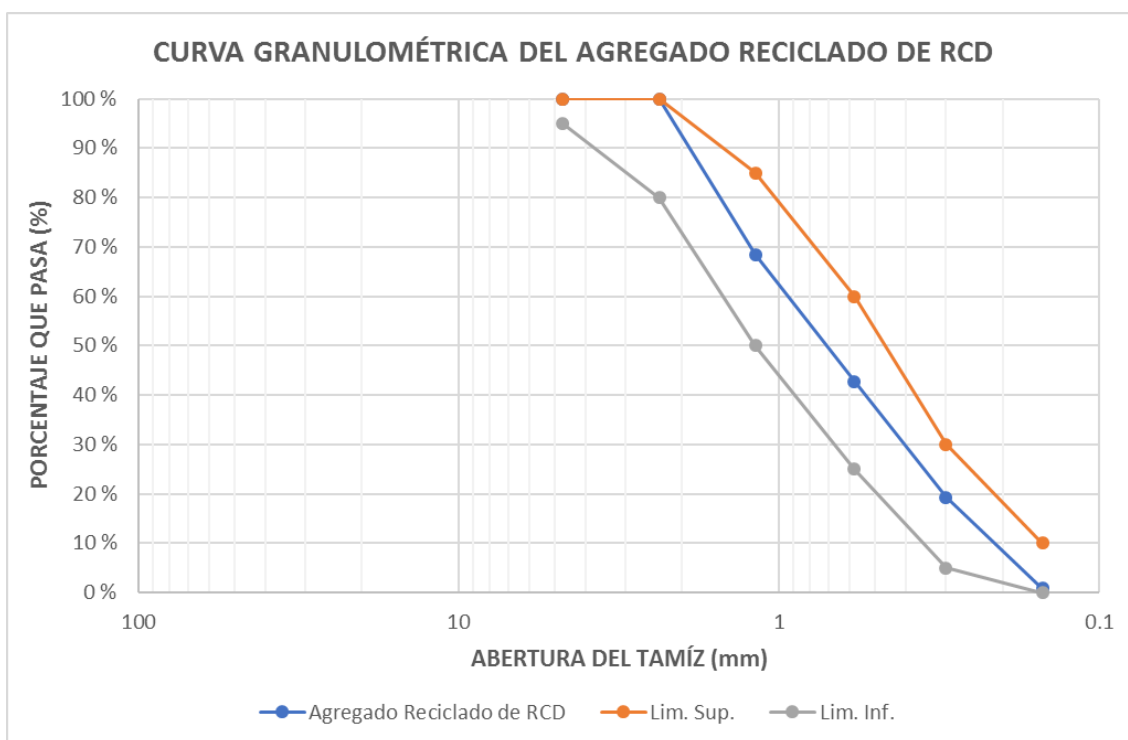
## ANEXO 12: CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO RECICLADO DE RCD CON LOS LIMITES PERMISIBLES SEGÚN LA NTP 400.037

Los límites superior e inferior son los establecidos para el agregado fino de concreto según la norma técnica NTP 400.037.

Se aprecia que las curva se encuentra en los estándares de la norma. El módulo de finura es 2.69.

Peso de la muestra: 744.3 g

Malla	Abertura en mm	Peso retenido (g)	% de peso retenido	% retenido acumulado	% que pasa
1/2"	15.5	0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.5	0	0.0	0.0	100.0
4	4.75	0	0.0	0.0	100.0
8	2.36	0	0.0	0.0	100.0
16	1.18	234.5	31.5	31.5	68.5
30	0.58	191.6	25.7	57.2	42.8
50	0.3	174.7	23.5	80.7	19.3
100	0.15	136.9	18.4	99.1	0.9
fondo	0	5.5	0.7	99.9	0.1
		743.2			





## **ANEXO 13: ENSAYO DE PESO VOLUMÉTRICO O UNITARIO DEL AGREGADO RECICLADO DE RCD**

**(400.017)**

### **OBJETO**

Este método de ensayo cubre la determinación del peso unitario suelto o compactado y el cálculo de vacíos en el agregado fino, grueso o en una mezcla de ambos, basados en la misma determinación. Este método se aplica a agregados de tamaño máximo nominal de 150 mm.

### **MATERIALES**

- Balanza
- Barra compactadora
- Recipiente de volumen y peso conocido
- Pala de mano

### **PROCEDIMIENTO**

#### **Peso unitario suelto**

1. Tomó una muestra del agregado reciclado de al menos 5 o 6 veces la capacidad del recipiente.
2. Se realizó un cuarteo de la muestra y se seleccionó aleatoriamente una.
3. Se pesó el recipiente.
4. El recipiente de medida se llenó con una pala o cuchara hasta rebosar, descargando el agregado desde una altura no mayor de 5 cm por encima de la parte superior del recipiente. El agregado sobrante se elimina con una regla.
5. Finalmente se procede a pesar el recipiente cilíndrico con la muestra del agregado fino.

#### **Peso unitario compactado**

1. Se pesó el recipiente.
2. Luego se llena el agregado al molde cilíndrico hasta 1/3 de su capacidad. Seguidamente con una varilla de acero de 3/8" se procede a golpear 25 veces en forma helicoidal.

3. Se vuelve a llenar hasta los 2/3 de la capacidad del recipiente y se compacta con 25 golpes de manera helicoidal.
4. Se llena totalmente y rebosando la capacidad y se vuelve a compactar con 25 golpes de manera helicoidal. El agregado sobrante se elimina con una regla.

## **CÁLCULOS**

Peso volumétrico compactado ( $\gamma_c$ ) = Peso del material suelto/Volumen del recipiente

Peso volumétrico suelto ( $\gamma_s$ ) = Peso del material suelto/Volumen del recipiente

## **RUSULTADOS**

### **Peso volumétrico fino**

Peso del recipiente: 2670.1 g

Volumen del recipiente: 2739.1 cm<sup>3</sup>

Peso del recipiente + muestra: 6357 g

Peso de la muestra: 3686.9 g

$$\gamma_s = 1.35 \text{ gr/cm}^3$$

### **Peso volumétrico compactado**

Peso del recipiente: 2670.1 g

Volumen del recipiente: 2739.1 cm<sup>3</sup>

Peso del recipiente + muestra: 6739 g

Peso de la muestra: 4068.9 g

$$\gamma_s = 1.49 \text{ gr/cm}^3$$

## **ANEXO 14: ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO RECICLADO DE RCD**

**(NTP 400.022)**

### **OBJETO**

Determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca y la absorción del agregado de reciclado de RCD.

### **MATERIALES**

- Balanza con sensibilidad de 0.1 g
- Picnómetro de 500 ml
- Molde cónico
- Varilla para apisonado de 340 g $\pm$ 15 g de peso
- Horno o Estufa, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 °C
- Pipeta
- Cucharon metálico
- Bandejas metálicas
- Muestra representativa del agregado

### **PROCEDIMIENTO**

1. Se coloca aproximadamente 1 000 g del agregado fino, obtenido por el método del cuarteo y secado a peso constante a una temperatura 110 °C  $\pm$  °C.
2. Se cubre la muestra con agua y se deja reposar durante 24 horas.
3. Se extiende sobre una superficie plana expuesta a una corriente suave de aire tibio y se remueve con frecuencia, para garantizar un secado uniforme. Se continúa esta operación hasta que los granos del agregado no se adhieran marcadamente entre sí.
4. Luego se coloca en el molde cónico, se golpea la superficie suavemente 25 veces con la barra de metal y se levanta el molde verticalmente. Si existe humedad libre, el cono de agregado fino mantendrá su forma. Se sigue secando, revolviendo constantemente y se prueba a intervalos frecuentes hasta que el cono se derrumbe al quitar el molde. Esto indica que el agregado fino ha alcanzado una condición de superficie seca.

5. Se introduce de inmediato en el frasco una muestra de 500 gramos del material preparado, se llena de agua hasta alcanzar aproximadamente la marca de 500 cm<sup>3</sup> a una temperatura de 23 °C ± 2 °C.
6. Después de una hora se llena con agua hasta los 500 cm<sup>3</sup> y se determina el peso total del agua introducida en el frasco con aproximación de 0,1 g.
7. Se saca el agregado fino del picnómetro, se seca hasta obtener un peso constante a una temperatura de 110 °C ± 5 °C, y finalmente se obtiene el peso seco.

### EXPRESION DE LOS RESULTADOS

$$P_{e_{SSS}} = \frac{W_1}{W_1 + W_2 - W_3}$$

$$P_e = \frac{W}{W_1 + W_2 - W_3}$$

$$\% A = \frac{W_1 - W}{W} * 100$$

Donde:

$P_{e_{SSS}}$  = Peso específico de masa saturada con superficie seca

$W_1$  = Peso de muestra saturada con superficie seca del agregado fino (500 g)

$W_2$  = Peso de picnómetro + agua

$W_3$  = Peso de picnómetro + agua + muestra

$P_e$  = Peso específico

$W$  = Peso seco del agregado fino

$\%A$  = Porcentaje de absorción

### RESULTADOS

$W_1 = 500 \text{ g}$

$W_2 = 664.8 \text{ g}$

$W_3 = 955.8 \text{ g}$

$W = 479.5 \text{ g}$

$P_e = 2.29$

$P_{e_{SSS}} = 2.39$

$\% \text{ Absorción} = 4.28$

## ANEXO 15: DISEÑO DE MEZCLA PARA EL LADRILLO CON AGREGADO RECICLADO

Para nuestro diseño empírico tomamos como base la cantidad aproximada a utilizar de agregado.

Para el cálculo de la cantidad de agregado fino reciclado a utilizar en la mezcla de prueba para un ladrillo utilizamos el valor de peso volumétrico compactado obtenido del ensayo de peso volumétrico compactado (1.49 g/cm<sup>3</sup>).

Volumen efectivo en un ladrillo es 1843 cm<sup>3</sup> aproximadamente.

Por lo que para llenar un ladrillo de solo agregado se necesita:

Cantidad de agregado reciclado:  $1843 \text{ cm}^3 * 1.49 \text{ g/cm}^3 = 2746 \text{ g}$

En dicho volumen efectivo se necesita 2746 g de agregado fino reciclado, que finalmente se decidió redondear a 2.8 kg para cada mezcla de prueba.

Con aproximaciones sucesivas de dosificación del cemento se decidió que el diseño inicial del estudio empezaría con 930 gramos.

La relación de Agregado Fino – Cemento se redujo gradualmente en cada diseño con el fin de aumentar la resistencia. Por otra parte, la relación de Agua – Cemento disminuyó ligeramente entre cada diseño debido a que se observó que a menor cantidad de agua la extracción del ladrillo del molde era más rápida.

	Agregado de RCD (Kg)	Cemento (Kg)	Agua (L)	R A/C	R AF/C
Diseño 1	2.8	0.930	0.790	0.85	3.01
Diseño 2	2.8	1.120	0.795	0.71	2.50
Diseño 3	2.8	1.200	0.750	0.63	2.33

Se calculó un 18.6 por ciento de excedente al momento de contabilizar los residuos

## ANEXO 16: MEMORIA DE CÁLCULO PARA EL ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DEL LADRILLO

Volumen del ladrillo:  $1843 \text{ cm}^3$

Peso Volumétrico compactado del agregado reciclado:  $1.49 \text{ g/cm}^3$

### Mezcla del Diseño Final 3

Agregado Reciclado:  $2800 \text{ g} = 2800\text{g}/1.49 \text{ g/cm}^3 = 1879 \text{ cm}^3$

Cemento:  $1200 \text{ g} = 1200\text{g}/3.11 \text{ g/cm}^3 = 385.9 \text{ cm}^3$

Agua: 750 ml ... al ser mezcla semi seca el agua solo entra en los poros y humedece las partículas por lo cual no entra en el cálculo.

Entonces tenemos un volumen total de mezcla =  $1879 + 386 = 2265 \text{ cm}^3$

Aplicando las proporciones respectivas para el volumen de ladrillo....

### Volumen de cada elemento efectivo para un ladrillo

Agregado reciclado:  $1879 \text{ cm}^3 * 1843 \text{ cm}^3 / 2265 \text{ cm}^3 = 1529 \text{ cm}^3 = 2278.3 \text{ g}$

Cemento:  $385.9 \text{ cm}^3 * 1843 \text{ cm}^3 / 2265 \text{ cm}^3 = 314 \text{ cm}^3 = 976.4 \text{ g}$

Agua: 610.3 ml

En resumen:

- Agregado Reciclado:  $0.001529 \text{ m}^3/\text{ladrillo}$
- Cemento:  $0.022974 \text{ bolsa/ladrillo}$
- Agua:  $0.00061 \text{ m}^3/\text{ladrillo}$

## ANEXO 17: MEMORIA DE CÁLCULO PARA EL ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE LA PRODUCCIÓN DE AGREGADO RECICLADO

### Producción

Cantidad total de RCD a triturar (Kg)	100
Tiempo total de trituración (min)	11.86
Producción (Tn/h)	<b>0.51</b>
PVsuelto (Kg/m <sup>3</sup> )	1350
Producción (m <sup>3</sup> /h)	<b>0.375</b>

### Consumo energético

$$\text{Potencia} = \sqrt{3} * V * I * \text{Cos}\phi$$

Máquina sólo prendida	
Voltaje (V)	227
Intensidad de corriente (A)	5.67
Potencia en vacío (watts)	1783.4
Lapso de tiempo (s)	1

Tiempo total del ciclo (s)	4
Consumo del ciclo (wh)	2.68

Máquina triturando	
Voltaje (V)	227
Intensidad de corriente (A)	8.33
Potencia operando (watts)	<b>2620.1</b>
Lapso de tiempo (s)	3

Para 1 hora de trabajo	3600
Consumo total (wh)	2411
Consumo total (Kwh)/h	2.41

Consumo para producir 1 m<sup>3</sup> de agregado reciclado =  $(2.41 \text{ Kwh/h} * 1 \text{ m}^3) / (0.375 \text{ m}^3/\text{h})$   
 = 6.43 Kw.h.

Además,

El tiempo necesario para producir 1 m<sup>3</sup> de agregado reciclado es de 2.67 horas

**ANEXO 18: ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS PARA LA PRODUCCIÓN DE AGREGADO RECICLADO**

<b>ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO</b>					
<b>PARTIDA N°: 1</b>	Producción de agregado reciclado de RCD				
Especificaciones:	Medición de materiales por volumen, colocación de los residuos en la chancadora y almacenamiento del agregado				
Cuadrilla:	1	Operario			
Rendimiento:	0.375	m3/h			
Unidad:	metros cúbicos				
<b>Descripción</b>	<b>Unid.</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Parcial</b>	<b>Total</b>
<b>PRODUCCIÓN</b>					
Consumo energético	Kw.h	6.43	0.5126	3.2979	
<b>Costo de material (S/.)</b>					3.298
<b>MANO DE OBRA</b>					
Operario	hh	2.67	8.04	21.4547	
<b>Costo de mano de obra (S/.)</b>					21.455
<b>HERRAMIENTAS</b>					
5% mano de obra Lampa, maquina semi automática, energía eléctrica etc.	glb	0.05	21.45474	1.0727	
<b>Costo de herramientas (S/.)</b>					1.073
<b>TOTAL (S/.)</b>					25.825



## ANEXO 19: ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS PARA EL LADRILLO

<b>ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO</b>					
<b>PARTIDA N°: 2</b>	Producción de ladrillos fabricados con agregado reciclado y cemento con máquina mecánica manual de 1 unidad				
Especificaciones:	Medición de materiales por volumen, mezcla manual de materiales, colocación de mezcla y desmolde de ladrillos con máquina mecánica manual.				
Cuadrilla:	1	Operario			
Rendimiento:	1	Ladrillos/día			
Unidad:	Unidad de ladrillos (UND)				
Descripción	Unid.	Cantidad	Precio unitario	Parcial	Total
<b>MATERIALES</b>					
Agua	m3	0.00061	5	0.0031	
Agregado reciclado	m3	0.001529	25.825	0.0395	
Cemento Portland tipo I	bls	0.022974	19.50	0.4480	
<b>Costo de material (S/.)</b>					0.491
<b>MANO DE OBRA</b>					
Operario	hh	0.16666667	8.04	1.3400	
<b>Costo de mano de obra (S/.)</b>					1.340
<b>HERRAMIENTAS</b>					
5% mano de obra Lampa, maquina semi automática, energía eléctrica etc.	glb	0.05	1.34	0.0670	
<b>Costo de herramientas (S/.)</b>					0.067
<b>TOTAL (S/.)</b>					1.898

<b>ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO</b>					
<b>PARTIDA N°: 3</b>	Producción de ladrillos fabricados con agregado reciclado y cemento con máquina semi automática de 10 unidades				
Especificaciones:	Medición de materiales por volumen, mezcla manual de materiales, colocación de mezcla y desmolde de ladrillos con máquina semi automática.				
Cuadrilla:	1	Operario			
Rendimiento:	480	Ladrillos/día			
Unidad:	Unidad de ladrillos (UND)				
<b>Descripción</b>	<b>Unid.</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Parcial</b>	<b>Total</b>
<b>MATERIALES</b>					
Agua	m3	0.00061	5	0.0031	
Agregado reciclado	m3	0.001529	25.825	0.0395	
Cemento Portland tipo I	bls	0.022974	19.50	0.4480	
<b>Costo de material (S/.)</b>					0.491
<b>MANO DE OBRA</b>					
Operario	hh	0.01666667	8.04	0.1340	
<b>Costo de mano de obra (S/.)</b>					0.134
<b>HERRAMIENTAS</b>					
5% mano de obra Lampa, maquina semi automática, energía eléctrica etc.	glb	0.05	0.134	0.0067	
<b>Costo de herramientas (S/.)</b>					0.007
<b>TOTAL (S/.)</b>					0.631

## **ANEXO 20: BENEFICIOS DEL ESTUDIO**

### **Beneficios ambientales**

- Menor explotación de los recursos naturales (canteras) al competir con los ladrillos convencionales.
- Reducción de la contaminación atmosférica y el suelo debido a que en su proceso de secado no se utiliza hornos.
- Reducción de la huella ecológica.
- Se incentiva la creación de plantas de reciclaje de residuos de la construcción y demolición (RCD)

### **Beneficios económicos**

- Costo menor de transporte y gestión de materia prima, debido a que la planta se puede establecer cerca a un botadero de escombros o se puede establecer un convenio con las municipalidades para recepcionar sus RCD.
- Generación de valor para los RCD.
- Creación de un nicho de mercado de venta de productos para la construcción sostenible.

### **Beneficios Sociales**

- Generación de nuevos empleos
- Mejora de la calidad de vida, al concientizar que los RCD se pueden reciclar se disminuirá los botaderos informales.
- Generación de mayor conciencia ambiental.

## ANEXO 21: PANEL DE FOTOS GENERAL



Escombros utilizados para la fabricación de los ladrillos



Trituración de los escombros



Almacenamiento de los residuos triturados



Análisis granulométrico del residuo triturado que pasa la malla N° 8



Diferentes tamaños de partícula presentes en el residuo triturado



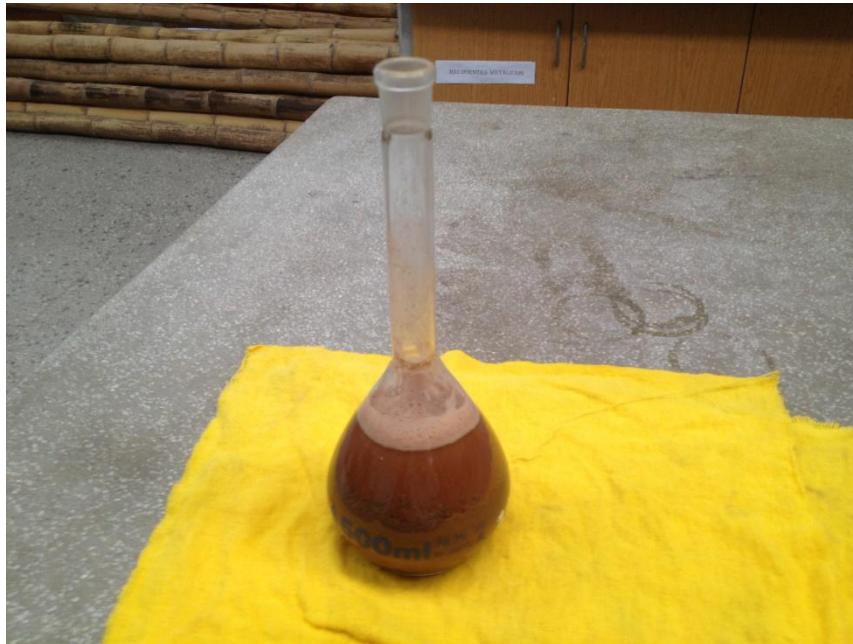
Partículas que pasan la malla N°100. Estas partículas fueron eliminadas por ser demasiado finas



Agregado reciclado. Contiene partículas que pasan el tamiz N°8 pero se retienen en el tamiz N°100



Ensayo de volumétrico con y sin compactar del agregado reciclado



Ensayo de peso específico y absorción del agregado reciclado



Preparación de la mezcla para la fabricación del ladrillo





Colocación de la mezcla en el molde



Ladrillo levantado del molde de la máquina



Ladrillos de 18 huecos fabricados con residuos de demolición



Colocación del capping en los ladrillos para ser llevados al ensayo de resistencia a la compresión



Ensayo de resistencia a la compresión del ladrillo



Calculo del peso del ladrillo saturado para el ensayo de absorción



Ensayo de variación de dimensiones



Ensayo de porcentaje de vacíos: Llenado de los orificios del ladrillo



Ensayo de porcentaje de vacíos: Arena total contenida en los orificios del ladrillo