



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y TRACCIÓN EN EL CONCRETO USANDO LADRILLO TRITURADO COMO AGREGADO GRUESO

Kimberly Masías-Mogollón

Piura, abril de 2018

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Civil

Masías, K. (2018). *Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso* (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](https://repositorio.institucional.pirhua.edu.pe/)

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA



**Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como
agregado grueso**

**Tesis para optar el Título de
Ingeniero Civil**

Kimberly Alisson Masías Mogollón

Asesor: Mgtr. Ing. Gaby Ruiz Petrozzi

Piura, abril 2018

*A Dios por hacer todo esto posible;
A mi ángel en el cielo por cuidar de mí;
A mi mamá por ser mi ejemplo a seguir;
Y a José por su apoyo incondicional.*

Prólogo

El ladrillo es un material sumamente importante en el ámbito de la construcción lo que conlleva a que en distintas partes del mundo existan compañías que se encargan de producirlo. En el caso de la ciudad de Piura debido a la gran cantidad de materia prima que dispone, existen diferentes ladrilleras del tipo artesanal que producen este material y generan gran cantidad de residuos en sus procesos de producción.

En el departamento de Piura existen diversas ladrilleras artesanales que diariamente producen residuos los cuales contaminan el paisaje ambiental, estos residuos son aproximadamente el 20% de los ladrillos producidos, que se desechan debido a sus defectos en los procesos constructivos o por su exceso de cocción, la mayor cantidad de ese porcentaje son los ladrillos recochos o ladrillos con exceso de cocción.

La búsqueda de soluciones al problema del manejo inadecuado de residuos sólidos que genera en esta industria y la conciencia de reducción y consumo responsable en otras partes del mundo ha motivado la propuesta de evaluar el uso del ladrillo triturado como reemplazo del agregado en el concreto.

La presente investigación busca contribuir a la ingeniería ambiental brindándole un valor agregado a los ladrillos recochos, al ser utilizado como agregado grueso en el concreto y evaluar las diferencias al utilizar ladrillos provenientes de diferentes ladrilleras.

Finalmente quisiera brindar un agradecimiento especial a mi asesora Ing. Gaby Ruiz Petrozzi por su constante apoyo, por el tiempo brindado y por impulsarme a desarrollar la presente investigación y al personal técnico del laboratorio de Suelos de la Universidad de Piura por su ayuda en cada momento de la investigación.

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo evaluar experimentalmente las propiedades del concreto fresco y endurecido cuando se reemplaza el agregado grueso por ladrillo triturado, evaluando las diferencias cuando proceden de dos ladrilleras artesanales de la región Piura.

El programa experimental consta de un diseño de mezcla con el método ACI-211.1 para una relación a/c de 0.54. La absorción es la variable diferenciadora entre las ladrilleras por lo que se usó ladrillo triturado procedente de La Huaca y de Cerro Mocho en estado seco, con tres reemplazos parciales del agregado grueso en peso 5%, 10% y 20% en un tamaño comprendido de 1" hasta el tamiz #8. Se evaluó la trabajabilidad, el peso unitario y el contenido de aire en el concreto fresco; y la resistencia a la compresión, a la tracción y; a la flexión por tracción y la absorción en el concreto endurecido a los 28 días.

Los resultados de la investigación muestran que el reemplazo parcial del agregado por ladrillo triturado en estado seco mejora las propiedades mecánicas del concreto endurecido, aunque disminuye severamente la trabajabilidad. Se verificó una diferencia significativa entre las dos canteras, observándose un mejor comportamiento con el ladrillo de Cerro Mocho que tiene mayor dureza y capacidad de absorción que el de La Huaca, tanto en concreto fresco como endurecido.

Índice

Introducción	1
Capítulo 1. Aspectos generales	3
1.1. Uso de residuos sólidos en el concreto	3
1.1.1. Uso de ladrillo triturado	4
1.2. Parámetros físicos de los agregados	6
1.2.1. Propiedades físicas de los agregados	6
1.2.1.1. Forma y textura superficial	6
1.2.1.2. Granulometría	9
1.2.1.3. Contenido de humedad	11
1.2.1.4. Porosidad y absorción	12
1.2.1.5. Gravedad específica	12
1.2.1.6. Peso unitario volumétrico	13
1.3. Características de los residuos de ladrillo	14
1.3.1. Ladrilleras en la ciudad de Piura	15
1.3.2. Características del ladrillo que influyen en el concreto	15
1.3.2.1. Porosidad y succión	15
1.3.2.2. Forma y textura	16
1.4. Procedencia del ladrillo recocho y su efecto en las propiedades del concreto fresco y endurecido.	16
1.4.1. Trabajabilidad	17
1.4.2. Contenido de aire	17
1.4.3. Peso unitario	17
1.4.4. Resistencia a la compresión	17
1.4.5. Resistencia a la tracción	18
1.4.6. Resistencia a la flexión	18
1.4.7. Absorción del concreto	19
Capítulo 2. Caracterización de materiales	21
2.1. Cemento Portland tipo MS	21
2.2. Agregado grueso	22
2.3. Agregado fino	24
2.4. Ladrillo triturado con exceso de cocción	26
Capítulo 3. Programa experimental	33
3.1. Diseño de mezcla patrón	33
3.1.1. Proporciones de reemplazo	34
3.2. Propiedades a evaluar en el concreto	35

3.2.1. Concreto fresco	35
3.2.1.1. Trabajabilidad.....	35
3.2.1.2. Peso unitario y rendimiento.....	36
3.2.1.3. Contenido de aire.....	36
3.2.2. Concreto endurecido	36
3.2.2.1. Resistencia a la compresión	36
3.2.2.2. Resistencia a la tracción	37
3.2.2.3. Resistencia a la flexión.....	37
3.2.2.4. Absorción del concreto endurecido.....	38
Capítulo 4. Discusión de resultados	41
4.1. Ensayos de concreto fresco.....	41
4.1.1. Peso unitario	41
4.1.2. Slump	44
4.1.3. Contenido de aire.....	47
4.2. Ensayos de concreto endurecido.....	48
4.2.1. Resistencia a la compresión.....	48
4.2.1.1. Patrones de falla de la resistencia a la compresión.....	51
4.2.2. Resistencia a la tracción.....	52
4.2.3. Resistencia a la flexión	54
4.2.4. Imágenes microscópicas del concreto	56
4.2.5. Absorción de concreto	57
4.3. Propiedades del concreto fresco vs propiedades del concreto endurecido	58
Conclusiones	63
Recomendaciones	65
Bibliografía	67
Anexos	69
Anexo A. Curvas granulométricas de los agregados.....	71
Anexo B. Tabla resumen de resultados de concreto fresco y endurecido.....	77
Anexo C. Resultados en el concreto endurecido.....	81

Índice de tablas

Tabla 1.-	Ladrilleras en la Región de Piura	4
Tabla 2.-	Investigaciones previas sobre el uso del ladrillo de escombros en el concreto	5
Tabla 3.-	Tamaño de tamices ASTM para el ensayo granulométrico	11
Tabla 4.-	Normas y requisitos del cemento Portland tipo MS según la normativa peruana	22
Tabla 5.-	Caracterización de agregado grueso procedente de la cantera Santa Cruz	24
Tabla 6.-	Caracterización del agregado fino procedente de la cantera Chulucanas usado para la fabricación del concreto	25
Tabla 7.-	Caracterización ladrillo triturado	30
Tabla 8.-	Diseño de mezcla usado como patrón (condición stock)	34
Tabla 9.-	Proporciones de reemplazo en kg/m ³ (Stock).....	34
Tabla 10.-	Número de capas requeridas en la elaboración de vigas para el ensayo de flexión del concreto	38
Tabla 11.-	Rendimiento del concreto estimado con los pesos del concreto fresco	42
Tabla 12.	Diseños de mezcla corregidos y estimación de a/c en cada una de ellas	44
Tabla 13.-	Fotos del asentamiento del concreto con diferentes reemplazos.....	46
Tabla 14.-	Porcentajes de contenido de aire medido en el concreto.....	47
Tabla 15.	Resistencia a la compresión a la edad de 28 días del patrón y de las mezclas con ladrillo para las dos ladrilleras evaluadas	49
Tabla 16.-	Patrones de falla de las probetas cilíndricas	51
Tabla 17.-	Resultados de la resistencia a la tracción a los 28 días de edad del concreto	52
Tabla 18.-	Relación entre resistencia a la compresión y tracción a los 28 días.....	54
Tabla 19.-	Módulo de Rotura del concreto a los 28 días	54
Tabla 20.-	Relación de la resistencia a la compresión con el módulo de rotura.....	56
Tabla 21.-	Resultados del ensayo de absorción del concreto a los 28 días de curado.....	57

Índice de figuras

Figura 1.-	Forma de los agregados naturales	6
Figura 2.-	Subcategorías de la forma de los agregados.....	9
Figura 3.-	Ensamble de partículas de agregados. (a) tamaño uniforme, (b) granulometría continua, (c) reemplazo de partículas pequeñas por partículas grandes, (d) granulometría discontinua, (e) granulometría sin finos	10
Figura 4.-	Estados de humedad de los agregados	12
Figura 5.-	Hornos usados para la fabricación de los ladrillos usados en la presente investigación.....	15
Figura 6.-	Ubicación geográfica de la cantera Santa Cruz respecto a la ciudad de Piura	22
Figura 7.-	Agregado grueso Santa Cruz.....	23
Figura 8.-	Curva granulométrica del agregado grueso, procedente de la cantera Santa Cruz	23
Figura 9.-	Ubicación geográfica de la cantera Chulucanas respecto a la ciudad de Piura	24
Figura 10.-	Agregado fino de la cantera Chulucanas.....	25
Figura 11.-	Curva granulométrica del agregado fino, procedente de la cantera Chulucanas. Fuente: Ensayos LEMC UDEP 2016	26
Figura 12.-	Ubicación geográfica de las ladrilleras Cerro Mocho y La Huaca	27
Figura 13.-	Ladrillo con exceso de cocción conocido como “recocho”	27
Figura 14.-	Máquina chancadora del LEMC	28
Figura 15.-	Ladrillo triturado	28
Figura 16.-	Curva granulométrica del ladrillo triturado, procedente de la ladrillera Cerro Mocho. Fuente: Ensayos LEMC UDEP 2016.....	29
Figura 17.-	Curva granulométrica del ladrillo triturado, procedente de la ladrillera La Huaca	30
Figura 18.-	Curva granulométrica del agregado global en volumen.....	35
Figura 19.-	Moldes para elaborar los especímenes del ensayo a flexión del concreto	37
Figura 20.-	Compactación de los especímenes para el ensayo de flexión	38
Figura 21.-	Compactación de especímenes en los moldes para las pruebas de absorción del concreto.....	39
Figura 22.-	Valores de peso unitario del concreto fresco y su variabilidad con el reemplazo de ladrillo en la mezcla	41
Figura 23.-	Variación del cambio de volumen producido de concreto respecto a los reemplazos de ladrillo en la mezcla	43

Figura 24.-	Variación del peso unitario del concreto con los reemplazos de ladrillo en la mezcla	43
Figura 25.-	Variación del peso unitario del concreto con los reemplazos de ladrillo en la mezcla	44
Figura 26-A.-	Variación del slump con respecto a los porcentajes de reemplazo del ladrillo triturado	45
Figura 26-B.-	Contenido de aire medido en el concreto fresco.....	48
Figura 27.-	Resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días respecto al reemplazo de ladrillo recocho en el concreto	50
Figura 28.-	Resultados resistencia a la compresión Cerro Mocho y La Huaca.....	50
Figura 29.-	Resultados resistencia a la tracción	53
Figura 30.-	Rotura del concreto con un 20% de reemplazo de ladrillo La Huaca	54
Figura 31.-	Resultados de la resistencia a la flexo-tracción del concreto con ladrillo recocho en diversos porcentajes de reemplazo, para las dos ladrilleras estudiadas.....	55
Figura 32.-	a) Matriz ladrillo La Huaca b) Matriz ladrillo Cerro Mocho.....	56
Figura 33.-	Poros del ladrillo recocho llenos de pasta	57
Figura 34.-	Absorción del concreto endurecido a 28 días respecto al porcentaje de reemplazo del ladrillo triturado	58
Figura 35.-	Resistencia a la compresión vs contenido de aire del concreto con ladrillo recocho en diversos porcentajes de reemplazo, para las dos ladrilleras estudiadas.....	59
Figura 36.-	Resistencia a la compresión vs peso unitario del concreto con ladrillo recocho en diversos porcentajes de reemplazo, para las dos ladrilleras estudiadas.....	60
Figura 37.-	Resistencia a la compresión vs slump del concreto con ladrillo recocho en diversos porcentajes de reemplazo, para las dos ladrilleras estudiadas.....	61

Introducción

En los últimos años la demanda de ladrillo ha ido creciendo conforme el desarrollo del ámbito de la construcción y la necesidad de nuevas obras de ingeniería. La producción artesanal de ladrillos es muy conocida en Piura y genera gran cantidad de residuos sólidos producto de las malas prácticas y fallas que existen en los procesos productivos artesanales. Esto ha impulsado investigaciones para manejar adecuadamente estos residuos.

El uso de residuos en el concreto como reemplazo de agregados naturales no es nuevo. Investigadores como Debied (2006), Cachim (2008) y Kallak (2009) realizaron estudios en las propiedades de concreto fresco y endurecido con reemplazos de 15%, 25%, 30%, 50%, 75% hasta el 100% del agregado grueso por ladrillo triturado en condición saturada y en algunos casos como es el de Debied (2006) también se utilizó como reemplazo del agregado fino. El principal hallazgo de estas investigaciones es que la incorporación del ladrillo disminuye radicalmente la trabajabilidad debido a la forma angulosa de sus partículas y la resistencia del concreto por falta de una buena compactación debido a la caída del slump que generaba la gran capacidad de absorción del ladrillo.

Si bien estas investigaciones han usado ladrillo triturado y/o de escombros, los resultados se pueden aplicar también al ladrillo con exceso de cocción denominado recocho que desechan las ladrilleras artesanales. En este sentido, se ha visto viable evaluar el uso de este ladrillo como reemplazo de agregado grueso en el concreto ya que tiene una mayor dureza que el ladrillo de escombros.

La forma angulosa y la alta absorción del ladrillo disminuye la trabajabilidad; la absorción podría contribuir a mejorar la adherencia entre el ladrillo y la pasta de cemento, especialmente importante en aplicaciones donde la resistencia a la tracción o a la flexión pueden ser de gran valor. Así mismo, como la absorción del ladrillo artesanal es muy variable entre zonas de producción y aún en una misma zona (Barranzuela, 2014), se ha propuesto evaluar el ladrillo procedente de 2 zonas distantes dentro de la Región Piura.

De este modo, será posible determinar el porcentaje de reemplazo adecuado en el concreto tomando en cuenta las variaciones en las propiedades de dicho ladrillo. La evaluación comprenderá el comportamiento del concreto tanto en estado fresco como endurecido, sin llegar a abordar el aspecto de durabilidad, que quedará aún pendiente para futuras investigaciones.

Capítulo 1

Aspectos generales

1.1. Uso de residuos sólidos en el concreto

Los residuos sólidos, son aquellos materiales desechados tras su vida útil, y que por lo general carecen de valor económico. Dichos residuos son provenientes de las distintas actividades que realiza el hombre.

Existen distintos tipos de residuos sólidos como residuos domiciliarios, residuos comerciales, residuos de limpieza de espacios públicos, residuo industrial, residuos de establecimiento de atención de salud, residuos de actividad de construcción, residuos mineros, residuos agropecuarios, etc.

Los residuos provenientes de la construcción representan un 4.5% del total de residuos sólidos en el Perú (INEI, 2013), un gran volumen que crece año tras año. Durante las últimas décadas se ha reconocido como una preocupación creciente. El progresivo desarrollo urbano y la necesidad de nuevas obras de ingeniería, mantenimiento y reemplazo de la infraestructura que ha cumplido su tiempo de servicio generan un problema de sobre explotación de los recursos y producen enormes cantidades de material de desperdicio y escombros que son dispuestos en los sitios destinados para este propósito o en lotes o terrenos abandonados con el consecuente deterioro del paisaje y contaminación visual.

Entre los residuos sólidos que se vienen utilizando para elaborar concreto se encuentran vidrio reciclado, plástico, neumáticos, desechos de madera, residuos agrícolas, fibras de acero, escombros, polímeros, entre otros (Martínez et al., 2015)

Los provenientes de los procesos productivos de la construcción, son aquellos que no se ajustan a los estándares requeridos para considerarlos un producto apto para la comercialización.

Las ladrilleras artesanales generan entre el 5% y el 15% de los residuos sólidos inertes (Diagnóstico Ambiental del subsector Cerámica y Ladrillos), pues fabrican el ladrillo con procedimientos predominantemente manuales. El amasado o moldeado es hecho a mano y las propiedades tienen grandes variaciones de unidad a unidad.

El ladrillo recocho es un residuo sólido proveniente del proceso productivo de las ladrilleras artesanales y es desechado debido a su exceso de cocción, está ligeramente

deformado por zonas y su color no es uniforme. Se descarta especialmente por su gran fragilidad respecto a un ladrillo bien cocido, aunque suele tener mayor dureza.

La problemática de los residuos sólidos en los procesos productivos existe en todo el Perú. Para el caso de la región Piura, según el estudio realizado por la Dirección Regional de Producción de Piura en el año 2010 (Soriana, 2010) existen 323 ladrilleras en toda la región (Ver tabla 1) que producen mensualmente de 7294,36 millares de unidades. Se conoce que el porcentaje de unidades de albañilería desechadas por exceso de cocción se encuentra entre el 5% al 10% del total por lo que se estima que alrededor de 364 718 unidades (aproximadamente 792 toneladas) son desechadas al mes, acumulándose en los alrededores, arrojados en terraplenes o en lugares inadecuados.

Tabla 1.- Ladrilleras en la Región de Piura

Provincias	Distritos	N° Ladrilleras
Morropón	Buenos Aires	11
	Chulucanas	102
Paíta	La Huaca	40
Piura	Castilla	5
	Catacaos	36
	La Unión	44
	Piura	17
Sullana	Ignacio Escudero	13
	Querecotillo	55
Total		323

Fuente: Diagnóstico Nacional del sector ladrillero artesanal Piura. Ing. César Soriano Giraldo. Mercadeando S.A. (2010).

1.1.1. Uso de ladrillo triturado en el concreto

Se han realizado diversas investigaciones con la finalidad de reducir el impacto ambiental negativo que genera el ladrillo triturado (Cachim, 2008; Kallak, 2009; Serrano, 2011;) de las cuales se pueden rescatar diversos aspectos que servirán como punto de partida para el presente análisis.

Las investigaciones se han centrado en el ladrillo triturado proveniente de los escombros que deja la construcción y se ha utilizado como reemplazo del agregado grueso en el concreto y del agregado fino en el mortero. Debido a que es un material cerámico, todos los autores coinciden en que es altamente poroso y como consecuencia, tiene gran capacidad de absorción que le quita agua a la pasta, impidiendo que la mezcla tenga buena trabajabilidad, lo que puede ser una desventaja en la utilización del ladrillo triturado como agregado. Sin embargo, Rojas (2012) propone como solución a este problema el uso del ladrillo saturado para evitar que el mortero pierda rápidamente su fluidez. De este modo logra mejorar la trabajabilidad del concreto.

Otro de los aspectos importantes evaluados fue la resistencia a la compresión, que se espera en el concreto. Kallak (2009) y Debied (2006) llegan a la conclusión que la resistencia a la compresión del concreto disminuye hasta en un 87% conforme aumenta el reemplazo de ladrillo en la mezcla, mientras que Cachim (2008) y Rojas (2012) concuerdan que la resistencia a la compresión no varía si el reemplazo no es

mayor de 20% o 30%, especialmente si se usa saturado. En tanto Yang (2010) llegó a la conclusión que la resistencia a la compresión disminuye significativamente cuando el porcentaje de reemplazo es de 50%, provocando también un aumento en la permeabilidad del concreto y una serie de variaciones en otras propiedades como trabajabilidad, tracción y flexión.

En la tabla 2 se sintetizan las diferencias encontradas entre las distintas investigaciones que se han realizado anteriormente sobre el tema. En todos los casos se trata de, ladrillo triturado obtenido como residuo de demoliciones y no corresponde directamente con el ladrillo recocho como el que se utilizará en la presente investigación.

Tabla 2.- Investigaciones previas sobre el uso del ladrillo de escombros en el concreto.

Autor	Debid(2006)	Cahim(2008)	Kallak(2009)	Yang(2010)	Rojas(2012)
Material de reemplazo	Ladrillo triturado	Ladrillo triturado	Ladrillo triturado	Ladrillo triturado/ escombros	Ladrillo triturado
Agregado reemplazado	Grueso - Fino	Grueso	Grueso	Grueso	Grueso
Porcentaje de reemplazo	25%, 50%, 75%, 100%	15%,30%	25%, 50%, 75%, 100%	20%, 50%, 100%	10%, 20%, 30%
Tamaño	0.1 - 18.5 mm	0.125 - 31.5 mm	0.15 - 38 mm	< 10 mm	0.1 mm - 9.5 mm
Estado	SSS	Saturado	SSS	SSS	Saturado
Slump	60 - 80mm	50 - 150mm	40 - 60 mm	10 - 30 mm	74 mm
Trabajabilidad	Disminuye	Mantiene	Disminuye	Disminuye	Mantiene
Edad	7, 28 y 90 días	7, 14, 28 y 90 días	28 días	7 y 28 días	28 días
Compresión	Disminuye	Disminuye	Disminuye	Disminuye	Disminuye

SSS: Saturado superficie seca

Fuente: Elaboración propia

Los estudios realizados anteriormente muestran distintas variaciones del ladrillo triturado de escombros, en dichas investigaciones el ladrillo triturado es usado como reemplazo de agregado grueso y fino en diferentes porcentajes, lo que causa distintos comportamientos en las propiedades del concreto. Sin embargo, todas concluyen que el ladrillo triturado disminuye la resistencia a la compresión del concreto siendo más drástica esa variación al usar mayor cantidad de ladrillo; similar efecto se observa en la trabajabilidad pues dependiendo del estado del ladrillo ya sea saturado o saturado con superficie seca, ésta disminuye o se mantiene. Se puede generalizar que el límite en el reemplazo del agregado por ladrillo triturado está en un 30%, por lo que se plantea estudiar en el presente trabajo tres valores de reemplazo entre 0 y 30% (5, 10 y 20%) para verificar el comportamiento en este rango y precisar mejor el límite de reemplazo.

Los efectos observados se dan del mismo modo y con la misma intensidad independientemente del tamaño de partículas usado para el ladrillo triturado. Considerando que al usarlo como agregado grueso se invierte menor energía de trituración obteniendo el mismo resultado que como agregado fino, parece conveniente usarlo como reemplazo del agregado grueso.

Por otro lado, en pruebas preliminares (Rosas, tesis en ejecución) se ha podido verificar que la condición SSS puede ser favorable para garantizar la adherencia entre la pasta y las partículas, a pesar de la disminución de la trabajabilidad. Además, siendo la absorción la propiedad diferencial entre los productos de las diversas ladrilleras artesanales, se plantea estudiar el ladrillo en condición seca para poder medir el efecto de esta propiedad en el desempeño final del concreto.

1.2. Parámetros físicos de los agregados

La NTP 400.011 define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial cuyas dimensiones están comprendidas entre unos límites, que permiten diferenciar los agregados gruesos o gravas (de 4.75 mm a más) de los finos o arenas (menor a 4.75 mm).

1.2.1. Propiedades físicas de los agregados

Las propiedades físicas de los agregados permiten interpretar su influencia en las diversas propiedades del concreto, tanto en estado fresco como endurecido.

1.2.1.1. Forma y textura superficial

Por naturaleza, los agregados tienen forma irregularmente geométrica compuestos aleatoriamente por caras redondeadas y otras angularidades. En términos descriptivos la forma de los agregados puede ser:

- Angular: Poca evidencia de desgaste en caras y bordes.
- Sub angular: Evidencia de algo de desgaste en caras y bordes.
- Sub redondeada: Considerable desgaste en caras y bordes.
- Redondeada: Bordes casi eliminados.
- Muy Redondeada: Sin caras ni bordes

En la figura 1 se muestran las diferentes formas citadas que puede tener un agregado natural.

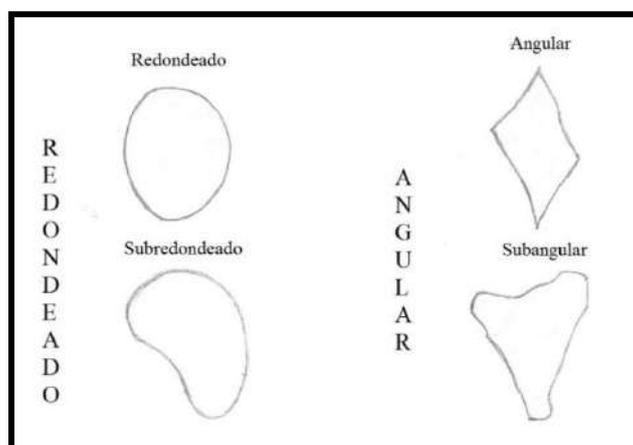


Figura 1.- Forma de los agregados naturales.

Fuente: Elaboración Propia

La forma y textura superficial de los fragmentos que constituyen los agregados, son características que normalmente no se consideran representativas de la calidad intrínseca de la roca propiamente dicha, aunque puede haber casos en que guarden alguna relación.

En términos prácticos, y más bien de acuerdo con sus efectos en el concreto, la textura superficial de las partículas de los agregados, se identifica con su grado de rugosidad o textura superficial y así se dice que hay texturas ásperas, porosas, acanaladas, lisas. etc.

Para tratar de establecer lo que es deseable en cuanto a la forma y la textura superficial de las partículas de los agregados, es necesario considerar los efectos que la variación de esta característica puede producir en el concreto, básicamente en la trabajabilidad del concreto en estado fresco a través de su influencia en la cantidad de pasta requerida ya es requerida suficiente pasta para recubrir los agregados y proporcionar lubricación para disminuir la interacción entre las partículas del agregado durante el mezclado; y en la adherencia de las partículas con la pasta de cemento en el concreto endurecido.

En el concreto fresco:

La forma de las partículas afecta la trabajabilidad y colocación del concreto en estado fresco. El requerimiento de pasta de cemento de la mezcla de concreto está asociado a la superficie específica de los agregados. Las partículas con una superficie específica menor como las de forma cúbica o redondeada requieren menos pasta de cemento para alcanzar la misma trabajabilidad que una mezcla de concreto producida con agregados de mayor superficie específica como aquellos que contienen partículas elongadas y aplanadas. Adicionalmente, las partículas aplanadas, alargadas, angulares y rugosas al acomodarse generan un alto contenido de vacíos, que hacen que la mezcla requiera de más pasta para proporcionar un concreto manejable. Cuando esto sucede, la finura de la mezcla de agregados (agregado global) es mayor, es decir que tiene una superficie específica mayor, y por ende el requerimiento de pasta incrementa. Además de tener un efecto directo sobre la trabajabilidad de la mezcla, las partículas aplanadas, alargadas, angulares y rugosas producen mezclas que dificultan el acabado superficial del concreto, así como su compactación por la baja movilidad que hay entre ellas. Aunque la textura superficial afecta la trabajabilidad, su influencia no es tan representativa como la que tiene la gradación y la forma de los agregados. La demanda de agua en una mezcla de concreto también está influenciada por la forma y textura de los agregados. Una demanda mayor de agua para obtener una trabajabilidad dada, reduce la resistencia y aumenta la exudación del concreto (León, 2010).

En el concreto endurecido:

La textura afecta la adherencia entre las partículas gruesas y la matriz de mortero reflejándose en la variación de la resistencia. Las partículas rugosas tienden a generar mayores resistencias que las partículas lisas, especialmente la resistencia a la flexión. Sin embargo, las partículas rugosas incrementan la

demanda de agua para una trabajabilidad dada reduciendo de esta forma la resistencia a la compresión (mayor relación a/c) y la durabilidad (León, 2010).

La durabilidad está asociada a varios factores tales como el bajo contenido de agua, concreto homogéneo (mezcla trabajable), un curado adecuado, entre otras, por estas razones los agregados angulares, aplanados y alargados afectan negativamente la durabilidad del concreto ya que incrementan la demanda de agua, además de los mayores espacios vacíos generados. En el caso de concretos usados en pavimentos, las partículas aplanadas ubicadas cerca de la superficie impiden la exudación de agua del mortero ubicado bajo la partícula, causando deterioro de la superficie y por lo tanto una disminución de la durabilidad (Kosmatka, 1994).

La influencia de la forma de los agregados en la resistencia del concreto es controversial. A pesar que se ha observado que concretos fabricados con agregados con diferentes formas y un contenido de cemento dado pueden alcanzar niveles de resistencia similares, algunos autores aseguran que los concretos producidos con agregados de forma redondeada y cúbica tienden a producir mayores resistencias que agregados alargados y aplanados. Por ejemplo, Alexander (1996) estableció que la forma y la textura de los agregados tienen un efecto directo en el concreto armado al aumentar la resistencia e influenciando las concentraciones de esfuerzo en el material compuesto y el grado de microfisuras y fisuras antes y después de la falla en compresión. Mehta y Monteiro (1993) encontraron además que la forma y la textura de los agregados afectan la forma de la curva esfuerzo - deformación del concreto ya que la morfología de los agregados influencia la generación de microfisuras en la zona de transición con el acero.

Por lo expuesto anteriormente, existen diferentes especificaciones que limitan el contenido de partículas alargadas o aplanadas en agregados usados en la producción de concreto. Por ejemplo las normativas españolas del concreto especifican que el porcentaje en peso de partículas aplanadas debe ser menor al 35% del peso total del concreto, mientras que la norma británica estipula que este porcentaje debe ser menor a 40 %.

Igualmente, la presencia de partículas planas, alargadas y/o en forma de astillas, tanto en los agregados naturales como en los manufacturados, se considera indeseable porque reduce la trabajabilidad de las mezclas, dificulta el acomodo, la compactación del concreto fresco, también puede producir segregación y afectar la resistencia mecánica del concreto endurecido.

Finalmente, se puede concluir que el agregado redondeado tendrá menor superficie específica en comparación con la roca chancada o triturada. A partir de esta premisa se puede asegurar que los concretos elaborados con agregados con mayor superficie específica tienen mayor enganche mecánico, y por tanto, mayor resistencia a la compresión siempre y cuando tengan la cantidad de pasta adecuada. En la figura 2 se pueden observar la forma que pueden tener los agregados.

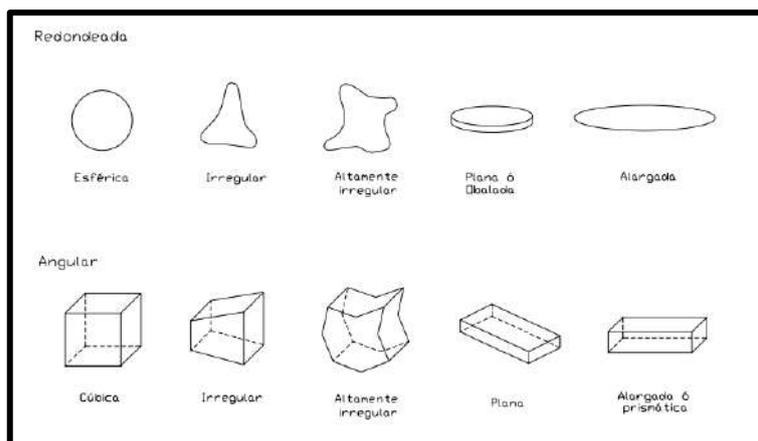


Figura 2.- Subcategorías de la forma de los agregados.

Fuente: Concrete (2003).

El desperdicio triturado en general se puede considerar como un agregado aunque debe cumplir ciertos requisitos. Al igual que los agregados reciclados debe cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, sin recubrimientos de arcilla y otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia la pasta del cemento. Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables.

El ladrillo recocho tiene la forma angular aplanada e irregular al momento de triturarlo y cumple con la mayor parte de requisitos en general tales como limpieza, dureza, resistencia, etc. Sin embargo, aunque se descarta justamente por el exceso de cocción, éste es muy variable. El ladrillo es más deleznable y blando mientras menor sea su grado de cocción, lo que provoca que al momento de incorporarlo en la mezcla aquellos ladrillos que no están completamente quemados se desintegren en partículas más pequeñas. Por lo tanto, el uso de este residuo implica una condición que merece ser evaluada de modo particular, pues no es la misma de los residuos cerámicos convencionales.

1.2.1.2. Granulometría

La distribución de los tamaños de las partículas o granulometría de un agregado es una característica importante debido a que determina los requerimientos de la pasta para lograr un concreto trabajable.

Debido a que el cemento es el componente más costoso del concreto, es deseable, minimizar el costo del concreto utilizando la menor cantidad de pasta consistente con la producción de un concreto que pueda ser manejado, compactado, acabado y proporcionar la resistencia y durabilidad necesaria.

El significado de la distribución de tamaño de partículas es mejor apreciado en el concreto como un ensamblaje de partículas de agregados ligeramente compactadas y mantenidas juntas a través de la pasta de cemento. De este modo la cantidad de pasta depende de la cantidad de espacios vacíos

que deben ser llenados y de la cantidad total de superficie de los agregados que debe ser recubierta por la pasta.

El volumen de los espacios entre las partículas de los agregados es mayor cuando las partículas son de tamaño uniforme. Cuando es utilizado un rango amplio de tamaños, las partículas más pequeñas pueden ocupar los espacios vacíos dejados por las partículas más grandes, disminuyendo de este modo los espacios vacíos y por lo tanto los requerimientos de pasta y el aumento de resistencia.

Utilizando un agregado con tamaño máximo más grande (hasta de 40mm) se puede reducir también los espacios vacíos. En la figura 3 se puede ver como los agregados se acomodan con la pasta, es decir cuando la pasta ingresa en los vacíos que existen entre los agregados.

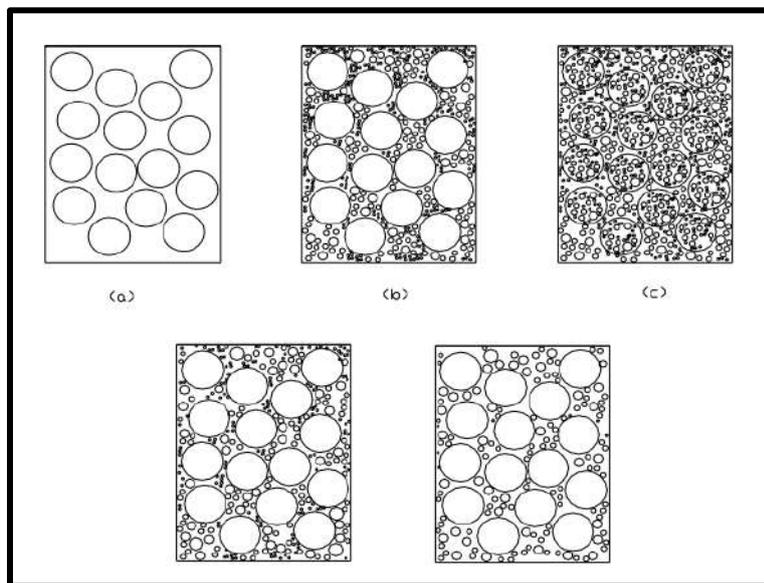


Figura 3.- Ensamble de partículas de agregados. (a) tamaño uniforme, (b) granulometría continua, (c) reemplazo de partículas pequeñas por partículas grandes, (d) granulometría discontinua, (e) granulometría sin finos.

Fuente: Concrete (2003)

La granulometría de un agregado se determina por un análisis con tamices. Una muestra representativa del agregado es pasada a través de una columna de tamices ordenados por un orden decreciente del tamaño de la abertura de la malla de cada uno. Es conveniente dividir el agregado en una fracción gruesa y en una fracción fina. La fracción gruesa del agregado es aquella retenida hasta el tamiz # 4 (de 4.75 mm de abertura de malla) mientras que la fracción fina del agregado es aquella que pasa por dicho tamiz. El análisis granulométrico de la arena se complementa calculando el módulo de finura, que normalmente debe ser mayor de 2.3 y menor que 3.10.

En la tabla 3 se puede ver la clasificación de los agregados según la ASTM y los tamaños que diferencian las partículas finas de las gruesas.

Tabla 3.- Tamaño de tamices ASTM para el ensayo granulométrico.

	Designación ASTM del tamiz	Tamaño nominal de la abertura del tamiz	
		mm	pulgadas
Agregado Grueso	3 pulgadas	75	3
	2 1/2 pulgadas	63	2.5
	2 pulgadas	50	2
	1 1/2 pulgadas	37.5	1.5
	1 pulgadas	25	1
	3/4 pulgadas	19	0.75
	1/2 pulgadas	12.5	0.5
	3/8 pulgadas	9.5	0.375
Agregado Fino	No 4	4.75	0.187
	No 8	2.36	0.0937
	No 16	1.18	0.0469
	No 30	0.6	0.0234
	No 50	0.3	0.0124
	No 100	0.15	0.0059

Fuente: American Society for Testing and Materials.

1.2.1.3. Contenido de humedad

Debido a que los agregados tienen poros conectados a su superficie, el agua es absorbida hacia el interior de las partículas. El agua también puede ser retenida en la superficie de los agregados en forma de una película de humedad. La cantidad de agua que tienen los agregados puede alterar la cantidad de agua necesaria para que el cemento se hidrate, denominada relación a/c. Si el agregado es capaz de absorber agua, disminuirá la relación agua cemento efectiva y por el contrario si tiene agua presente en su superficie aumentará esta relación. En el primer caso, el concreto perderá trabajabilidad y en el segundo caso disminuirá la resistencia. Debido a ello es importante conocer el estado de humedad de los agregados empleados en el concreto.

Estados de humedad

- **Seco al horno:** Este estado se logra cuando toda la humedad es removida del agregado cuando es calentado al horno a 105 ° C hasta obtener peso constante. (generalmente 12 horas). En este estado se considera que todos los poros conectados a la superficie están vacíos.
- **Seco al aire:** En este estado toda la humedad es removida de la superficie, pero los poros podrían estar parcialmente llenos de agua.
- **Saturado superficie seca (SSS):** En este estado todos los poros del agregado se hallan llenos de agua, pero no hay agua en la superficie del mismo.

- Mojado: En este estado los poros están llenos de agua y hay agua en la superficie del agregado.

En la figura 4 se muestran los estados de humedad de los agregados descritos anteriormente.

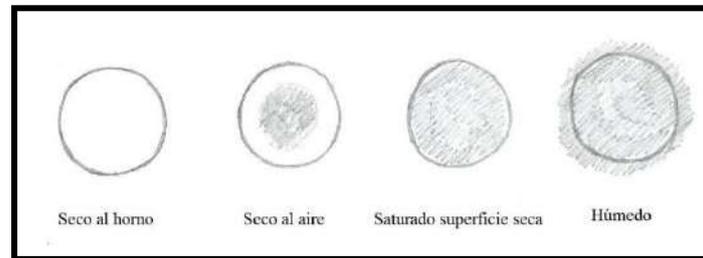


Figura 4.- Estados de humedad de los agregados

Fuente: Elaboración propia

1.2.1.4. Porosidad y absorción

La porosidad de un cuerpo sólido es la relación de su volumen de vacíos entre su volumen total incluyendo los vacíos, y se expresa como porcentaje en volumen. Todas las rocas que constituyen los agregados de peso normal son porosas en mayor o menor grado, pero en algunas poseen un sistema de poros que incluyen numerosos vacíos relativamente grandes (visibles al microscopio) que en su mayoría se encuentran interconectados, y que las hace permeables.

Una excesiva porosidad en la roca puede ser un síntoma de reducida calidad intrínseca por la baja densidad que supone y una roca con esta característica, al ser empleada como agregado, puede tener efectos indeseables en el concreto por una limitada resistencia mecánica o su elevada capacidad de absorber agua. Sin embargo, también puede ser favorable al generar la penetración de la pasta en los agregados e incrementar la adherencia en el concreto (Céspedes, 2003).

La absorción es la cantidad de agua absorbida por el agregado después de estar sumergido 24 horas en ésta, y se expresa como porcentaje del peso (NTP 400.021). La absorción es el incremento en la masa del agregado debido al agua que contiene los poros de dicho agregado excluyendo el agua adherida a la superficie del material, es una medida que depende del grado de porosidad que contenga el material, pues mientras mayor cantidad de poros mayor será la capacidad de absorción del agregado.

1.2.1.5. Gravedad específica

En el caso de los agregados, la determinación que se emplea para evaluar el atributo de su densidad, corresponde a la determinada como gravedad específica de masa, que es el cociente resultante de dividir el peso en el aire de un cierto volumen de agregados en condición saturada y superficialmente seca, entre el peso en el aire de un volumen igual de agua destilada libre de aire, a la misma temperatura. En términos prácticos, el concepto corresponde al de un peso específico relativo, o simplemente peso específico, en condición saturada

o superficialmente seca, el cual no tiene unidades puesto que es el cociente de dos magnitudes con unidades iguales.

El peso específico del agregado nos da una idea de la incidencia del peso del mismo en el peso total actuante en el concreto. Los valores obtenidos de los pesos específicos nos facilitan los cálculos de dosificación, pues mediante estos se puede dosificar en volumen la mezcla deseada.

Un agregado es compacto no sólo por composición química o por el proceso de formación que presenta sino también por la porosidad que posee. La porosidad puede estar relacionada con la gravedad específica, esperándose muy poca porosidad cuando el valor de gravedad específica es alto. Sin embargo, un valor bajo de gravedad específica no siempre indica que las partículas del agregado tienen gran cantidad de poros, ya que podrían ser compactas pero con muy poco peso como resultado de su composición química. Por tanto, la gravedad específica sigue siendo un valor importante a tener en cuenta para el diseño de mezclas.

1.2.1.6. Peso unitario volumétrico

El peso unitario puede ser definido como el peso de un volumen determinado de agregado. El peso unitario, mide el volumen que el agregado ocupará dentro del concreto e incluye tanto a las partículas sólidas como a los espacios vacíos que quedan entre ellas. El peso unitario volumétrico influye en el concreto porque permite determinar el porcentaje de vacíos que tendrán los agregados al momento de mezclarlos con los demás materiales, por lo tanto es importante para conocer la cantidad de vacíos que existe en la mezcla de concreto.

El peso unitario se mide simplemente, pesando un recipiente de volumen conocido lleno con el agregado. Claramente se puede entender que el grado de compactación cambiará la cantidad de espacios vacíos, y debido a esto el peso unitario. Por esa razón se definen dos tipos de peso unitario: el peso unitario compactado y el peso unitario suelto.

El peso unitario suelto se define como la cantidad de agregado que puede ser contenido por un recipiente de volumen conocido; se diferencia del peso unitario compactado o peso unitario varillado por la compactación. En el peso unitario varillado, el material se obliga a ocupar un menor espacio con la ayuda de una varilla.

Debido a que el peso unitario del agregado depende del contenido de humedad, es necesario tener un contenido de humedad constante; en las NTP de referencia se utiliza el peso OD (seco al horno) del agregado. El peso unitario varillado del agregado grueso es un dato requerido para determinar las proporciones de los concretos a través del método volumétrico, pero para dosificar en volumen los componentes de un concreto, es necesario conocer también los pesos unitarios sueltos de los agregados.

El valor del peso unitario está influido por el peso de las partículas (gravedad específica) pero sobre todo por la forma de ellas. Si un mismo agregado procedente de la misma roca tiene las partículas más angulosas, el peso unitario será menor que si las partículas son más cúbicas o redondeadas. Este, en cierto modo, está relacionado también con la superficie específica de los agregados y con las variaciones en la necesidad de pasta al momento de la mezcla. Otra de las propiedades que influye en el peso unitario es la granulometría que presenta el agregado, una granulometría uniforme tendrá un mayor peso unitario que la que presenta discontinuidad en el tamaño de sus partículas, así mismo el peso unitario también se ve afectado por la forma de las partículas, los agregados lisos y redondeados tendrán un mayor peso unitario que los angulares y ásperos.

1.3. Características de los residuos de ladrillo

El ladrillo es una unidad de albañilería fabricada de arcilla moldeada, extruida o prensada en forma de prisma rectangular y quemada o cocida en un horno.

Los ladrillos de construcción se fabrican de tal modo que satisfacen varias especificaciones. Dependiendo del uso a que se destinan, en algunos casos los ladrillos no llegan a cumplir las especificaciones requeridas por lo que se descartan. Este es el caso de los ladrillos recochos.

Los ladrillos que han recibido exceso de cocción se denominan en el medio local como “recochos”. Estos ladrillos están deformados y presentan un color y textura no uniformes. Debido a las altas temperaturas a la que han sido sometidos (mayores a 1000°C) han alcanzado el estado vidrioso del material cerámico, con todas las características de dureza y fragilidad que eso supone.

Los ladrillos recochos son los ladrillos descartados por tener exceso de cocción y que, por tanto, presentan alteraciones en sus propiedades físicas y mecánicas respecto a un ladrillo normal.

Por ejemplo, pueden tener un alabeo mayor debido a que se deforman en exceso tras hincharse y torcerse. Otra de las propiedades que varía es la resistencia. Ésta mejora no sólo debido a la vitrificación de las unidades, sino también a la formación de nuevos crecimientos cristalinos en la pasta de arcilla, especialmente la formación de cristales de mullita. La mullita es un silicato de aluminio que se caracteriza por sus largos cristales aciculares que enlaza la estructura de la arcilla entre sí dándole cohesión y resistencia. Esto se puede verificar al medir la resistencia a la compresión de las unidades. Al aumentar la densidad disminuye el porcentaje de vacíos comparado con un ladrillo normal.

Por otro lado, la dureza en el ladrillo aumenta con el exceso de cocción, volviéndolo un material más frágil debido a que el proceso de vitrificación de las unidades provoca que se vuelvan más fuertes y a su vez más densas. En este sentido, este material podría ser comparable con agregados para la fabricación del concreto.

Otro aspecto relevante del ladrillo recocho es la porosidad y la capacidad de absorción. La porosidad es variable, pero le ayuda a disminuir su peso, a pesar de hacerlo más compacto como resultado de la cocción. También la capacidad de absorción es

variable y depende mucho de la forma de los poros y su conexión, pues podrían formar unos poros capilares que favorecerían las propiedades de absorción por capilaridad.

1.3.1. Ladrilleras en la ciudad de Piura

La ladrillera Cerro Mocho está ubicada en el distrito de Ignacio Escudero, en la provincia de Sullana, a 60 Km de la ciudad de Piura. La ladrillera La Huaca se encuentra en el distrito con el mismo nombre, en la provincia de Paita a 67 Km de la ciudad de Piura por la Panamericana Norte y a 77 Km por la carretera Interoceánica Norte. Ambas ladrilleras se encuentran muy cerca de la carretera y en la figura 5 se puede observar los hornos de la ladrilleras, las cuales son parte de las 323 ladrilleras (DIREPRO, 2010) que se encuentran en la ciudad de Piura.



a) Cerro Mocho

b) La Huaca

Figura 5.- Hornos usados para la fabricación de los ladrillos usados en la presente investigación.

Fuente: Fotos Kimberly Masías

1.3.2. Características del ladrillo que influyen en el concreto

Algunas características de los ladrillos se muestran favorables a mejorar el comportamiento que tienen en el concreto, mientras que otras influirían negativamente las propiedades del concreto. Por este motivo se debe conocer cómo influyen para poder interpretar mejor el comportamiento del concreto al utilizar ladrillos triturados como agregado grueso.

1.3.2.1. Porosidad y succión

El ladrillo recocho es altamente poroso lo que favorece a la pasta de cemento para que se adhiera al ladrillo y forme una unión muy estable conocida como “trabazón mecánica”, muy favorable cuando se usa en la albañilería. En el caso del concreto, esta porosidad podría tener un efecto favorable mejorando la trabazón mecánica con la pasta (interfase entre agregado y pasta), pero en exceso, podría producir una disminución de la

trabajabilidad por no dejar pasta disponible como lubricante para la movilidad de los agregados.

La succión de los ladrillos es necesaria para asegurar una apropiada adherencia entre el ladrillo triturado y la pasta de cemento. Pero si la succión es excesiva, los ladrillos sustraen el agua de la mezcla disminuyendo la trabajabilidad de la mezcla o reduciendo el agua disponible para la hidratación del cemento. Para evitar la pérdida de la trabajabilidad, el ladrillo triturado puede humedecerse o saturarse antes de ser utilizados para evitar que absorba agua de la pasta; así, la superficie exterior debe estar lo suficientemente seca o ligeramente húmeda al momento de su uso en el concreto.

La succión, por su parte afecta la trabajabilidad, en los primeros instantes, pues los ladrillos absorben el agua de la mezcla provocando que ésta se quede sin agua suficiente que la haga trabajable. La succión genera también que se requiera más pasta de cemento debido a la gran cantidad de pasta que absorben los poros. También podría ser afectada el agua libre de la mezcla para la hidratación del cemento, perjudicando la resistencia del concreto.

1.3.2.2. Forma y textura

La forma y textura de la partícula puede tener una influencia favorable en la resistencia del concreto. El ladrillo recocho se tritura antes de su incorporación, garantizando una forma angulosa y una textura rugosa. Con ello se incrementa la cantidad de área superficial disponible para el enlace con la pasta favoreciendo la resistencia mecánica del concreto endurecido.

Sin embargo, podría reducir la trabajabilidad de la mezcla al requerir más cantidad de pasta para recubrir las partículas y dificulta la movilidad de los agregados en la mezcla.

En el caso de los residuos del ladrillo recocho, se espera que las partículas sean angulosas y de textura áspera, lo que favorecerá un mejor comportamiento mecánico en estado endurecido, tanto en compresión por la mayor trabazón; en compresión, tracción y flexión, por la mejor adherencia con la pasta de cemento.

La dureza es otra de las características que posee el ladrillo. Debido a su materia prima, que es la arcilla, que al añadirle gran cantidad de agua permite moldearse y al perder el agua adquiere dureza, la cual aumenta al someterse a cocción. La dureza puede mejorar el comportamiento del concreto en cuanto a la resistencia a la compresión, un material duro le proporciona una mejor resistencia al concreto, tal y como lo hace el agregado grueso convencional.

1.4. Procedencia del ladrillo recocho y su efecto en las propiedades del concreto fresco y endurecido.

El ladrillo recocho procede de la producción de unidades artesanales. Por ello, las propiedades finales pueden ser muy variables, justamente por la característica artesanal de la producción. El ladrillo recocho influirá tanto en las propiedades frescas como en el concreto endurecido.

1.4.1. Trabajabilidad

La manejabilidad o trabajabilidad es una propiedad del concreto fresco que se define como su capacidad para ser colocado, compactado adecuadamente y para ser terminado sin segregación ni exudación; la manejabilidad va asociada al término plasticidad, definida como la propiedad del concreto fresco que le permite dejarse moldear y cambiar lentamente si se saca del molde. (Gutierrez de López, 2003).

No debe confundirse la manejabilidad con la consistencia o fluidez, relacionada ésta con el estado de la mezcla seca (dura) o fluida (blanda), es decir, se refiere al grado de humedad de la mezcla. Dentro de ciertos límites las mezclas fluidas o húmedas son más manejables que las secas, pero dos mezclas que tengan la misma consistencia no son igualmente manejables; para ello deben tener el mismo grado de plasticidad. Debido a la gran variedad de esta propiedad, es muy impreciso poder medir la trabajabilidad por lo que se medirá el slump, que es un indicativo de dicha característica en la mezcla.

1.4.2. Contenido de aire

Este ensayo permite determinar el contenido de aire por el método de presión. Esta prueba determina la cantidad de aire que puede contener el concreto recién mezclado excluyendo cualquier cantidad de aire que puedan contener las partículas de los agregados. Por esta razón este ensayo es aplicable para concretos con agregados relativamente densos y que requieran la determinación del factor de corrección por el agregado.

1.4.3. Peso unitario

El concreto convencional normalmente tiene un peso específico que varía de 2200 hasta 2400 kg/m³. La densidad del concreto varía dependiendo de la cantidad y la densidad del agregado, la cantidad de aire atrapado o intencionalmente incluido y las cantidades de agua y cemento. Por otro lado, el tamaño máximo del agregado influye en las cantidades de agua y cemento.

1.4.4. Resistencia a la compresión

Barranzuela (2010) evalúa el ladrillo normal de las ladrilleras en Piura y encuentra que en Cerro Mocho las unidades tienen mayor resistencia a la compresión que las procedentes de La Huaca.

Sin embargo, como ya se mencionó, la resistencia mecánica del concreto podría verse influenciada por la porosidad y absorción del agregado. La porosidad del ladrillo podría favorecer la resistencia del concreto al mejorar la adherencia de la pasta con el ladrillo o reducir el agua libre en la mezcla, reduciendo a su vez la porosidad. Esto dependerá del comportamiento de los ladrillos y de la diferencia de sus propiedades.

1.4.5. Resistencia a la tracción

El concreto posee muy baja resistencia a la tracción y por lo tanto esta propiedad no se tiene en cuenta en el diseño de estructuras normales. Sin embargo, la tensión tiene importancia en el agrietamiento del concreto debido a la restricción de la contracción inducida por el secado o por la disminución de temperatura.

Normalmente, hay una relación directa entre la resistencia a la tracción y la compresión. Si la resistencia a la compresión disminuye la resistencia a la tracción también disminuirá. Sin embargo, es posible esperar una mejora en la resistencia a la tracción cuando la adherencia entre el agregado y la pasta se ve favorecida. Este podría ser el caso de los ladrillos recochos, donde se prevé una buena adherencia entre la pasta y el ladrillo.

El ladrillo recocho podría considerarse como un agregado liviano ya que posee gravedad específica menor que un agregado natural. Una de las razones por las que este ladrillo es liviano es el alto grado de porosidad que presenta. Dicha propiedad es un factor importante para interpretar como es el mecanismo de adherencia entre la pasta y el ladrillo y su contribución a la resistencia a la tracción. Normalmente, cuando se habla de mecanismos de adherencia entre el mortero y el ladrillo, se interpreta que una mayor absorción permite el ingreso de pasta con cementantes a los poros del ladrillo, los que solidifican dentro de estos poros, creando una red de pasta que interconecta las superficies del ladrillo con el mortero. De este modo, una mayor porosidad y una mayor absorción, contribuyen a una mejor adherencia hasta un límite, pues por encima de unos valores, la absorción es tan alta que más bien le quita agua a la pasta de mortero, debilitándola para la adquisición de resistencia. (Gallegos, 2005; San Bartolomé, 2014).

1.4.6. Resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión podría considerarse una medida indirecta de la resistencia a la tracción del concreto. Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. La resistencia a la flexión es un factor determinante de la calidad del concreto para pavimentos, por el paso de vehículos y por la diferencia de temperatura un lado a otro de la losa.

Para el diseño de pavimentos de concreto la resistencia a la flexión se expresa como módulo de Rotura (MR) en Mpa y es determinada mediante los métodos de ensayo NTP 339.078 (ASTM C78) cargada en los puntos tercios o NTP 339.079 (ASTM C293) cargada en el punto medio.

El Módulo de Rotura oscila entre un 10% al 20% de la resistencia a compresión, en dependencia del tipo, dimensiones y volumen del agregado grueso utilizado.

En este caso, la forma angular del ladrillo triturado y su rugosidad superficial podrían beneficiar la unión con la pasta del cemento, mejorando la resistencia a la tracción y los rendimientos de la resistencia a la flexión (Devenny, 1999). Debido a ello se espera que la resistencia a la flexión aumente al utilizar los dos tipos de

ladrillos, pues sus propiedades mejorarían el comportamiento que tienen en el concreto.

1.4.7. Absorción del concreto

La absorción del concreto endurecido permite saber cómo afecta en el concreto el uso de un material poroso como es el ladrillo, y cómo influye la capacidad de absorción de este al ser utilizado como agregado grueso convencional. La porosidad del concreto es la cantidad de espacios vacíos que posee la mezcla, ésta determinará la absorción del mismo, dado que mientras más cantidad de espacios vacíos tenga el concreto más agua podrá ocupar dichos espacios por lo tanto la absorción estará directamente relacionada con la porosidad del concreto.

La absorción también permite verificar si el uso de un material como el ladrillo produce un concreto poroso, conocer que propiedades varían al trabajar con un material como este, y si dichas variaciones afectan significativamente las propiedades del concreto.

Capítulo 2

Caracterización de materiales

Los materiales que se utilizarán en la presente investigación para el concreto convencional serán el cemento tipo MS, agregado grueso proveniente de la cantera de Santa Cruz, agregado fino proveniente de Chulucanas y los reemplazos de ladrillo triturado provenientes de las ladrilleras Cerro Mocho y La Huaca. Para los ensayos realizados a los materiales utilizados en esta investigación se utilizaron diferentes normas técnicas las cuales se nombran a continuación: granulometría NTP 400.012, peso unitario suelto y varillado NTP 400.017, gravedad específica y absorción de agregado fino y grueso NTP 400.021 y NTP 400.022, y contenido de humedad NTP 339.185

2.1. Cemento Portland tipo MS

El cemento Portland tipo MS usado en la presente investigación es un cemento Portland con adiciones de escoria de altos hornos, que le brinda al concreto moderado calor de hidratación, moderada resistencia a los sulfatos y otras características.

Este cemento es más resistente a la agresión química, ya que debido a la acción química de sus adiciones activas es más resistente cuando se encuentra en contacto con suelos húmedos que contienen sulfatos y sustancias salinosas que deterioran el concreto. Es adecuado para todo tipo de estructuras, cimentaciones y pisos. Está compuesto por 30% de escoria, 5% yeso y 65% clinker (Carrillo, 2003).

El cemento tipo MS está normado por la ASTM C 1157 y en el Perú por la NTP 334.082 y se utilizará para la elaboración del concreto patrón y para el concreto con los reemplazos de ladrillo triturado.

En la tabla 4 se muestran las normas y requisitos físicos del cemento Portland tipo MS según la NTP 334.082.

Tabla 4.- Normas y requisitos del cemento Portland tipo MS según la normativa peruana.

Norma ASTM	ASTM C 150
Norma NTP	NTP 334.082
Resistencia a la Compresión	
3 días, kg/cm ² , mínimo	100
7 días, kg/cm ² , mínimo	170
28 días, kg/cm ² , mínimo	280 *
Tiempo de Fraguado	
Inicial, mínimo	45
Final, máximo	420
Expansión en Autoclave	
%, máximo	0.80
Resistencia a los Sulfatos	
% máximo de Expansión	0.10 (6 meses)
Calor de Hidratación	
7 días, máximo, kJ/kg	-
28 días, máximo, kJ/kg	-

* Requisito opcional

Fuente: Norma técnica peruana (NTP 334.082)

2.2. Agregado grueso

El agregado grueso que se utilizó para elaborar el concreto proviene de la cantera de Santa Cruz, ubicada en el distrito de Querecotillo de la provincia de Sullana en el departamento de Piura. En la figura 6 se muestra su ubicación respecto a la ciudad de Piura.

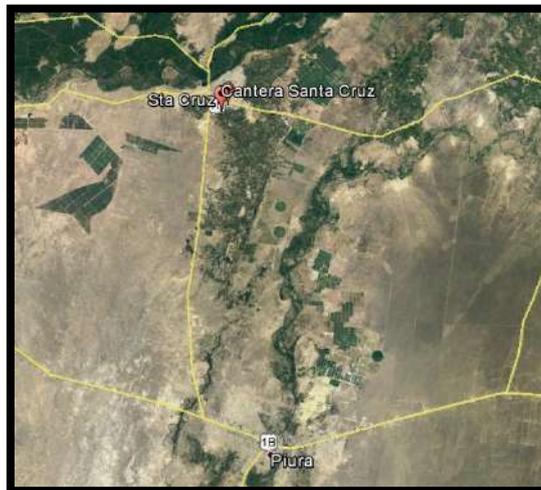


Figura 6.- Ubicación geográfica de la cantera Santa Cruz respecto a la ciudad de Piura.

Fuente: Google Maps

La cantera de Santa Cruz tiene depósitos que están formados por material de origen aluvial, que pertenece al período Cuaternario en el Pleistoceno. Litológicamente están constituidos por material conglomerado no consolidado, de cantos rodados de cuarcitas y rocas intrusivas.

El agregado grueso utilizado tiene forma redondeada y su textura es lisa. En el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos el agregado grueso se clasifica como GP, que es una grava pobremente graduada. En la figura 7 se pueden observar el agregado grueso sin materia orgánica ni arcillas. La curva granulométrica se presenta en la figura 7.

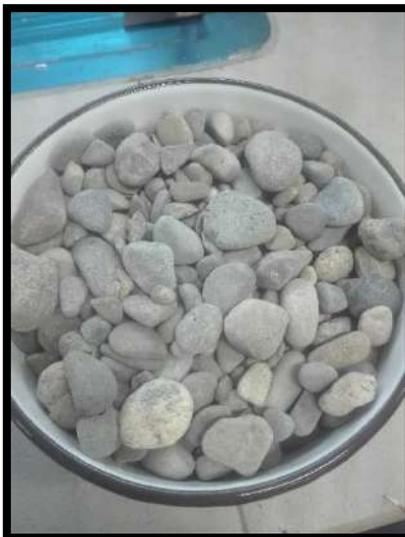


Figura 7.- Agregado grueso Santa Cruz
Fuente: Elaboración propia

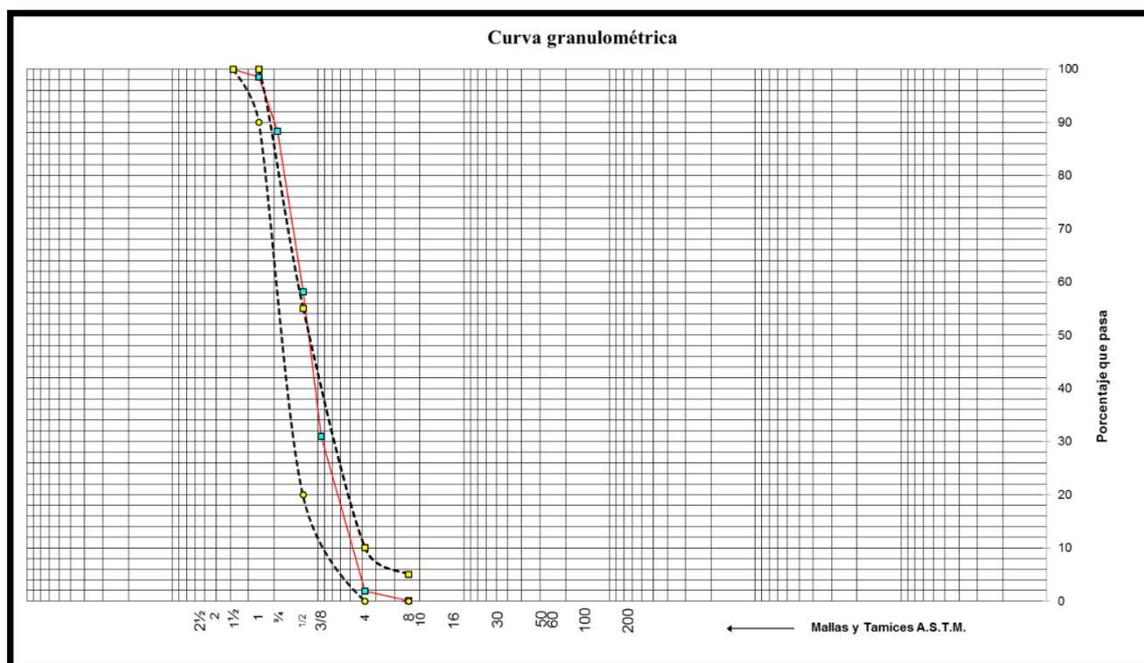


Figura 8.- Curva granulométrica del agregado grueso, procedente de la cantera Santa Cruz.

Fuente: Ensayos LEMC UDEP 2016

Como se observa en la figura 8, la granulometría de este agregado no encaja totalmente con el huso N° 57, recomendado por la NTP 400.037-2002, para agregados gruesos en concretos. Este material posee un exceso de partículas menores a 1/2".

En la tabla 5 se muestran los resultados de los ensayos de los parámetros físicos del agregado grueso.

Tabla 5.- Caracterización de agregado grueso procedente de la cantera Santa Cruz

Cantera	Santa Cruz
Tamaño máximo	1"
Módulo de fineza	-
P.U suelto (kg/m ³)	1682
P.U varillado stock(kg/m ³)	1793
P.U. varillado OD (kg/m ³)	1788
Gravedad específica SSD	2.72
Capacidad de absorción (%)	0.87
Contenido de humedad (%)	0.27

P.U: Peso unitario

OD: Seco al horno

SSD: Saturado superficie seca

Fuente: Elaboración propia

2.3. Agregado fino

Como agregado fino se empleó arena media proveniente de la cantera de Chulucanas, ubicada a 49 Km de la ciudad de Piura. En la figura 9 se muestra la ubicación de la cantera respecto a la ciudad de Piura.



Figura 9.- Ubicación geográfica de la cantera Chulucanas respecto a la ciudad de Piura.

Fuente: Google maps.

El agregado fino es de origen aluvial, que tiene como origen una formación rocosa de 3 a 4 metros de cuarcitas recristalizadas de color gris oscuras a negras, con abundante segregación de cuarzo lechoso relleno de las fracturas de dicha capa. Intercalados con los paquetes de cuarcitas se hallan lustrosas gris-blanquecinas a blancoamarillentas, así como pizarras filitas lustrosas.

Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), el agregado usado se clasifica como una arena mal graduada (SP), sin presencia de finos lo que la hace uno de los mejores materiales de la región para la fabricación de concreto. En la figura 10 se muestra la arena proveniente de la cantera de Chulucanas.



Figura 10.- Agregado fino de la cantera Chulucanas
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 6 se muestran los resultados de los ensayos de los parámetros físicos del agregado fino.

Tabla 6.- Caracterización del agregado fino procedente de la cantera Chulucanas usado para la fabricación del concreto.

Cantera	Chulucanas
Tamaño máximo	-
Módulo de fineza	3.03
P.U suelto	1549
P.U varillado stock(kg/m ³)	1674
P.U. varillado OD (kg/m ³)	
Gravedad específica SSD	2.6
Capacidad de absorción (%)	1.12
Contenido de humedad (%)	0.56

Fuente: Elaboración propia

P.U: Peso unitario

OD: Peso seco al horno

SSD: Peso saturado superficie seca

La curva granulométrica del agregado fino se puede observar en la figura 11. La distribución granulométrica se ubica dentro del huso granulométrico trazado por la tabla 2 de la NTP 400-037,2002 que es recomendado para las arenas de concretos hidráulicos; inclinándose más para el rango superior que es un indicativo que la arena posee una mayor cantidad de partículas gruesas que finas, lo que la hace aceptable para su uso en el concreto de la presente investigación.

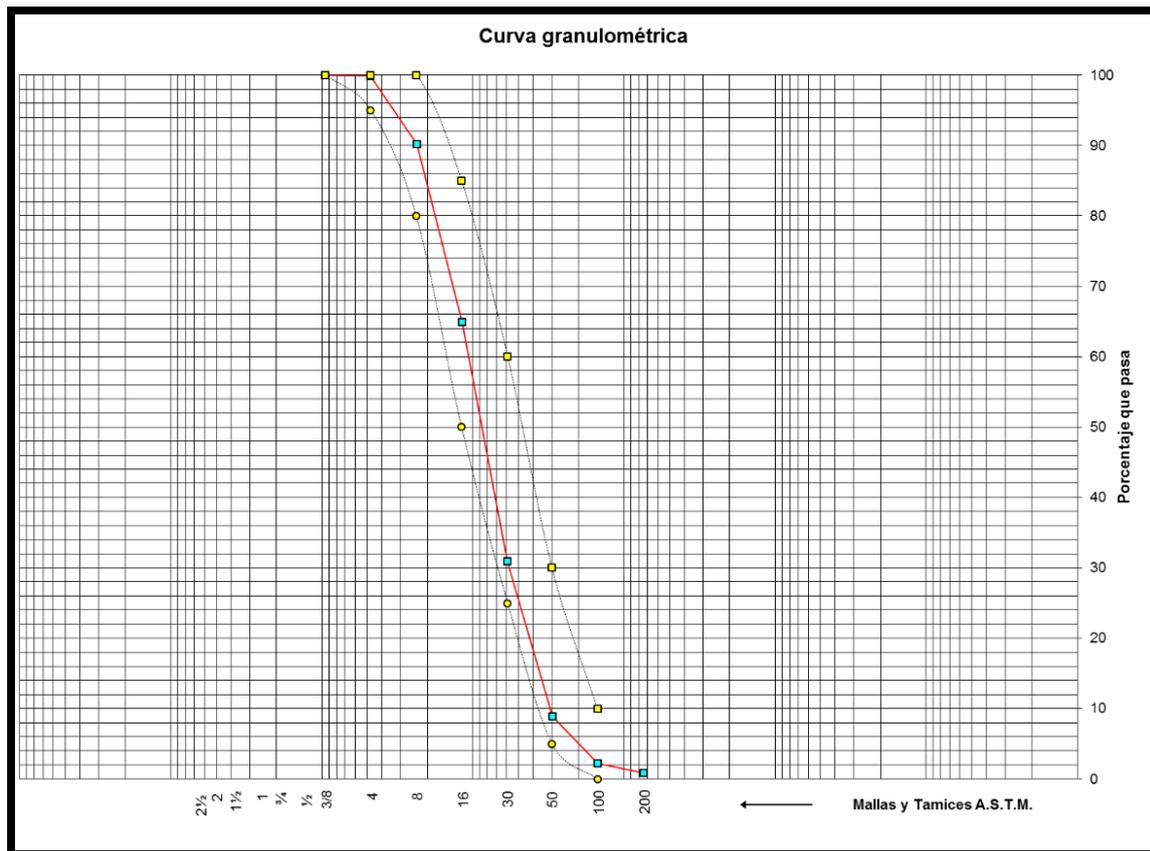


Figura 11.- Curva granulométrica del agregado fino, procedente de la cantera Chulucanas. Fuente: Ensayos LEMC UDEP 2016

La norma técnica peruana recomienda que el agregado fino tenga un módulo de finura comprendido en el rango de 2.4 a 3.1. El módulo de finura de este agregado es 3.03. Indicando que la arena tiene una granulometría gruesa, lo que la hace un buen agregado recomendable para la fabricación de concreto.

2.4. Ladrillo triturado con exceso de cocción

En la presente investigación se evaluarán diferentes criterios para el uso del ladrillo triturado en el concreto, por lo tanto no sólo se evaluarán diferentes porcentajes de reemplazo sino también dos tipos de ladrilleras. Según Barranzuela (2010) las unidades producidas en Piura tienen una alta variabilidad en sus propiedades, tanto mecánicas como físicas. Se han identificado dos zonas de producción, Cerro Mocho y La Huaca, que representan los límites extremos en esta variabilidad de las propiedades (mejor y peor comportamiento en cuanto a la resistencia a la compresión). Esto permitirá verificar la diferencia en el comportamiento del concreto debido a las distintas características que presentan los ladrillos de cada zona de producción. Dado que estos ladrillos proceden de las fábricas artesanales, la variabilidad en su composición química y física es muy alta.

En la figura 12 se muestra el mapa de ubicación de ambas ladrilleras, las cuales se encuentran en dos provincias diferentes y alejadas de la ciudad de Piura.



Figura 12.- Ubicación geográfica de las ladrilleras Cerro Mocho y La Huaca.

Fuente: Google maps.

En la figura 13 se muestran algunas unidades representativas de las ladrilleras usadas en la presente investigación. Nótese las deformaciones y el color no uniforme de las unidades.



a) Cerro Mocho

b) La Huaca

Figura 13.- Ladrillo con exceso de cocción conocido como “recocho”.

Fuente: Elaboración propia

El ladrillo obtenido de las ladrilleras fue llevado al laboratorio para su procesamiento. Se trituró en una chancadora de mandíbulas de laboratorio con una abertura de $3/4''$, lo que permitió reducir el material hasta tamaños menores al tamiz #8. En la figura 14 se puede observar la máquina chancadora que se encuentra en el LEMC – UDEP Piura y que se utilizó para triturar todos los ladrillos. Debido a la abundante presencia de finos se decidió tamizarlo por la malla N° 8, aproximadamente el 10% de peso del ladrillo (entre 300 a 400g de partículas finas por ladrillo triturado).



Figura 14.- Máquina chancadora del LEMC.

Fuente: Elaboración propia

Se seleccionó el material con una granulometría que va desde el tamiz 1" hasta el tamiz #8 (Figura 15) para aprovechar las partículas con una forma angulosa y superficie áspera, se trabajó en condición no saturada para evaluar como la absorción del ladrillo afecta el desempeño del concreto.



a) Cerro Mocho

b) La Huaca

Figura 15.- Ladrillo triturado

Fuente: Elaboración propia

Se pudo observar que la dureza del material influyó en la tasa de trituración. La dureza se pudo medir al momento de triturar el ladrillo, para el ladrillo de La Huaca fue mucho más fácil triturarlo e incluso arrojaba más cantidad de polvo debido a que su condición de cocción no es tan elevada como la de los ladrillos de Cerro Mocho, los cuales arrojaron polvo pero en una menor proporción.

En la figura 16 se observa la curva granulométrica del ladrillo triturado de Cerro Mocho. La distribución granulométrica alcanza el huso granulométrico N° 67, recomendado por la NTP 400.037-2002 para agregados del concreto, ubicándose en el límite inferior, indicando una tendencia del material a tener partículas ligeramente más pequeñas y con abundantes finos.

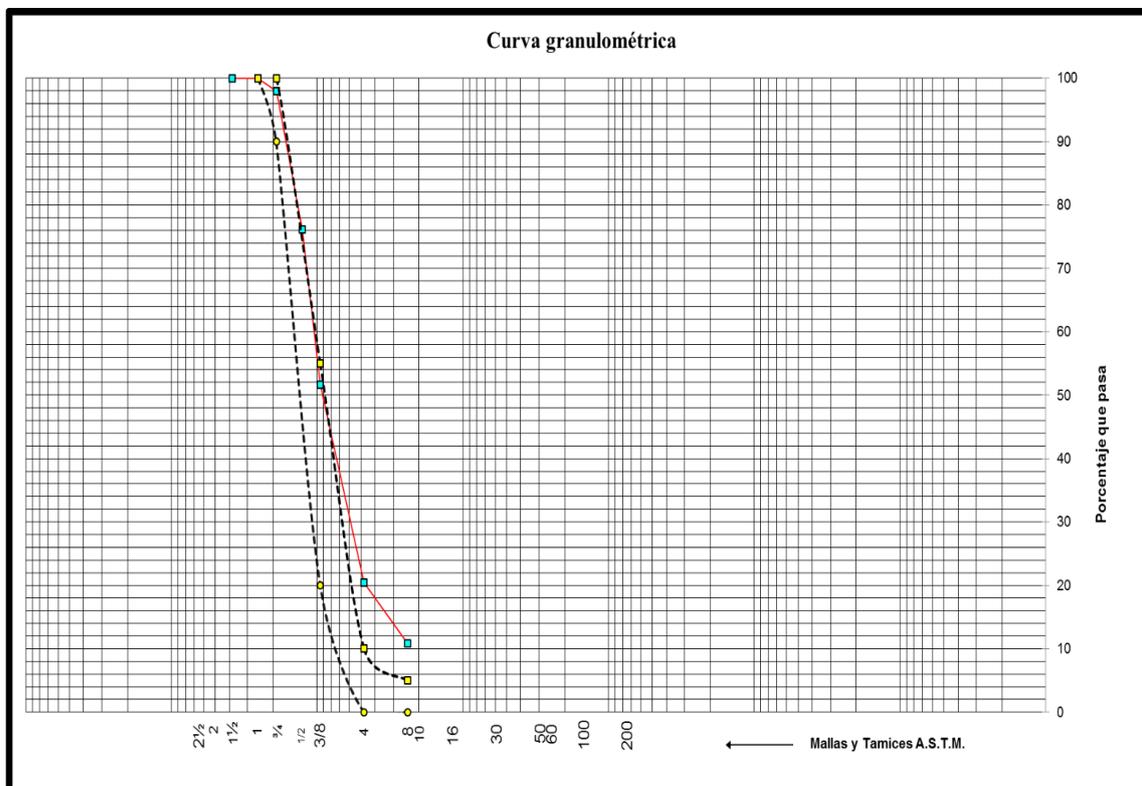


Figura 16.- Curva granulométrica del ladrillo triturado, procedente de la ladrillera Cerro Mocho. Fuente: Ensayos LEMC UDEP 2016
Fuente: Elaboración propia

La curva granulométrica del ladrillo triturado proveniente de La Huaca se muestra en la figura 17. La distribución granulométrica se ubica también dentro del rango del huso granulométrico N° 67 (NTP 400.037-2002) en su mayoría con excepción en la parte inferior que indica una gran presencia de finos, esto se debe a la gran cantidad de polvo que generan los ladrillos al momento de triturarse.

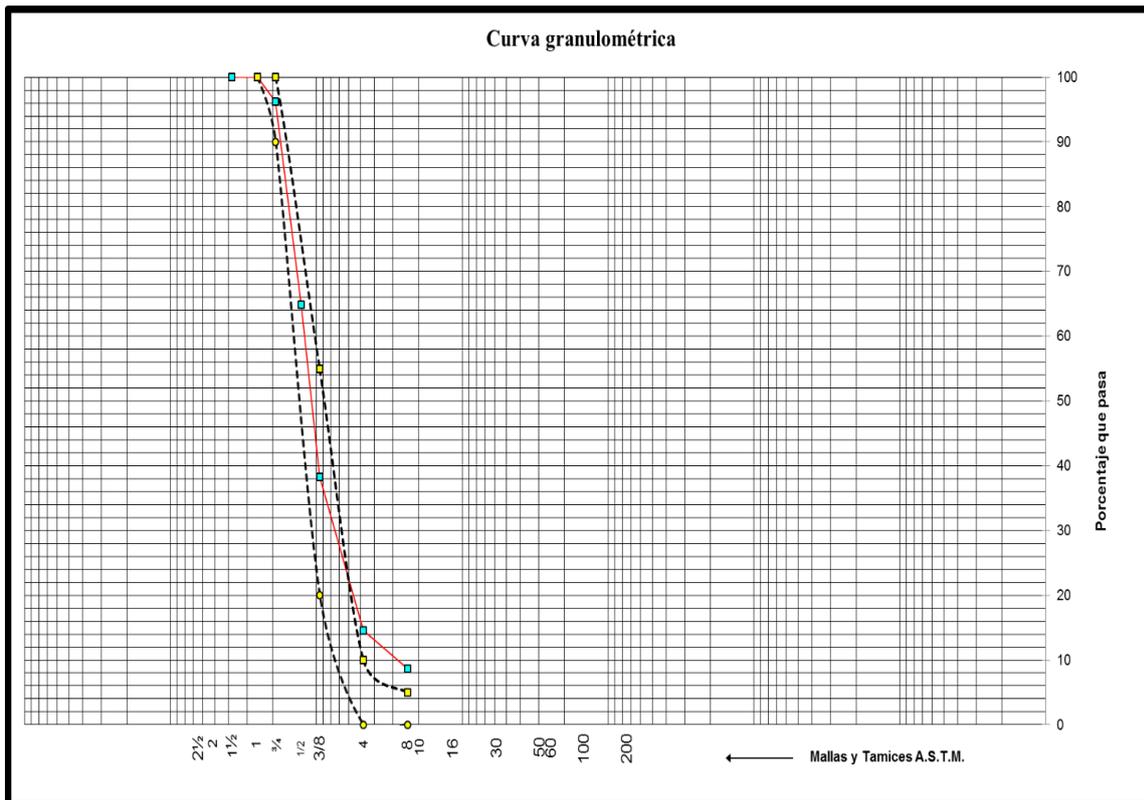


Figura 17.- Curva granulométrica del ladrillo triturado, procedente de la ladrillera La Huaca.

Fuente: Ensayos LEMC UDEP 2016

A este material, como agregado, se le hicieron todos los ensayos de caracterización requeridos para su uso en el concreto. En la tabla 7 se muestran los resultados de los ensayos de los parámetros físicos del ladrillo triturado proveniente de Cerro Mocho y del ladrillo triturado de La Huaca.

Tabla 7.- Caracterización ladrillo triturado

Ladrillera	Cerro Mocho	La Huaca
Tamaño Máximo	3/4"	3/4"
Módulo de Fineza	-	-
P.U suelto (kg/m ³)	843	637
P.U varillado stock(kg/m ³)	932.2	690
P.U. varillado OD (kg/m ³)	932.1	689
Gravedad específica SSD	1.59	1.33
Capacidad de Absorción (%)	10.5	17.7
Contenido de humedad (%)	0.02	0.02

Fuente: Elaboración propia

La humedad total en ambos casos es muy baja, lo que implica que no han adquirido humedad del ambiente, por lo tanto al obtener la humedad de estos es casi nula. Sin embargo la capacidad de absorción del ladrillo de La Huaca es mayor que la de los ladrillos de Cerro Mocho. En ambos casos excede ampliamente a la del agregado grueso de la Cantera de Santa Cruz que es de 0.87%.

La alta capacidad de absorción podría ser favorable para la adherencia con la pasta. Por lo tanto, el ladrillo se usará en estado seco, de modo que sea posible observar las diferencias entre ambas ladrilleras debido a sus diferentes propiedades así también la influencia de la absorción en el comportamiento del concreto.

Por otro lado, respecto a los pesos unitarios, el ladrillo presenta un menor peso unitario debido a su granulometría y a la forma angulosa de sus partículas ocupando así un mayor volumen con respecto al agregado grueso convencional. Al comparar ambas ladrilleras, se observa que el ladrillo de La Huaca, tiene un peso unitario por debajo del ladrillo de Cerro Mocho, lo que significa que ocupará un menor volumen en la mezcla de concreto. Siendo la gravedad específica del ladrillo de La Huaca menor al de Cerro Mocho, es posible que esta diferencia se debe a este factor, dado que la forma de las partículas se muestran similares. Sin embargo, lo más resaltante es la diferencia entre la gravedad específica de los ladrillos respecto al agregado natural. En ambos casos, la gravedad específica de ambos tipos de ladrillos triturados es casi la mitad de la gravedad específica de la grava, lo que implica que para una misma masa de material, el ladrillo ocupará un volumen mucho mayor comparado con la grava no sólo por la angulosidad de las partículas sino sobre todo por el menor peso de las partículas; esta diferencia de gravedades específicas se puede atribuir a la alta porosidad que posee el ladrillo.

Capítulo 3

Programa experimental

El programa experimental de la presente investigación consiste en establecer un diseño de mezcla patrón con agregados convencionales, los cuáles se tomarán como base para la comparación de las mezclas con reemplazo de ladrillo triturado de dos ladrilleras artesanales locales cuyas propiedades se muestran en los capítulos anteriores.

3.1. Diseño de mezcla patrón

En la presente tesis se planteó establecer un diseño de mezcla patrón con agregados convencionales, el cual se tomará de referencia para la comparación de las mezclas con los diferentes porcentajes de reemplazo de ladrillo triturado. Este diseño se realizó empleando el método de diseño de mezclas expuesto en las normas del ACI.

En el diseño de mezcla patrón sólo se consideraron los parámetros físicos de los agregados minerales, más no los de los ladrillos triturados ya que estas características solo se utilizarán para la comparación de los datos obtenidos a partir de los ensayos realizados al concreto con sus diferentes porcentajes de reemplazos con el diseño patrón. La adición del ladrillo al concreto será por reemplazo en peso, sin modificar el diseño de mezcla original.

Para el diseño de mezcla patrón se tomó como base una relación $a/c=0.54$. Dado que se prevé una disminución muy severa en la trabajabilidad, se usó un asentamiento de diseño de 5" y un contenido de aire de 1.50%.

Los parámetros físicos de los agregados que se tomaron en cuenta para la elaboración del diseño de mezcla fueron obtenidos a partir de los ensayos realizados en el laboratorio de ensayo de materiales de construcción (LEMC) de la Universidad de Piura (UDEP) (ver resultados en el capítulo anterior, tablas 5 y 6).

En la tabla 8 se muestran los pesos de los materiales en condición stock para 1 m^3 de concreto como resultado del diseño de mezcla.

Tabla 8.- Diseño de mezcla usado como patrón (condición stock)

Material	Cantidad (kg/m ³)	Volumen absoluto (m ³ /m ³)
Agua	196	0.196
Cemento	361	0.115
Agregado grueso	1171.97	0.431
Agregado fino	631.28	0.243
Aire	1.5%	0.015
PU	2361	2361

PU: Peso unitario

Fuente: Elaboración propia

3.1.1. Proporciones de reemplazos

Teniendo el diseño de mezcla patrón definido se procedió a calcular los pesos de las dosificaciones de cada reemplazo de ladrillo en peso del agregado grueso (5%, 10%, 20%), manteniendo constante la relación agua/cemento de 0.54. El agregado grueso fue el que se reemplazó por ladrillo triturado en porcentajes de 5%, 10% y 20% en peso. Por la alta capacidad de absorción del ladrillo, se limitaron los reemplazos hasta un 20% para no dificultar la trabajabilidad. Se decidió trabajar los ladrillos en condición no saturada, sabiendo que disminuiría la trabajabilidad.

En la tabla 9 se muestran las cantidades de ladrillo triturado así como la de los demás materiales según el porcentaje de reemplazo en kg/m³. Se usaron las mismas proporciones de reemplazo para poder hacer un comparativo entre ambos ladrillos y observar cómo sus propiedades afectan al concreto fresco y endurecido.

Se consideró usar un mayor volumen de concreto para los reemplazos del ladrillo triturado debido a la menor densidad que presentan en relación con el agregado natural del patrón (637 y 843 kg/m³ de La Huaca y Cerro Mocho respectivamente frente a los 1682 kg/m³ de Santa Cruz) y compensar de ese modo el incremento del volumen producido con los reemplazos.

Tabla 9.- Proporciones de reemplazo en kg/m³ (Stock)

Material	MP-0%	MR-5%	MR-10%	MR-20%
Agua	196.00	196.00	196.00	196.00
Cemento	361.00	361.00	361.00	361.00
Agregado grueso	1171.97	1113.37	1054.77	937.58
Agregado fino	631.28	631.28	631.28	631.28
Ladrillo triturado	-	58.60	117.20	234.39

Fuente: Elaboración propia

En la figura 18 se muestra la curva granulométrica del agregado global de acuerdo a las proporciones de reemplazo de ladrillo triturado. Dado que la gravedad específica de los agregados es bastante diferente respecto al ladrillo recocho, se ha hecho la comparación en volumen y no en peso. Se observa que la curva granulométrica global de los reemplazos de ladrillo triturado es muy similar a la del agregado global patrón, debido a que se ha

reemplazado el agregado grueso que está por encima del tamiz N° 8, lo que ha reducido el cambio en la curva.

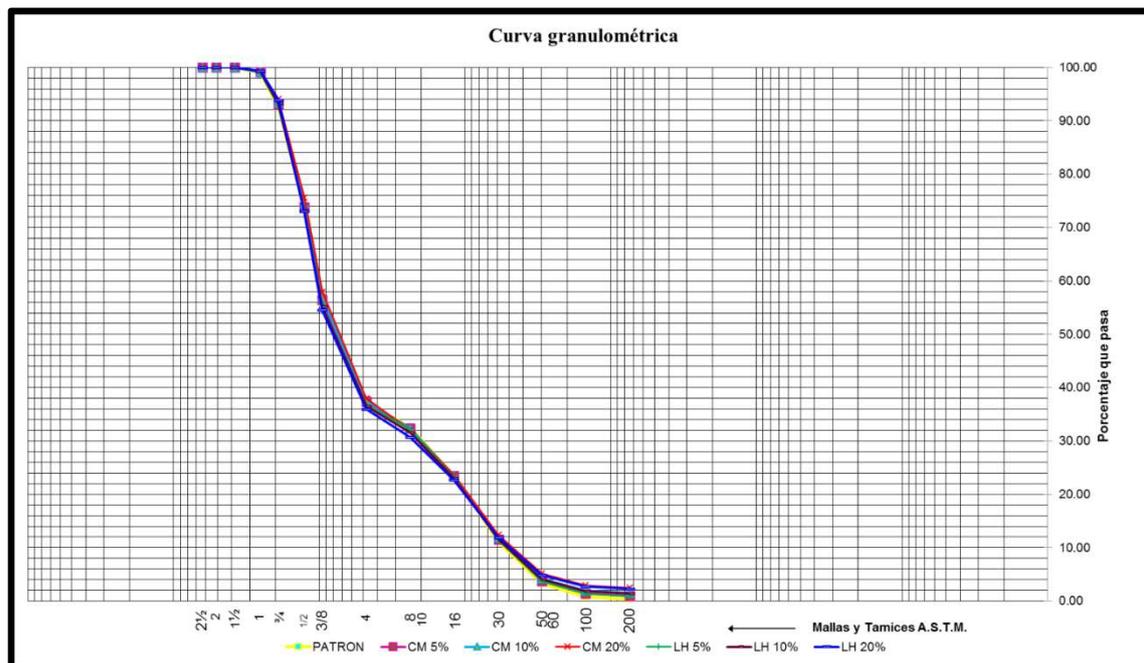


Figura 18.- Curva granulométrica del agregado global en volumen.

Fuente: Ensayos LEMC UDEP 2016

3.2. Propiedades a evaluar en el concreto

Las propiedades a evaluar se mencionan a continuación, las cuales serán evaluadas en la mezcla patrón y en la mezcla con reemplazo de ladrillo, así también se comparará entre los diferentes tipos de ladrillera artesanal utilizado.

La presente investigación se centra en el comportamiento mecánico del concreto, aunque no deja de evaluar las propiedades en el concreto fresco (trabajabilidad, contenido de aire, peso unitario). Por lo tanto, la medida de la efectividad del uso de los ladrillos recochos será determinada por las propiedades en estado endurecido, como la resistencia a la compresión, a la tracción, a la flexión y la absorción.

3.2.1. Concreto fresco

3.2.1.1. Trabajabilidad

La trabajabilidad se evaluará con el método de ensayo normalizado para asentamiento del concreto de cemento Portland (NTP 339.045). Se observará el efecto que causa el reemplazo de 5%, 10% y 20% de ladrillo triturado de las ladrilleras Cerro Mocho y La Huaca respectivamente en el concreto y como trabaja con los demás agregados. Para este ensayo se tomará una muestra representativa de la mezcla y se utilizará el cono de Abrams, el cuál se fijará en un lugar y se vaciará el concreto en 3 capas, las que se compactarán con 25 golpes con la barra compactadora, luego de esto se procederá a retirar el cono y a medir el asentamiento.

3.2.1.2. Peso unitario y rendimiento

Para el peso unitario se evaluó de acuerdo a la norma NTP 339.046. El cálculo del peso unitario se hizo sobre el concreto fresco y con ello, el rendimiento del concreto para la mezcla patrón y la mezcla con reemplazos respectivamente.

Dado que los reemplazos de ladrillo triturado se realizarán en peso, se alterará el volumen debido a la diferencia de densidades entre el agregado grueso y el ladrillo triturado. A través del ensayo de peso unitario y rendimiento se busca averiguar la dosificación real de la mezcla para un determinado volumen de concreto. Esto ayudará a entender la influencia del ladrillo triturado en las proporciones de diseño.

3.2.1.3. Contenido de aire

El presente ensayo se realizó mediante la norma “Método de ensayo normalizado de contenido de aire del concreto recién mezclado mediante el método por presión (ASTM – C231), con un medidor tipo B. Se procedió a llenar el molde con el número de capas requeridas y con el aparato B se realizó el ensayo por medio de una bomba de aire y un dial medidor de presión. El ladrillo al ser un material poroso puede incrementar el contenido de aire en la mezcla, es por ello la importancia de evaluar el contenido de aire a través de este ensayo

3.2.2. Concreto endurecido

El concreto endurecido se evaluará tanto en compresión simple como en tracción, a través de la compresión diametral y la flexión. En todos los casos, se evaluó el tipo de falla con la finalidad de observar la interacción del ladrillo triturado con el resto de agregados y la pasta de cemento.

Adicionalmente, a través de un microscopio, se evaluó la unión entre el ladrillo triturado y la pasta de cemento, para la interpretación de la adherencia entre ellos y su efecto en la trabazón mecánica y la resistencia mecánica en estado endurecido.

3.2.2.1. Resistencia a la compresión

La norma que con la que se evaluó la resistencia a la compresión es la NTP 339.034. Es el ensayo más común que se lleva a cabo en el concreto endurecido puesto que las propiedades más importantes del concreto están relacionadas directamente a la resistencia a la compresión. La finalidad de evaluar este ensayo es observar si el ladrillo triturado tiene impacto en la resistencia. Se espera que al tener partículas más angulosas se obtenga una mayor resistencia. Las probetas que se realizaron para este ensayo fueron de 152.5 mm de diámetro y 305 mm de altura con base metálica. La compactación se realizó con una varilla lisa y en tres capas a las cuales aplicaron 25 golpes. El tiempo de curado fue de 28 días en una solución saturada de agua de cal a una temperatura de 23°C aproximadamente. Finalmente, se evaluó la resistencia a la compresión a la edad de 28 días mediante la aplicación de la carga y se observó el tipo de falla que presentó,

esto con el fin de evaluar si la interacción pasta con ladrillo y agregados altera la forma de falla del concreto.

3.2.2.2. Resistencia a la tracción

La resistencia a la tracción se midió mediante el ensayo de compresión diametral según la norma ASTM C496. Las probetas utilizadas para este ensayo tuvieron las mismas dimensiones que las probetas ensayadas a compresión de 152.5 mm de diámetro y 305 mm de altura y la carga fue aplicada en la sección transversal de cada probeta. La elaboración y curado de los cilindros se realiza en forma similar al ensayo de resistencia a la compresión.

Este ensayo permitió observar de modo indirecto la adherencia del ladrillo triturado con la pasta y también la relación entre la resistencia a la compresión y tracción al reemplazar el agregado grueso. En este caso, la porosidad y absorción de los ladrillos de La Huaca son mayores que los de Cerro Mocho por lo que el mecanismo de adherencia podría darse según sugiere la literatura y en consecuencia, se podría esperar una mejor respuesta a la tracción del concreto con ladrillo de La Huaca que de Cerro Mocho.

3.2.2.3. Resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión es evaluada con la norma NTP 339.079. Las probetas que se utilizaron para el ensayo fueron rectangulares, elaboradas en moldes de triplay de dimensiones 15x15cm y una longitud de 50 cm. En la figura 19 se muestran los moldes utilizados para el ensayo de flexión.



Figura 19.-Moldes para elaborar los especímenes del ensayo a flexión del concreto.

Fuente: Elaboración propia.

Para la elaboración de los prismas de concreto se engrasaron los moldes y se procedió a llenarlos en capas según el método de ensayo, que se detalla en la tabla 10. En este caso debido a que la altura del molde era 15 cm y la forma de compactar era con varilla el número de capas que se utilizaron para compactar el concreto fueron dos. La norma ASTM C31 recomienda un golpe por cada 14 cm² de sección horizontal, por lo tanto, se aplicaron 54 golpes por cada capa de concreto.

Tabla 10.- Número de capas requeridas en la elaboración de vigas para el ensayo de flexión del concreto.

Altura del molde	Forma de compactar	Nº de capas	Altura aprox. de cada capa
≤20	Varilla	2	Mitad de altura
>20	Varilla	3 o más	10cm
≤20	Vibrador	1	Toda la altura
>20	Vibrador	2 o más	20cm

Fuente: ASTM C31

En la figura 20 Se puede visualizar el momento en que las vigas se compactan en dos capas con la varilla.



Figura 20.- Compactación de los especímenes para el ensayo de flexión.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.4. Absorción del concreto endurecido

Se evalúa con la norma ASTM C642. La absorción del concreto endurecido se utiliza para determinar la cantidad de vacíos en el concreto.

Para el ensayo de absorción se utilizaron moldes tronco-cónicos de 473 cm³ de aproximadamente 800 g libre de grietas, fisuras y bordes astillados usando el concreto convencional y el concreto con los reemplazos establecidos para su posterior comparación. La compactación se realizó en dos capas y con una varilla de 1.58 cm de diámetro, cada capa se compactó con 25 golpes. Se dejaron curar en agua durante 28 días.

El ensayo de absorción del concreto endurecido permite saber cómo afecta un material poroso como el ladrillo al momento de utilizarlo en el concreto, como influye la capacidad de absorción del ladrillo cuando se comporta como agregado grueso. En la figura 21 se muestra como se compactaron los moldes que se utilizaron para el ensayo de absorción.



Figura 21.- Compactación de especímenes en los moldes para las pruebas de absorción del concreto.

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 4 Resultados

Los resultados de los ensayos realizados en la presente tesis se expondrán en este capítulo. Se analizará cada ensayo haciendo una comparación entre los dos tipos de ladrilleras estudiados con la mezcla patrón y también para conocer la variación que existe entre ellas y con los reemplazos de ladrillo triturado en el concreto.

4.1. Ensayos de concreto fresco

Se realizaron diversos ensayos del concreto fresco para conocer sus propiedades al momento de reemplazar el agregado grueso por el ladrillo.

4.1.1. Peso unitario

En la figura 22 se muestran los resultados del peso unitario en estado fresco del concreto, tanto para el patrón como para los reemplazos

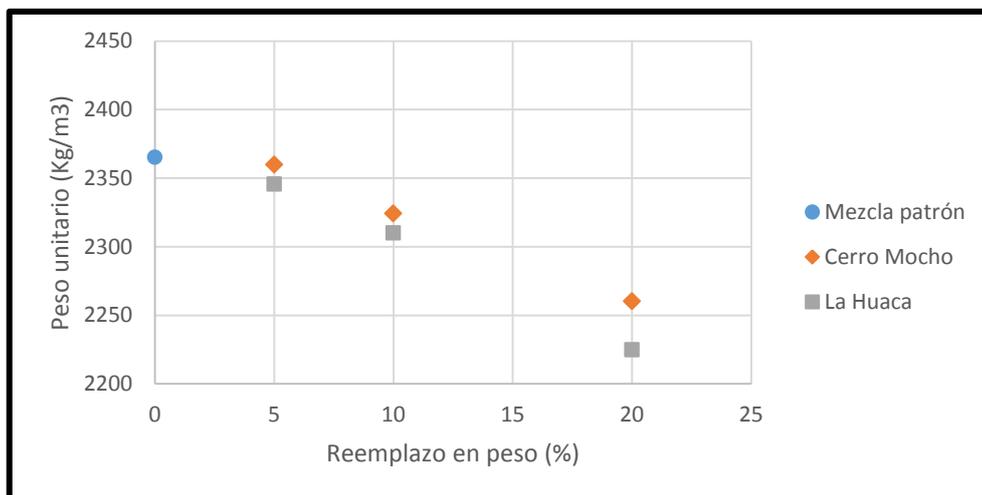


Figura 22.- Valores de peso unitario del concreto fresco y su variabilidad con el reemplazo de ladrillo en la mezcla.

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que al reemplazar la grava por el ladrillo triturado el peso unitario disminuye con respecto al patrón.

De la figura 23 se puede deducir, además, que a más grava reemplazada menor es el peso unitario del concreto, lo que confirma que la variación de este peso unitario se debe a la presencia de un material más ligero como es el ladrillo. El valor del peso unitario no dista mucho entre los ladrillos con un mismo porcentaje de reemplazo, aproximadamente son 20 kg/m³ mayor el ladrillo de Cerro Mocho que el de La Huaca (Ver tabla 11).

Tabla 11.- Rendimiento del concreto estimado con los pesos del concreto fresco.

	PU teórico (kg/m ³)	PU real (kg/m ³)	Vol. Producido (m ³)	Rendimiento relativo	Factor rendimiento relativo
Patrón	2361.00	2365.000	0.998	1.002	0.998
CM 5%	2361.00	2359.630	1.001	0.999	1.001
CM 10%	2361.00	2324.094	1.016	0.984	1.016
CM 20%	2361.00	2260.128	1.045	0.957	1.045
LH 5%	2361.00	2345.416	1.007	0.993	1.007
LH 10%	2361.00	2309.879	1.022	0.978	1.022
LH 20%	2361.00	2224.591	1.061	0.942	1.061

Fuente: Elaboración propia

El reemplazo del ladrillo triturado se realizó en peso. Teniendo en cuenta que el peso unitario y gravedad específica del ladrillo triturado de ambas ladrilleras son muy bajos respecto al agregado grueso de la cantera Santa Cruz (Ver tabla 7), los porcentajes de reemplazo ocupan mayor espacio en la mezcla, aumentando así el volumen de concreto producido y por ende generan la disminución del peso unitario.

Sin embargo, a pesar que la disminución del peso unitario es notoria, su influencia en las propiedades mecánicas del concreto endurecido es mínima.

Se puede notar que existe una disminución del rendimiento relativo justamente porque el volumen de concreto producido aumenta conforme aumenta el porcentaje de reemplazo y se ve también claramente cómo el reemplazo de agregado grueso natural por el ladrillo triturado de La Huaca produce un aumento de volumen ligeramente mayor que el ladrillo triturado de Cerro Mocho. Esto se debe al menor peso unitario y gravedad específica que posee el agregado de La Huaca comparado con el de Cerro Mocho, es decir, la misma masa de partículas ocupa un mayor volumen, incrementando así el volumen del concreto final (Ver figura 23).

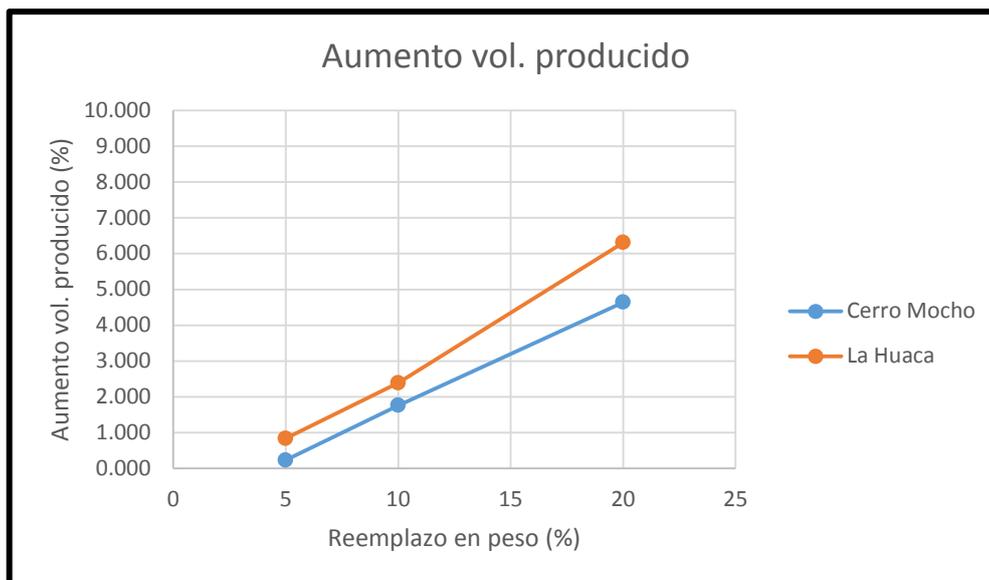


Figura 23.- Variación del cambio de volumen producido de concreto respecto a los reemplazos de ladrillo en la mezcla.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 24 se ha graficado la variación del peso unitario respecto al patrón. Esta disminución es mayor cuanto mayor es el porcentaje de reemplazo y dependerá del tipo de ladrillo utilizado, porque el ladrillo de La Huaca tiene una gravedad específica de 1.33 por debajo del de Cerro Mocho que es 1.59, lo cual implica que el ladrillo triturado de La Huaca ocupe un volumen mayor que el de Cerro Mocho siendo menor el peso unitario del concreto elaborado con este ladrillo, otra de las causas que genera la variación mencionada es el acomodo de las partículas de ladrillo dentro de la mezcla junto con los demás agregados que provocan una variación en el volumen y por lo tanto la variación del peso unitario.

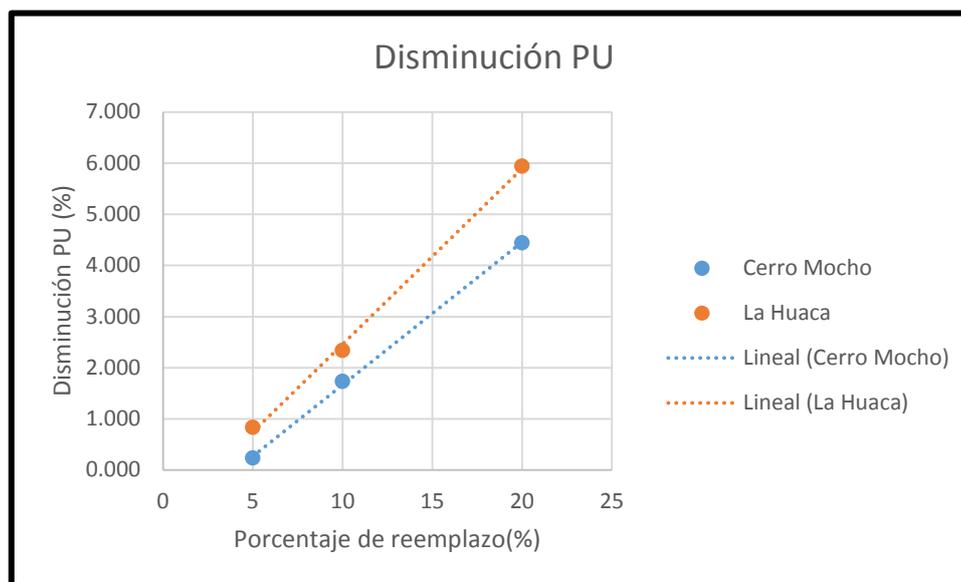


Figura 24.- Variación del peso unitario del concreto con los reemplazos de ladrillo en la mezcla.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 12 se muestra la nueva relación a/c que se obtiene por las proporciones usadas en cada reemplazo. La a/c se obtuvo a partir de los datos del diseño de mezcla en condición saturado superficie seca, teniendo en cuenta la absorción de cada tipo de ladrillo. En la figura 25 se muestra la relación a/c efectiva de acuerdo al reemplazo realizado. Como se sabe, la absorción del ladrillo influye de manera directa en la cantidad de agua libre en la mezcla, provocando así una variación en la relación a/c. Se verifica que el concreto elaborado con el ladrillo con mayor capacidad de absorción tiene menor relación a/c.

Tabla 12. Diseños de mezcla corregidos y estimación de a/c en cada una de ellas.

Material	a/c
MP-0%	0.54
CM-5%	0.52
CM-10%	0.51
CM-20%	0.48
LH-5%	0.50
LH-10%	0.49
LH-20%	0.46

Fuente: Elaboración propia

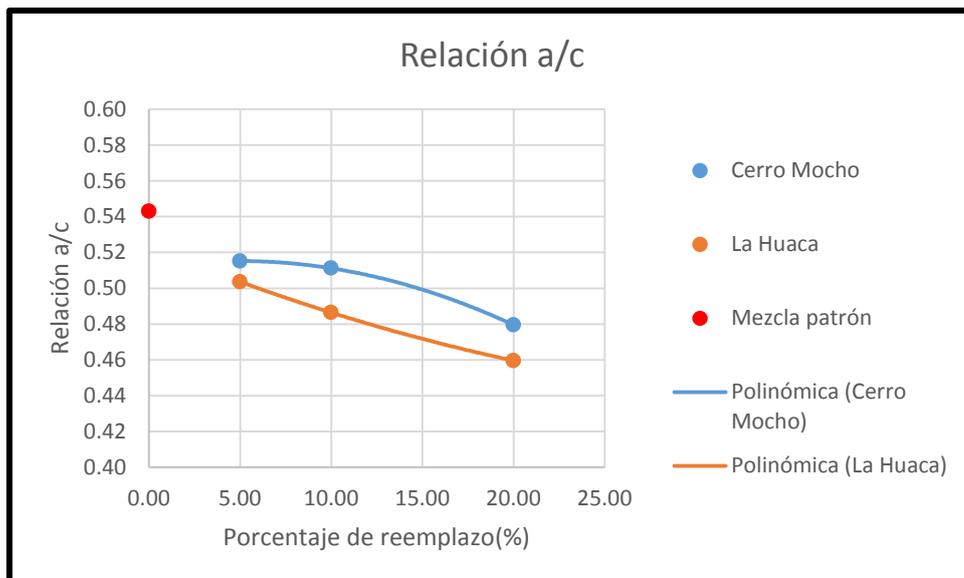


Figura 25.- Variación del peso unitario del concreto con los reemplazos de ladrillo en la mezcla.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Slump

Los resultados del ensayo de revenimiento (NTP 339.045) se muestran en la figura 25 dónde se comparan los diferentes porcentajes de reemplazo con la mezcla patrón.

En el concreto con el ladrillo triturado como reemplazo de agregado grueso, el asentamiento baja radicalmente. Esto puede atribuirse a dos factores. Primero, la mayor forma angulosa de las partículas, que en relación al agregado natural que es redondeado, el ladrillo triturado es completamente anguloso y de textura rugosa. Esto dificulta la movilidad relativa de las partículas, disminuyendo la trabajabilidad. En segundo lugar, la condición seca del ladrillo, su alta absorción en relación al

agregado natural (10% y 17% contra 1%) hace que el agua de la mezcla sea absorbida por el ladrillo disminuyendo así el agua libre necesaria para darle fluidez al concreto y la cantidad de pasta por m³ en la mezcla. De este modo, la pasta no tiene suficiente fluidez ni existe la cantidad necesaria para recubrir los agregados y para lubricar la movilidad de ellos en la mezcla.

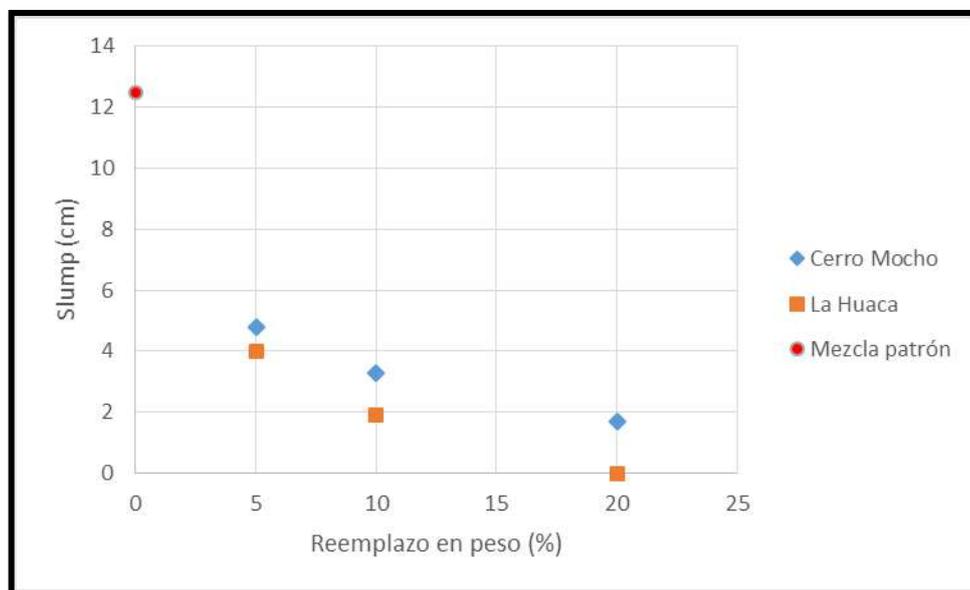


Figura 26-A.- Variación del slump con respecto a los porcentajes de reemplazo del ladrillo triturado.

Fuente: Elaboración propia.

El asentamiento de la mezcla patrón fue de 12.5 cm, que es el establecido para el diseño de mezcla, mientras que los concretos con ladrillo alcanzaron menos de 5 cm de asentamiento. Para un 5% de reemplazo de ladrillo triturado resultó un concreto con un asentamiento de menos de la mitad de la mezcla patrón deduciendo así que aunque sea muy poco el reemplazo de ladrillo triturado la variación en el slump es muy alta. Para el reemplazo de 20%, el concreto pierde la trabajabilidad casi en su totalidad, lo que hace suponer que no es factible, en estas condiciones, mayores reemplazos de ladrillo triturado; para esos casos particulares, se podría trabajar con una mayor cantidad de pasta o el ladrillo en otro estado de humedad.

Al comparar el slump de las mezclas de concreto entre ladrilleras no se observa una diferencia significativa. Aunque el concreto con ladrillo de La Huaca presenta un asentamiento ligeramente menor que el de Cerro Mocho que podría atribuirse a la mayor absorción que presenta este material. Esta diferencia que existe en el slump entre ambas ladrilleras se incrementa conforme aumenta el porcentaje de reemplazo. Sin embargo, esta diferencia no se considera significativa.

El peso unitario también es uno de los factores que influye en el slump, el ladrillo aumenta el volumen de la mezcla generando que exista un mayor requerimiento de pasta para cubrir cada partícula de ladrillo que influye en la disminución de la trabajabilidad. El peso unitario se ve afectado por la baja gravedad específica, por lo tanto el slump también sería influenciado por la gravedad específica.

Se puede precisar que debido a la capacidad de absorción que posee el ladrillo recocho utilizado, hay una cantidad de agua de la mezcla que es absorbida por el ladrillo, generando así una disminución en el asentamiento para ambas ladrilleras. Pero, considerando que la capacidad de absorción entre un ladrillo y otro son bastante diferentes (Tabla 7), este factor resulta determinante en el comportamiento del concreto en estado fresco. Mientras que para el ladrillo de Cerro Mocho la capacidad de absorción es 10.5%, para el ladrillo de La Huaca es 17.7%, lo que explica las diferencias en el asentamiento observado entre ambas ladrilleras.

Esta es la principal razón que explica los efectos que el reemplazo de agregado por ladrillo recocho genera en la trabajabilidad del concreto. Aunque sea muy poco el nivel del reemplazo, la alta capacidad de absorción que tienen los ladrillos produce una disminución drástica en la trabajabilidad del concreto. El reemplazo del 5% alcanzó menos de la mitad del slump que tenía la mezcla patrón, aunque la fluidez se mantuvo constante, independientemente de los porcentajes de reemplazo. Según los resultados mostrados en la figura 25 se puede decir que con reemplazos mayores al 20%, la mezcla de concreto será seca y más rígida, sin fluidez ni trabajabilidad que dificultan una adecuada colocación, en especial con reemplazos de ladrillo de La Huaca, por la mayor capacidad de absorción con respecto al de Cerro Mocho.

En la tabla 13 muestran los asentamientos de los diferentes reemplazos de los dos tipos de ladrillos así como la mezcla patrón. En el caso del ladrillo de Cerro Mocho se observa una mezcla seca y con poca fluidez, y una mucho más seca en el caso del ladrillo de La Huaca; muy distantes ambas de la mezcla patrón.

Tabla 13.- Fotos del asentamiento del concreto con diferentes reemplazos.

PATRÓN	5%	10%	20%
CERRO MOCHO			
			



Fuente: Elaboración propia.

La forma del asentamiento en todos los reemplazos de ladrillo triturado fue uniforme pues no se apreció una separación de una parte de la masa de concreto como sucede en el asentamiento tipo corte, lo que indica que a pesar que su trabajabilidad es muy baja, las mezclas aún tienen la cantidad de pasta suficiente para cubrir totalmente tanto el ladrillo como la grava. Aunque la apariencia que poseía era pedregosa, todos los reemplazos tuvieron un asentamiento uniforme, lo que es un indicativo que el ladrillo triturado afecta al concreto en cuanto a la fluidez pero no lo hace inservible ni lo descarta completamente porque aún mantiene las propiedades de plasticidad y cohesión, sin embargo cabe resaltar que a pesar de no perder las propiedades propias del concreto convencional, usar ladrillo triturado provoca dificultad al manejarlo. Al parecer, la textura rugosa y angular del ladrillo produce una mayor área superficial a diferencia del agregado de canto rodado, incrementando los requerimientos de pasta en el concreto para poder mantener una trabajabilidad que permita una adecuada compactación.

4.1.3. Contenido de aire

En la tabla 14 se muestran los resultados del ensayo de contenido de aire medido como contenido total en el concreto fresco.

Tabla 14.- Porcentajes de contenido de aire medido en el concreto

	Porcentaje de reemplazo	Contenido de aire
Mezcla patrón	0	1.50%
	5	1.60%
	10	2.00%
Cerro Mocho	20	2.70%
	5	1.80%
	10	2.20%
La Huaca	20	2.30%

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar cómo el contenido de aire en la mezcla de concreto incrementa con el reemplazo de ladrillo. Al parecer, la forma angular de las partículas de ladrillo y la menor cantidad de pasta por la mayor superficie a recubrir, generan mayores espacios vacíos que no pueden ser llenados por la pasta. Además,

se podría considerar el aire en los poros de las partículas de ladrillo, que sale a la mezcla cuando es desplazado por el agua o por la pasta de concreto cuando ingresan a ellos durante la mezcla.

En la figura 26-B, se presenta el contenido de aire en el concreto fresco para ambas ladrilleras. Se puede notar que para reemplazos pequeños, el concreto con reemplazo de ladrillo de La Huaca tiene un mayor contenido de aire, posiblemente por la gran capacidad de absorción que posee dicho ladrillo, que absorbe la pasta provocando que el aire dentro de sus partículas salga y se quede atrapado en la mezcla resultando así una mayor cantidad de aire en el concreto; mientras que para 20%, Cerro Mocho es el que tiene mayor contenido de aire y esto se debe a la angulosidad de partículas que tiene el ladrillo triturado de Cerro Mocho que por la dureza (la cual se puede deducir al momento de la trituración del ladrillo) forma partículas más angulosas que el de La Huaca impidiendo el adecuado acomodo y dejando mayor cantidad de espacios vacíos en la mezcla. Otro de los motivos por los cuales hay cierta diferencia en el 20% de reemplazo es debido al uso de agregados porosos en mayor cantidad como es el caso del 20% de ladrillo lo que puede producir inexactitudes en el contenido de aire debido a la disminución en el volumen de aire dentro de las partículas bajo presión.

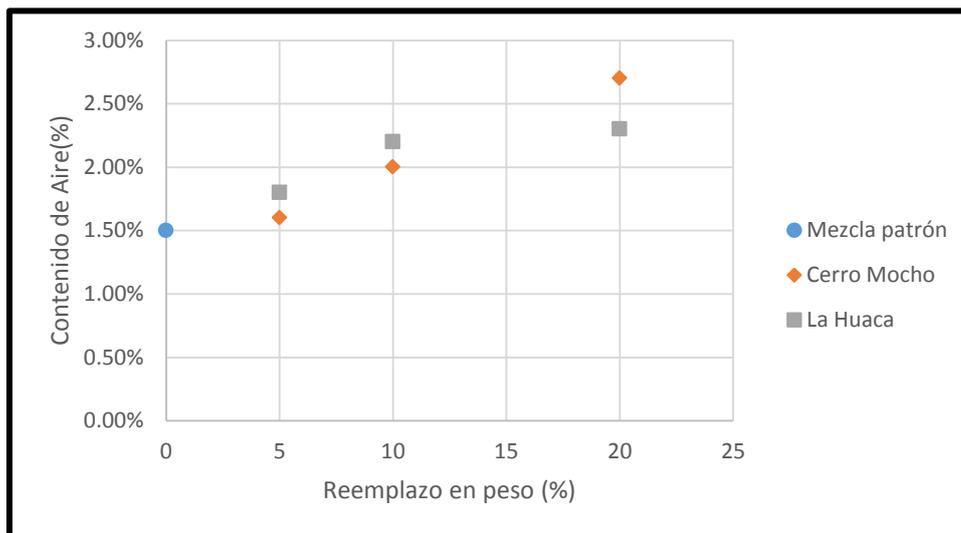


Figura 26-B.- Contenido de aire medido en el concreto fresco.

Fuente: Elaboración propia

4.2. Ensayos de concreto endurecido

4.2.1. Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión de la mezcla patrón ensayada a los 28 días fue en promedio 235 kg/cm^2 . La resistencia es la esperada para la relación a/c de 0.54 y se puede tomar como referencia para poder comparar el comportamiento de las muestras con reemplazos porque se trabajaron en las mismas condiciones de preparación en el laboratorio. En la tabla 15 se muestran los resultados de la resistencia a la compresión de todos los reemplazos tanto para el ladrillo de Cerro Mocho como para el de La Huaca y la variación con respecto a la mezcla patrón.

Tabla 15. Resistencia a la compresión a la edad de 28 días del patrón y de las mezclas con ladrillo para las dos ladrilleras evaluadas.

	%	Resistencia (kg/cm ²)	Incremento respecto al patrón (%)
Mezcla patrón	0	235.35	-
	5	274.37	17
Cerro Mocho	10	327.10	39
	20	297.48	26
	5	298.97	27
La Huaca	10	334.05	42
	20	244.98	4

Fuente: Elaboración propia

Se observa una gran diferencia entre la mezcla patrón y los reemplazos. Todos los reemplazos tienen una resistencia a la compresión mayor que la mezcla patrón, lo que es un indicativo que las propiedades del ladrillo mejoran la calidad del concreto. En la figura 27 se han graficado en diagramas de barra, los datos de este parámetro. Aunque la resistencia a la compresión del concreto aumenta significativamente cuando se incrementa la cantidad de reemplazo de ladrillo en el concreto, hay un mejor comportamiento al acercarse al 10% de reemplazo, independientemente de las características del ladrillo usado. Al parecer, la mayor trabazón generada por la angulosidad del ladrillo mejora el acomodo del agregado en la mezcla, contribuyendo a la mejora en la resistencia. A esto se debe sumar el factor de la absorción, que al ser mayor posiblemente esté contribuyendo a mejorar la adherencia entre el ladrillo y la pasta o quizás en reducir la cantidad de agua libre, la misma que no ocuparía espacio en la matriz del cemento sino que se introduce en los poros de los ladrillos, reduciendo así la porosidad del concreto. Esto se podrá verificar en el ensayo de absorción del concreto.

Por otro lado, las diferencias observadas entre ladrilleras no son significativas. El hecho de ser menor para el ladrillo de Cerro Mocho es por la propiedad de absorción que influye en el comportamiento del concreto, como lo confirma la resistencia que tiene el concreto con el ladrillo de La Huaca por encima del ladrillo de Cerro Mocho. Los poros del ladrillo absorben el agua de la mezcla, disminuyendo así la relación agua - cemento y por lo tanto aumentando la resistencia a la compresión; como se trabajó con el ladrillo sin saturarlo, se generó una mejor conexión entre la pasta de cemento y el ladrillo. Esto explica el incremento de la resistencia respecto al patrón y el ligero incremento del ladrillo de La Huaca respecto al de Cerro Mocho. Dado que la absorción fue mayor para el ladrillo de La Huaca (Ver tabla 7) se puede relacionar el aumento de resistencia a la compresión con la absorción del ladrillo, debido a que mientras mayor absorción tenga el ladrillo más agua extraerá de la pasta de cemento lo que finalmente disminuirá la relación agua cemento y aumentará la resistencia, en éste particular caso se obtuvo que la absorción del ladrillo recocho de La Huaca fue un 7% mayor que la del ladrillo recocho de Cerro Mocho lo que lo lleva a un mejor comportamiento en cuanto a la resistencia a la compresión.

Además de las propiedades anteriormente mencionadas existen más características de los ladrillos que favorecen y mejoran la resistencia del concreto, es el caso de la dureza del ladrillo que ayuda a la resistencia a la compresión; si bien el ladrillo no tiene la dureza (comprobada al momento de triturar el ladrillo y por el aspecto vítreo que tiene debido al exceso de cocción) de un agregado grueso convencional, la dureza que posee permite que la resistencia a la compresión no se vea afectada ni disminuya drásticamente.

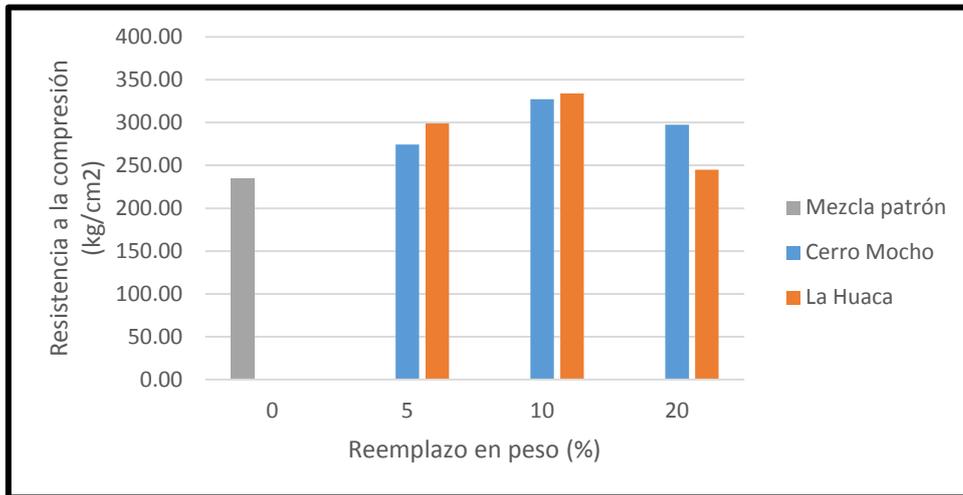


Figura 27.- Resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días respecto al reemplazo de ladrillo recocho en el concreto.

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, cuando esta absorción de agua en la mezcla es excesiva, ya no queda suficiente agua disponible para la reacción del cemento, lo que provoca que la resistencia mecánica disminuya. Esto explica la tendencia a disminuir de la resistencia para reemplazos mayores al 10%. También puede deberse a la mala compactación debido a la dificultad de colocación por el bajo slump que tiene la mezcla. En la figura 28 se puede apreciar las líneas de tendencia de los resultados promedio de la resistencia a la compresión.

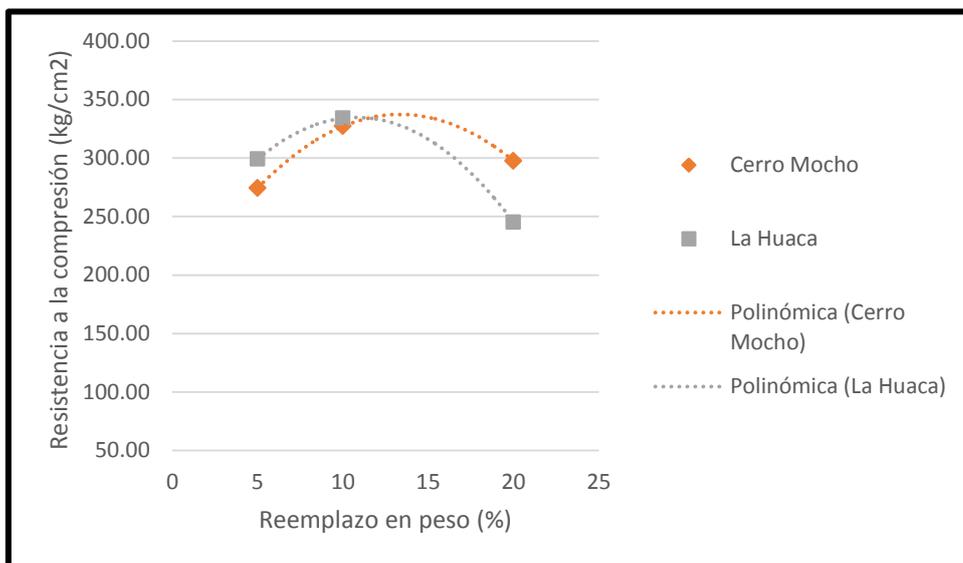


Figura 28.- Resultados resistencia a la compresión Cerro Mocho y La Huaca

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.1. Patrones de falla de la resistencia a la compresión

La forma de falla de las probetas en la resistencia a la compresión puede ser un indicativo del grado de adherencia que tiene el agregado con la pasta; comúnmente las fallas que se presentan en los cilindros a compresión son de cono y de corte. En la figura 16 se muestran los distintos tipos de fallas que presentaron las probetas ensayadas a los 28 días de curado.

Tabla 16.- Patrones de falla de las probetas cilíndricas

CM		LH	
5%			
			
10%			
			
20%			
			

Fuente: Elaboración propia

En todos los reemplazos de ladrillo triturado tanto para el ladrillo de Cerro Mocho como para el ladrillo de la Huaca la forma de falla fue la del corte, la cual es un tipo de rotura muy común en los concretos convencionales. El ladrillo triturado no afecta en la forma de falla del concreto cuando se trata de porcentajes de 5 y 10% pues presenta una falla por desprendimiento de pasta del agregado, sin embargo se nota en la tabla 16 como en el reemplazo de 20% el concreto tiene una falla de corte frágil y eso se observa porque la probeta no presenta deformación alguna antes de fallar y se da de manera súbita, por lo que podemos deducir que un porcentaje elevado de ladrillo triturado afecta la forma de fallar del concreto dado que este agregado se considera muy frágil comparado con el agregado convencional. Por otro lado, la falta de pasta para adherir los agregados cuando se usa un reemplazo del 20% parece tener influencia en la resistencia del concreto.

4.2.2. Resistencia a la tracción o compresión diametral

El ensayo de tracción o compresión diametral se realizó con la finalidad de verificar los niveles de adherencia entre la pasta y el ladrillo así como también de observar la relación que existe entre la resistencia a la compresión y tracción al momento de adicionar los reemplazos de ladrillos triturados. En tabla 17 se muestran los resultados de la resistencia a la tracción a los 28 días de curado. Se puede apreciar que la resistencia a la tracción con reemplazo de ladrillo triturado varía muy poco con respecto a la resistencia a la tracción patrón, se ve que las resistencias que están por debajo del promedio son el 5%, y 10% de reemplazo de ladrillo de Cerro Mocho y el 20% de La Huaca. El mejor comportamiento en cuanto a la resistencia a la tracción fue el 10% del ladrillo de La Huaca mientras que el más alejado del patrón fue el 20% del ladrillo La Huaca similar al comportamiento de la resistencia a la compresión.

Adicionalmente, se observó la relación entre la resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción en el concreto con los reemplazos de ladrillo triturado y cuánto varía entre una ladrillera y otra.

Tabla 17.- Resultados de la resistencia a la tracción a los 28 días de edad del concreto.

	%	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Tracción prom. (kg/cm ²)
Mezcla patrón	0.00	26.88	25.44	23.67	25.33
	5.00	23.02	26.50	26.13	25.22
Cerro mocho	10.00	24.41	26.62	24.92	25.31
	20.00	26.55	27.73	26.56	26.95
	5.00	27.47	27.30	27.00	27.25
La Huaca	10.00	29.70	28.80	27.18	28.56
	20.00	24.89	23.24	25.97	24.70

Fuente: Elaboración propia

Al observar los resultados de la figura 29 vemos como la tendencia de subir en el 10% y luego empezar a descender como lo hizo en los resultados de la resistencia a la compresión no se repiten en este ensayo. La resistencia a la tracción del ladrillo de La Huaca mantiene el mismo comportamiento que la resistencia a la compresión,

es decir sube la resistencia hasta el 10% de reemplazo y posteriormente empieza a descender, caso contrario se da al utilizar el ladrillo de Cerro Mocho, pues como se ve la tendencia es a mejorar conforme aumenta el porcentaje de reemplazo, lo que quiere decir que la resistencia a la tracción de los reemplazos de ladrillo triturado si se ven influenciados por el tipo de ladrillo con el que se trabaja. Como se comentó antes el ladrillo Cerro Mocho tiene una menor absorción que el de La Huaca, lo que podría explicar la mayor adherencia registrada para La Huaca. Sin embargo, al incrementar la cantidad de ladrillo, esta alta absorción produce una falta de pasta de modo que no sólo no garantiza la matriz de cemento sino que no garantiza la adherencia entre ella y los agregados. Eso también explicaría la falla frágil observada para los reemplazos del 20% con el ladrillo de La Huaca.

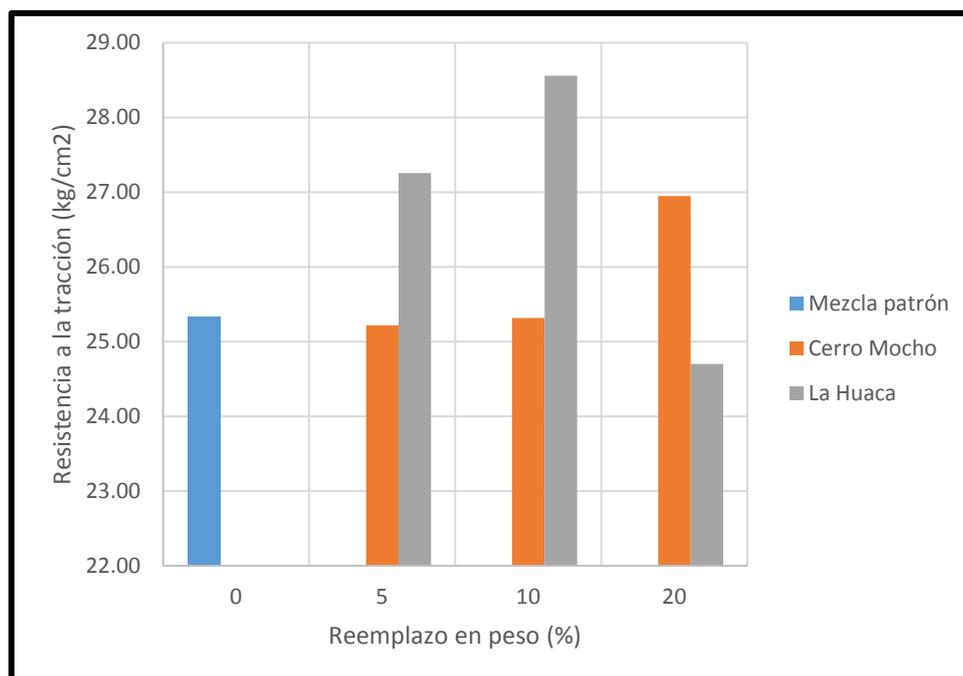


Figura 29.- Resultados resistencia a la tracción

Fuente: Elaboración propia

Si bien en la figura 29 se observa una diferencia gráfica entre cada ladrillera con el patrón, dado la pequeña diferencia entre los resultados se puede concluir que la resistencia a la tracción no se ve afectada por la incorporación de ladrillo en el concreto.

En la tabla 18 se muestra la relación que existe entre la resistencia a la tracción y la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción está dentro de un rango de 8 a 15% (Otazzi, 2004) de la resistencia a la compresión y los resultados de las pruebas con los reemplazos de ladrillo recocho están dentro del rango con excepción del 10% de ladrillo Cerro Mocho y se debe al valor muy alto de la resistencia a la compresión lo que causa un menor valor de la relación f_t/f_c .

Tabla 18.- Relación entre resistencia a la compresión y tracción a los 28 días.

	%	Tracción (kg/cm ²)	Compresión(kg/cm ²)	ft/fc
Mezcla patrón	0.00	25.33	235.35	10.76%
	5.00	25.22	274.37	9.19%
Cerro mocho	10.00	25.31	327.10	7.74%
	20.00	26.95	297.48	9.06%
La Huaca	5.00	27.25	298.97	9.12%
	10.00	28.56	334.05	8.55%
	20.00	24.70	244.98	10.08%

Fuente: Elaboración propia

En la figura 30 se puede apreciar como el reemplazo del 20% de ladrillo de la Huaca ha fallado inicialmente en los lugares donde está el ladrillo, evidenciando la menor resistencia mecánica comparada con los agregados naturales que han reemplazado.



Figura 30.- Rotura del concreto con un 20% de reemplazo de ladrillo La Huaca.

Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Resistencia a la flexión

En la tabla 19 se muestran los resultados del Módulo de Rotura de los ensayos a flexo-tracción y se grafican en la figura 31.

Tabla 19.- Módulo de Rotura del concreto a los 28 días.

	%	MR (kg/cm ²)
Mezcla patrón	0.00	61.65
	5.00	66.20
Cerro mocho	10.00	62.75
	20.00	57.02
La Huaca	5.00	64.82
	10.00	60.43
	20.00	46.14

Fuente: Elaboración propia

El módulo de rotura está relacionado con la capacidad de deformación por flexión del concreto. Nuevamente se observa que disminuye conforme aumenta el porcentaje de reemplazo de ladrillo triturado. Se puede apreciar un ligero incremento respecto al patrón para el 5% de reemplazo, independientemente del tipo de ladrillo usado. Esto indica que la presencia del ladrillo en poca cantidad favorece la resistencia a la flexión, pero al incrementarse, más bien la disminuye. Esto es coherente con los resultados obtenidos en las demás propiedades mecánicas. Como se comentó en el análisis de falla en compresión, se verificó que había una tendencia a ser más frágil cuanto mayor era la presencia de ladrillo en el concreto. Posiblemente la mayor dureza del ladrillo respecto al agregado implica también una menor capacidad de deformación, haciendo que el concreto tenga menos capacidad de rotura en flexo-tracción.

Al comparar ambos ladrillos, se verifica que el grado de cocción del ladrillo puede tener cierta influencia, aunque muy poca, pues como se observa el ladrillo de Cerro Mocho tiene un mejor comportamiento en los diferentes reemplazos en cuanto a la resistencia a la flexión, lo que quiere decir que el exceso de cocción le brinda al ladrillo mejores propiedades lo que permite que este al ser utilizado en el concreto tenga una resistencia mayor.

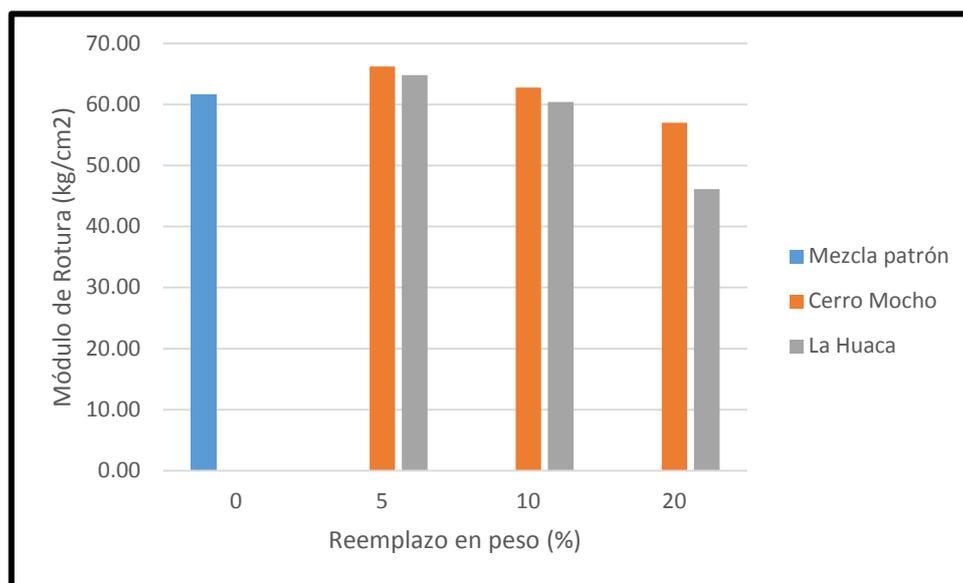


Figura 31.- Resultados de la resistencia a la flexo-tracción del concreto con ladrillo recocho en diversos porcentajes de reemplazo, para las dos ladrilleras estudiadas.

Fuente: Elaboración propia

El módulo de rotura suele variar entre el 10% al 15% de la resistencia a la compresión, una relación aproximada dependiendo del tipo, las dimensiones y el volumen de agregado grueso utilizado. En la tabla 20 se verifica que en este caso, el módulo de rotura es mayor al esperado, por lo cual se considera que los materiales utilizados han favorecido de tal modo que el comportamiento del concreto no ha disminuido radicalmente. Al parecer, la forma angular del ladrillo triturado y su rugosidad superficial benefician la unión con la pasta del cemento siempre y cuando el ladrillo esté presente en pocas cantidades, (Devenney y Khalaf, 1999), con mayores cantidades de reemplazo el concreto sigue la tendencia a disminuir de las demás propiedades del concreto endurecido.

Tabla 20.- Relación de la resistencia a la compresión con el módulo de rotura

	%	Módulo de Rotura (kg/cm ²)	Compresión (kg/cm ²)	fr/fc
Mezcla patrón	0	61.65	235.35	26.19%
Cerro mocho	5	66.20	274.37	24.13%
	10	62.75	327.10	19.18%
	20	57.02	297.48	19.17%
La Huaca	5	64.82	298.97	21.68%
	10	60.43	334.05	18.09%
	20	46.14	244.98	18.83%

Fuente: Elaboración propia

A pesar que dos de los ensayos de concreto con reemplazos de ladrillo obtuvieron una menor resistencia a la flexo-tracción que el patrón, la relación flexión/compresión para el mismo concreto sigue siendo alto (mayor al 10%), lo que indicaría un buen comportamiento ante la flexión.

4.2.4. Imágenes microscópicas del concreto

En la figura 32 se muestran las matrices del concreto usando ambos ladrillos La Huaca y Cerro Mocho respectivamente. Las partículas de ladrillo se diferencian del agregado natural por la coloración rojiza o naranja. Además, un ladrillo más calcinado tiene un tono rojizo más oscuro. Como se puede apreciar el ladrillo de La Huaca contiene mayor cantidad de material de color anaranjado y Cerro Mocho es más oscuros, en algunos casos casi negros. Esto significa que el grado de cocción que presenta el ladrillo de La Huaca es menor que el ladrillo de Cerro Mocho (se observa un color más oscuro similar al agregado de Santa Cruz).



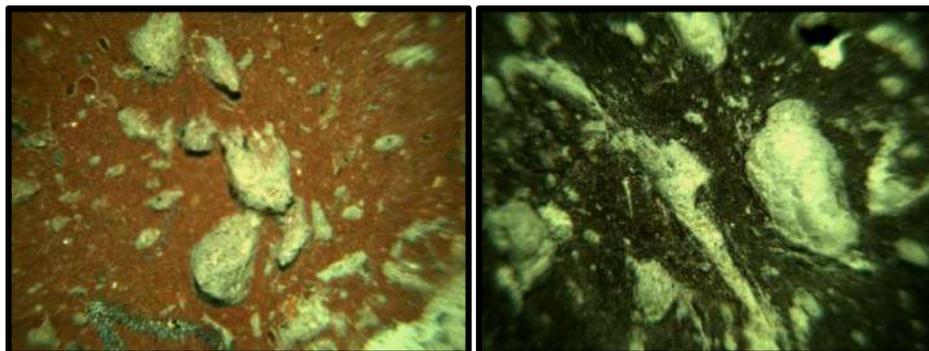
Figura 32.-a) Matriz ladrillo La Huaca b) Matriz ladrillo Cerro Mocho

Fuente: Elaboración propia

También se hicieron observaciones con un microscopio de 0.0x a 0.5x Stemi 2000-c (Figura 33). Se muestra una vista de aumento de las partículas de ladrillo señaladas en las figuras 32a y 32b. Las zonas claras sobre el fondo oscuro son las porciones de pasta dentro de los poros de las partículas de ladrillo. Esto evidencia la penetración de la pasta en los poros de las partículas del ladrillo. Esta penetración se puede interpretar como un engrape mecánico entre la pasta y el ladrillo, provocando

una posible mejora en la adherencia mecánica pasta-ladrillo, lo que a su vez podría contribuir a una mayor resistencia mecánica.

Esto también podría atribuirse a la absorción del ladrillo, lo cual facilita la penetración de la pasta en los poros de los ladrillos, generando un enganche mecánico mayor que con un agregado natural, y como consecuencia, podría explicarse la resistencia a la tracción del concreto, expresada especialmente como adherencia. Esta adherencia influye especialmente en la resistencia a la tracción, más que en la compresión. Allí se pone de manifiesto la adherencia entre los elementos que componen el material.



a) Cerro Mocho

b) La Huaca

Figura 33.- Poros del ladrillo recocho llenos de pasta.

Fuente: Elaboración propia

4.2.5. Absorción del concreto

Como se había mencionado antes, el porcentaje de aire en las mezclas de concreto se incrementa, pero no significativamente. Sin embargo, el bajo peso unitario del concreto puede indicar un incremento alto de volumen, dado que los reemplazos se han realizado en peso. Para explorar la naturaleza de este incremento de volumen se ha medido la absorción en el concreto endurecido. En la tabla 21 se muestran los resultados del ensayo de absorción a los 28 días de curado.

Tabla 21.- Resultados del ensayo de absorción del concreto a los 28 días de curado.

	%	Absorción (%)
Mezcla patrón	0	6.70
	5	7.09
Cerro mocho	10	6.89
	20	7.15
	5	6.25
La Huaca	10	6.57
	20	7.15

Fuente: Elaboración propia

En la figura 34 se puede observar una gran dispersión en los resultados respecto al patrón, pero con poca variación. Esto podría interpretarse como que no hay un incremento de poros en la matriz del concreto sino que quizás se deben al menor peso de las partículas de ladrillo o a los poros que contiene el ladrillo.

También las dificultades en el acomodo de la mezcla en estado fresco pueden haber contribuido a estas variaciones, pero no se puede confirmar una relación directa entre estos factores y la absorción del concreto endurecido.

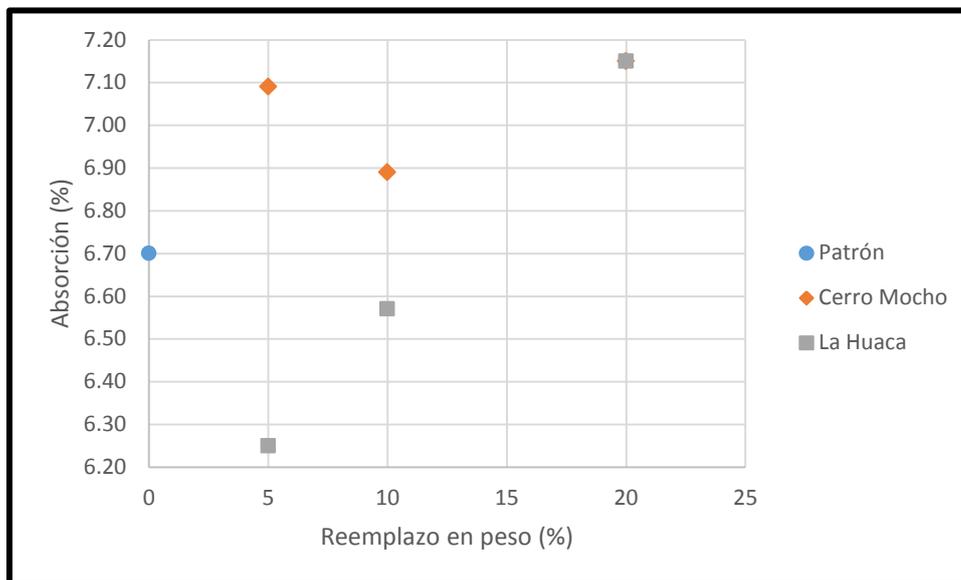


Figura 34.- Absorción del concreto endurecido a 28 días respecto al porcentaje de reemplazo del ladrillo triturado.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados tampoco muestran una relación clara entre la absorción del concreto con la absorción del ladrillo, pues el ladrillo de La Huaca es el que tiene la mayor absorción pero no necesariamente muestra valores altos de absorción del concreto endurecido; similar comportamiento mantiene el ladrillo de Cerro Mocho, el cual no parece tener influencia en la absorción del concreto. Posiblemente porque la absorción de las partículas de ladrillo es “anulada” con la introducción de la pasta de cemento en ellas, que prácticamente sella los poros y disminuye la posibilidad de absorción de las partículas de ladrillo.

Con estos resultados se podría especular que los concretos con ladrillo no tendrían problemas de durabilidad, pero para esto se requeriría hacer más pruebas que permitan llegar a conclusiones definitivas sobre este aspecto.

4.3. Propiedades del concreto fresco vs propiedades del concreto endurecido.

Las propiedades del concreto endurecido se relacionan con las del concreto fresco, pues éstas dan un indicativo de las causas por las que se evidencia un comportamiento a una determinada edad.

En la figura 35 se puede apreciar la relación entre el contenido de aire y la resistencia a la compresión. Como se sabe, el aire atrapado es uno de los factores que puede hacer disminuir la resistencia a la compresión, de allí la necesidad de una buena compactación para extraer la mayor cantidad posible de aire atrapado y esto se puede verificar a través de los ensayos de contenido de aire a la mezcla con reemplazos de ladrillo triturado. El contenido de aire en este caso no influye de manera significativa en la resistencia a la compresión de manera directa. Se puede observar que, mientras mayor es el porcentaje de

reemplazo, mayor es el contenido de aire, lo que es un indicativo del deficiente acomodo de la mezcla como resultado de la disminución en el slump.

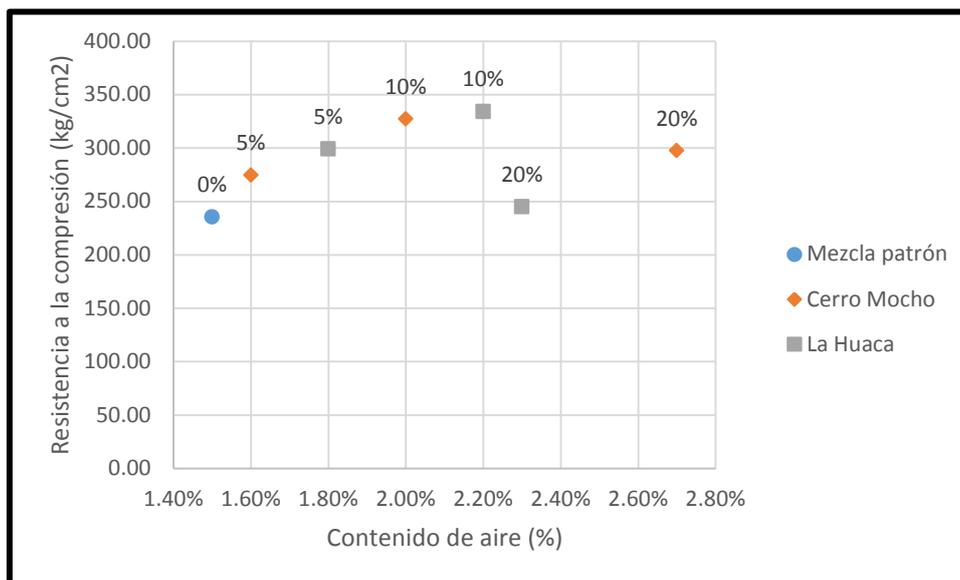


Figura 35.- Resistencia a la compresión vs contenido de aire del concreto con ladrillo recocho en diversos porcentajes de reemplazo, para las dos ladrilleras estudiadas.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 36 se muestra la variación de la resistencia a la compresión con respecto al peso unitario. Se puede observar que los valores más cercanos al peso unitario del concreto patrón son los reemplazos de 5% dado que el ladrillo es un material muy ligero en comparación con el canto rodado de Santa Cruz, el 5% del reemplazo de ladrillo de Cerro Mocho es el resultado más próximo debido a que éste presenta un peso unitario más elevado que el ladrillo de La Huaca (Ver tabla 7). Del gráfico se puede deducir que si bien el peso unitario guarda relación con el comportamiento de la resistencia no es un factor determinante en sus resultados. En este caso la mejor resistencia no pertenece a los reemplazos que tienen menor peso unitario, tampoco a los de mayor peso unitario sino más bien los resultados de mayor resistencia se encuentran dentro del promedio de resultados de peso unitario, por lo que se podría decir que la presencia del ladrillo recocho es uno de los factores que influyen para obtener un concreto relativamente menos denso, pues la variación en el peso está relacionada con el peso de partículas del ladrillo, que es mucho menor que el del agregado natural.

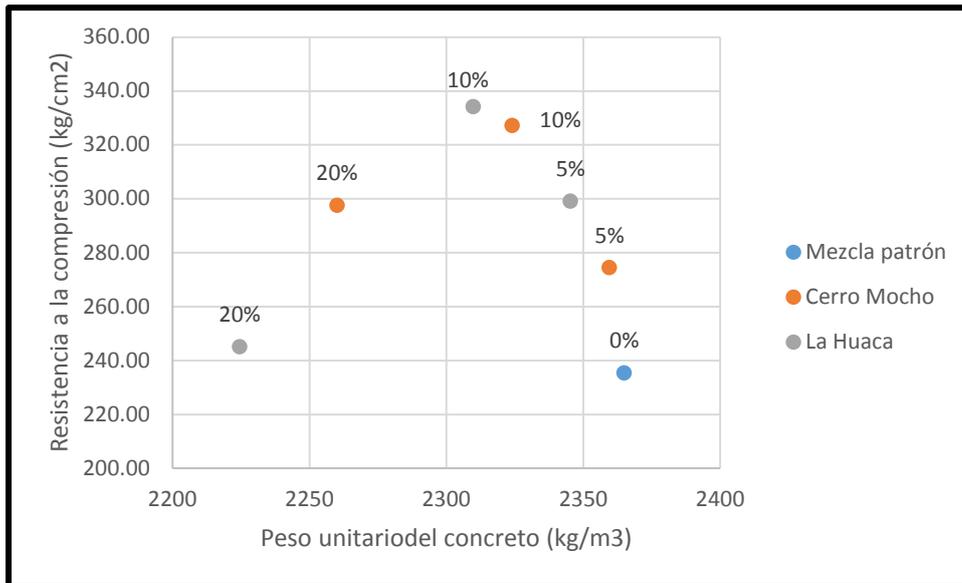


Figura 36.- Resistencia a la compresión vs peso unitario del concreto con ladrillo recocho en diversos porcentajes de reemplazo, para las dos ladrilleras estudiadas.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 37 se hace muestra la variación de la resistencia a la compresión con el slump. Ya se había comentado antes que la incorporación de ladrillo a la mezcla de concreto disminuye radicalmente el slump, y a medida que aumenta la proporción de reemplazo, disminuye el slump hasta reducirlo a 0 cm. En las condiciones del concreto que se ha trabajado se puede observar que la reducción del slump, es una de las causas que lleva a una mejora de la resistencia a la compresión, en este caso particular la resistencia mejora pero sólo hasta un límite de reemplazo del ladrillo, por encima del cual, el slump sigue disminuyendo y afecta negativamente la resistencia. Esto se puede explicar porque, para los valores de reemplazos menores o iguales al 10%, la presencia del ladrillo dificulta la trabajabilidad por la presencia de partículas angulosas que requieren mayor pasta para recubrirse, disminuyendo la pasta disponible para lubricar la movilidad de las partículas del concreto. Al mismo tiempo, la absorción limita aún más la cantidad de pasta disponible como lubricante o su fluidez, lo cual se nota al verificar que el concreto con ladrillo de La Huaca, para la misma cantidad de reemplazo de ladrillo, tiene menor valor de slump. Sin embargo, la consistencia de la pasta y su cantidad en la mezcla siguen siendo suficientes para garantizar una buena consolidación y una resistencia mecánica adecuada.

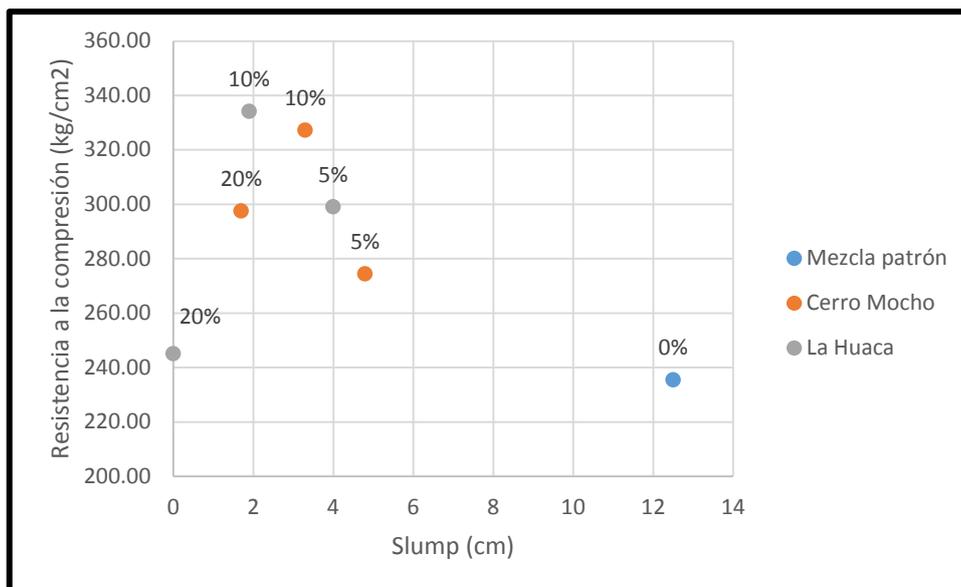


Figura 37.- Resistencia a la compresión vs slump del concreto con ladrillo recocho en diversos porcentajes de reemplazo, para las dos ladrilleras estudiadas.

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, estos concretos tienen valores de resistencia a la compresión también más altos. Esto puede explicarse por la mejor trabazón que se obtiene al contar con partículas angulosas y el efecto de la absorción en la relación a/c de la mezcla. La mayor absorción de las partículas de ladrillo quita en un primer instante agua para la pasta, y luego, durante la mezcla, absorbe pasta, generando la trabazón mecánica por penetración de pasta en los poros del ladrillo.

Por encima del 20% de reemplazo, la resistencia a la compresión disminuye radicalmente respecto a los reemplazos anteriores, siendo mayor esta disminución para la ladrillera La Huaca, aunque siguen siendo mayores que la mezcla patrón. Esto se explica por la absorción de las partículas, pues esta reducción de la resistencia es mayor para la ladrillera La Huaca, que aporta partículas con mayor absorción. Sin embargo, la reducción del agua para la pasta se hace mayor, dejando al concreto sin la mínima cantidad de agua para garantizar la reacción de hidratación. También, esta absorción durante la mezcla reduce mucho la cantidad de pasta disponible para la movilidad de las partículas en la mezcla que conlleva a una dificultad en el acomodo, reduciendo la resistencia a la compresión. Además, la presencia de partículas angulosas exige mayor cantidad de pasta, que, sumado a la reducción de la pasta disponible como lubricante, ya no es posible facilitar el buen acomodo de la mezcla. Esto explica la pérdida drástica de resistencia a la compresión para reemplazos del 20%.

Conclusiones

1. El peso unitario del concreto con reemplazos en peso de agregado grueso por ladrillo triturado tiende a disminuir conforme aumenta el reemplazo de ladrillo triturado; independientemente del tipo de ladrillo que se utilice. Esto se debe a la gran diferencia de gravedades específicas que posee el ladrillo respecto al agregado grueso de Santa Cruz, el ladrillo de La Huaca cuenta con un gravedad específica de 1.33, el ladrillo de Cerro Mocho con 1.59 y la grava cuenta con 2.72; lo que indica que el ladrillo de La Huaca es un material más poroso y debido a su angulosidad, el acomodo de partículas influye provocando un mayor volumen similar al ladrillo de Cerro Mocho pero muy distante de la grava, que es un material más compacto y que se acomoda fácilmente ocupando un volumen menor.
2. El contenido de aire se ve afectado por el reemplazo de ladrillo triturado, aumenta mientras más ladrillo triturado contenga la mezcla, la porosidad del ladrillo es un factor que afecta al contenido de aire, el aire contenido en los poros del ladrillo sale y da espacio a que la pasta entre quedando el aire contenido en la mezcla.
3. El reemplazo de ladrillo triturado en el concreto tiende a aumentar la resistencia a la compresión en todos sus reemplazos para ambos tipos de ladrillos debido a la disminución de la relación a/c. La resistencia a la compresión aumenta hasta llegar a un óptimo en el 10% de reemplazo y luego empieza a disminuir. El mejor comportamiento es para el ladrillo de La Huaca, el cual se debe a la gran adherencia entre la pasta y el ladrillo provocado por una mayor capacidad de absorción que aumenta la resistencia, para el 20% de reemplazo en el ladrillo la Huaca el comportamiento es más desfavorable con respecto a las demás muestras. Sin embargo sigue siendo una mejor resistencia a la compresión que la mezcla patrón.
4. La relación entre la resistencia a la tracción y la resistencia a la compresión no se ve afectada por el reemplazo de ladrillo triturado de ninguna ladrillera. Un mayor grado de cocción define un mejor comportamiento en cuanto a la resistencia a la tracción, el cual resulta mejor para el ladrillo de Cerro Mocho.
5. En caso del Módulo de Rotura el ladrillo afecta a los reemplazos mayores a 10%, dado que se da una disminución en los resultados de ambas ladrilleras, sin embargo para el 5% se observa un comportamiento estable incluso un poco mejor siendo el ladrillo de Cerro Mocho el que presenta el mejor comportamiento entre ambos.

6. Los resultados del ensayo de absorción del concreto revelan que no hay incremento significativo con respecto a la mezcla patrón, lo que indica que no hay incremento en los espacios vacíos en el concreto sino posiblemente por los poros que contiene el ladrillo, que no influye en las propiedades del concreto.
7. El porcentaje óptimo de reemplazo es el que logra el mejor comportamiento del concreto en estado fresco como endurecido para determinadas características. A pesar de tener diferentes pesos unitarios, diferente cantidad de pasta por m³ y diferente relación a/c para la presente investigación, de acuerdo a las características que posee el ladrillo triturado, la trabajabilidad, la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción y la resistencia a la flexión tienen un mejor comportamiento con un reemplazo de 10% independientemente del tipo de ladrillo que se utilice. Con dicho porcentaje las propiedades del concreto se consideran aceptables con respecto a la mezcla patrón.
8. Existe una gran diferencia en el comportamiento del concreto cuando se cambia el tipo de ladrillo debido fundamentalmente a dos características: la dureza y la absorción. Estas son clave para que el concreto se comporte de una manera diferente afectando a las propiedades como son la trabajabilidad, el peso unitario, la resistencia a la compresión, a la tracción y a la flexión. Propiedades como el contenido de aire y la absorción del concreto no tienen una diferencia significativa cuando se cambia el tipo de ladrillo.

Recomendaciones

- Se sugiere evaluar nuevas condiciones para mejorar la trabajabilidad de la mezcla de concreto con reemplazos de ladrillo triturado, como la incorporación de un aditivo plastificante que le permita a la mezcla alcanzar la trabajabilidad adecuada para que sea manejable al momento de su colocación para valores de reemplazo mayores al 20%.

Bibliografía

- ASTM C642 -2013 Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete.
- ASTM C231 / C231M -2014 Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method.
- ASTM C496 / C496M -2011 Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- INDECOPI (1999).NTP 400.017 – AGREGADOS: Método normalizado para determinar el peso unitario del agregado.
- INDECOPI (2001). NTP 334.001 – CEMENTOS: Definición y nomenclatura.
- INDECOPI (2001). NTP 400.012 – AGREGADOS: Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.
- INDECOPI (2002). NTP 400.021 – AGREGADOS: Método de ensayo para la determinación del peso específico y la absorción del agregado grueso.
- INDECOPI (2002) 400.022 – AGREGADOS: Método de ensayo para determinar el peso específico y absorción del agregado fino.
- INDECOPI (2002). NTP 339.185 – AGREGADOS: Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.
- INDECOPI (1999). NTP 339.035 – CONCRETO: Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de Cemento Portland
- INDECOPI (2008). NTP 339.046– CONCRETO: Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto.
- INDECOPI (2007). NTP 339.214 – CONCRETO: Método de ensayo normalizado para resistencias a la compresión en cilindros de concreto elaborados en el lugar en moldes cilíndricos.

- INDECOPI (2008). NTP 400.011 – AGREGADOS: Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos.
- Cachim, P. B. (2009). Mechanical properties of brick aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 23(3), 1292-1297.
- Debieb, F., & Kenai, S. (2008). The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete. *Construction and building materials*, 22(5), 886-893.
- Yang, J., Du, Q., & Bao, Y. (2011). Concrete with recycled concrete aggregate and crushed clay bricks. *Construction and Building Materials*, 25(4), 1935-1945.
- Kalak, F. S. (2009). Use of crushed bricks as coarse aggregate in concrete. *Tikrit Journal of Engineering Science (TJES)*, 16(3), 64-69.
- Devenny, A., & Khalaf, F. M. (1999). Use of crushed brick as coarse aggregate in concrete. *Masonry International*, 12(3), 81-84.
- Rojas, Á. V. P. (2012). Uso de triturado de ladrillo reciclado como agregado grueso en la elaboración de concreto. *Ingenium Revista de la facultad de ingeniería*, 13(26), 116-125. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- De Fluidez, C. CIP 16-Resistencia a la flexión del concreto.
- Rivera, G. (2010). *Concreto Simple*. Universidad del Cauca, 121-153.
- Soriano, C. (2010). *Diagnóstico Nacional del Sector Ladrillero Artesanal (Piura)*.
- Martínez-Barrera, G., Hernández-Zaragoza, J. B., López-Lara, T., & Menchaca-Campos, C. (2015). *Materiales Sustentables y Reciclados en la Construcción*. OmniaScience Monographs.
- Cuadrado-Rica, H., Sebaibi, N., Boutouil, M., & Boudart, B. (2016). Properties of ordinary concretes incorporating crushed queen scallop shells. *Materials and Structures*, 49(5), 1805-1816.
- Rosas, H. (2017). “Uso de ladrillo de arcilla con exceso de cocción como agregado grueso en concretos hidráulicos”. Tesis en ejecución. Universidad de Piura.
- Gallegos, H., & Ramos, Á. F. S. B. (1986). *Albañilería estructural*. PUCP. Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- San Bartolomé Ramos, Á. F. (1994). *Construcciones de albañilería: comportamiento sísmico y diseño estructural*.
- León, M. P., & Ramírez, F. (2010). Caracterización morfológica de agregados para concreto mediante el análisis de imágenes. *Revista ingeniería de construcción*, 25(2), 215-240.
- Mindess, S., Young, J. F., & Darwin, D. (2003). *Concrete*. Prentice Hall.

Anexos

Anexo A
Curvas granulométricas de los agregados.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO, GRUESO Y GLOBAL

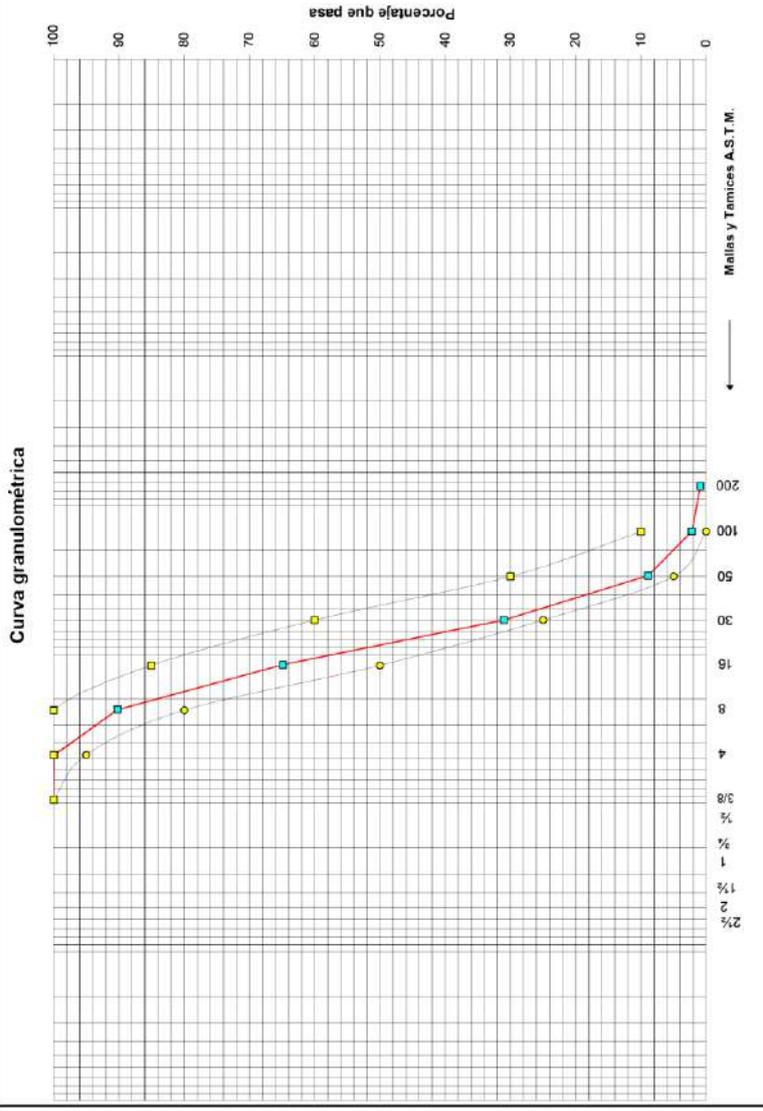
Norma: NTP 400.012 2013

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante : KIMBERLY MASÍAS MOGOLLÓN Ubicación : Piura Muestreo realizado por: El solicitante
 Obra : RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y TRACCIÓN EN EL CONCRETO USANDO LADRILLO TRITURADO COMO AGREGADO GRUESO
 Procedencia : Agregado fino procedente de cantera Chulucanas.

Fecha de ensayo : 28/11/2018
 Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.

Abertura mm	Tamiz ASTM	Contenido (g)	Retenido parcial %	Retenido total %	Pasa %
62.7	2 1/2 "				
50.8	2 "				
38.1	1 1/2 "				
24.4	1 "				
19.1	3/4 "				
12.7	1/2 "				
9.5	3/8 "	0.00	0.00	0.00	100
4.76	4	0.50	0.11	0.11	100
2.38	8	43.60	9.71	9.82	90
1.19	16	113.60	25.30	35.12	65
0.59	30	152.40	33.94	69.05	31
0.297	50	99.00	22.05	91.10	9
0.149	100	30.10	6.70	97.80	2
0.074	200	5.90	1.31	99.11	1
	Fondo	1.00	0.22		
	Total	446.10			
	Peso inicial	449.08			
	Pérdida	2.98			



Descripción de la muestra: Agregado fino, procedente cantera Chulucanas. Módulo de finura 3.03
 Huso trazado: NTP 400.037-2002, tabla N°2

EL LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. EL LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO, GRUESO Y GLOBAL

Norma: NTP 400.012 2013

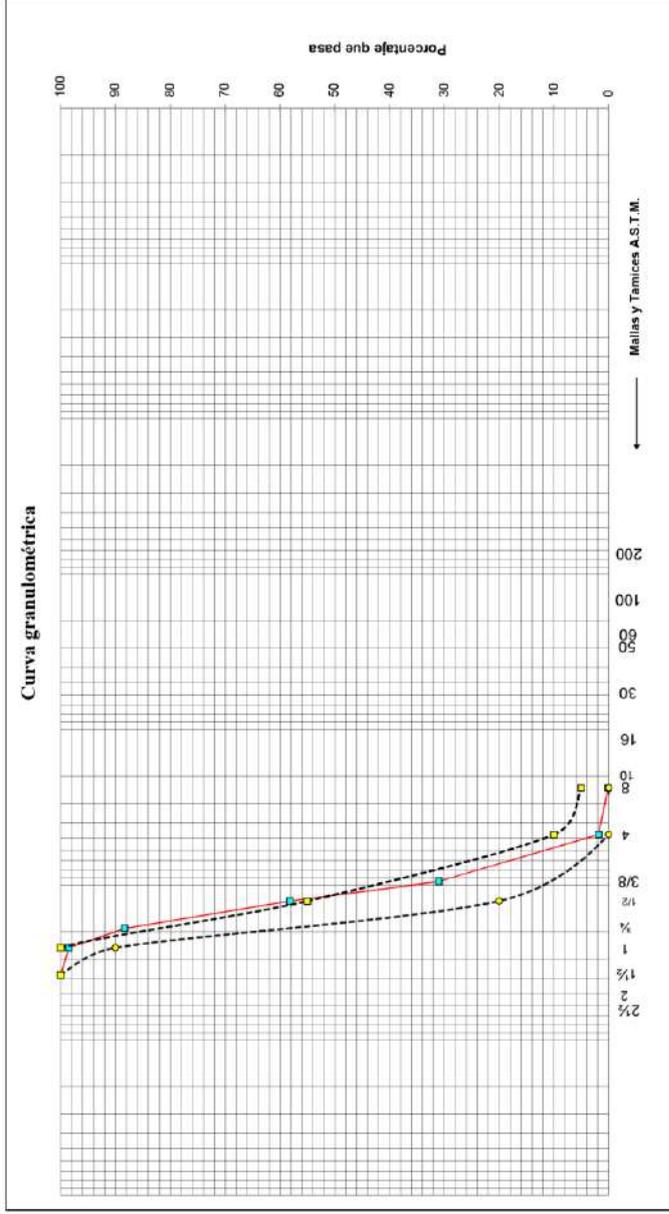
EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante : KIMBERLY MASIAS MOGOLLÓN **Ubicación** : Piura
Obra : RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y TRACCIÓN EN EL CONCRETO USANDO LADRILLO TRITURADO COMO AGREGADO GRUESO **Muestreo realizado por** : El solicitante
Procedencia : Agregado grueso de cantera Santa Cruz

Fecha de ensayo : 30/11/2016

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.

Abertura (mm)	Tamiz ASTM	Contenido (g)	Retenido parcial %	Retenido total %	Pasa %
63.50	2 1/2"				
50.8	2"				
38.1	1 1/2"	0.0	0.00	0.00	100
25.4	1"	212.0	1.50	1.50	99
19.1	3/4"	1440.0	10.19	11.69	88
12.7	1/2"	4287.0	30.18	41.87	58
9.53	3/8"	3837.0	27.14	69.01	31
4.76	4	4120.0	29.14	98.15	2
2.38	8	249.6	1.77	99.92	0
1.19	16				
0.59	30				
0.297	50				
0.149	100				
0.074	200				
	Fondo	9.6			
	Total	14135.2			
	Peso inicial	14137.0			
	Pérdida	1.8			



Descripción de la muestra: Agregado grueso de tamaño máximo nominal 1" (25,4 mm)
Huso granulométrico trazado: N°57 NTP 400.037 - 2002

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO, GRUESO Y GLOBAL

Norma: NTP 400.012 2013

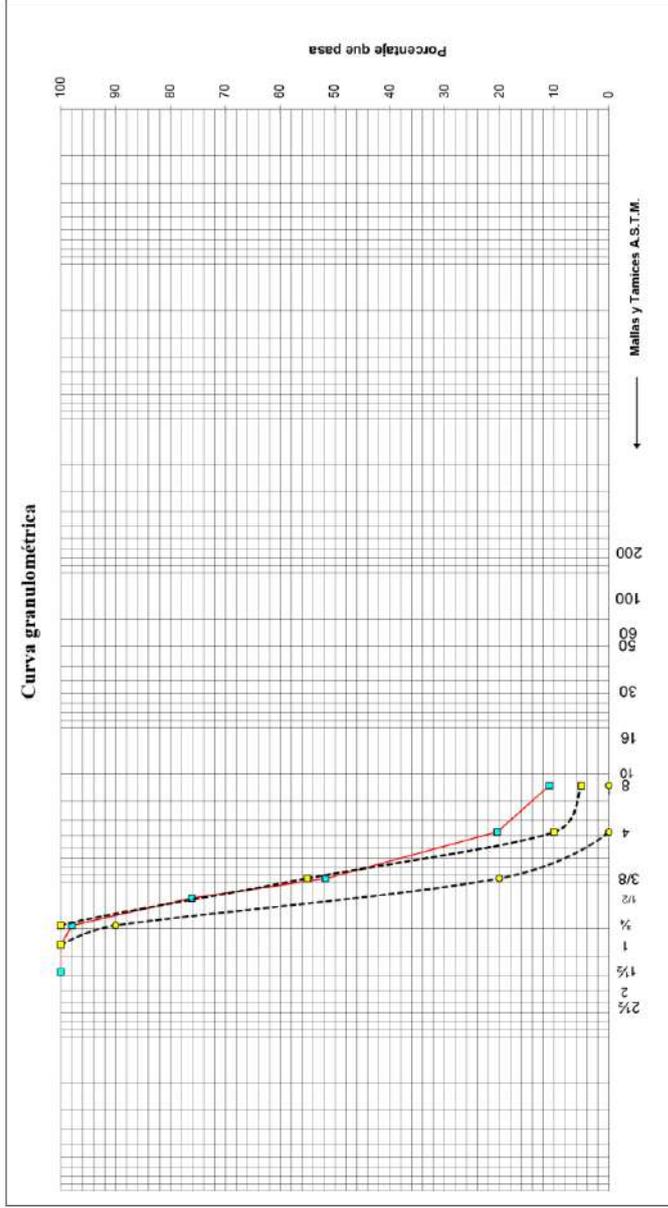
EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante : KIMBERLY MASIAS MOGOLLÓN **Ubicación** : Piura **Muestreo realizado por** : El solicitante
Obra : RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y TRACCIÓN EN EL CONCRETO USANDO LADRILLO TRITURADO COMO AGREGADO GRUESO
Procedencia : Ladrillo triturado Cerro Mochto

Fecha de ensayo : 06/12/2016

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.

Abertura (mm)	Tamiz ASTM	Contenido (g)	Retenido parcial %	Retenido total %	Pasa %
63.50	2 1/2"				
50.8	2"				
38.1	1 1/2"	0.0	0.00	0.00	100
25.4	1"	0.0	0.00	0.00	100
19.1	3/4"	114.0	2.04	2.04	98
12.7	1/2"	1220.0	21.79	23.82	76
9.53	3/8"	1373.0	24.52	48.34	52
4.76	4	1749.0	31.23	79.57	20
2.38	8	536.0	9.57	89.14	11
1.19	16				
0.59	30				
0.297	50				
0.149	100				
0.074	200				
	Fondo	586.0			
	Total	5581.0			
	Peso inicial	5600.0			
	Pérdida	19.0			



Descripción de la muestra: Agregado grueso de tamaño máximo nominal 3/4" (19.05 mm)
 Huso granulométrico trazado: N°67 NTP 400.037 - 2002

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP, esta exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO, GRUESO Y GLOBAL

Norma: NTP 400.012 2013

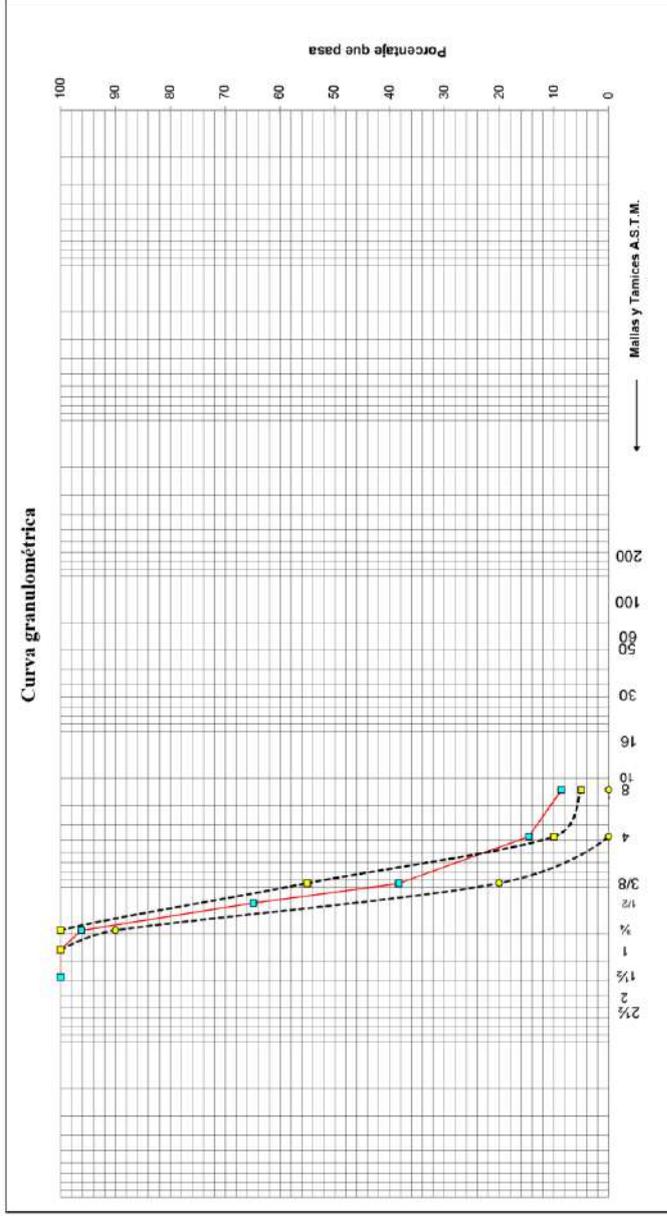
EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante : KIMBERLY MASIAS MOGOLLÓN Ubicación : Piura Muestreo realizado por : El solicitante
 Obra : RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y TRACCIÓN EN EL CONCRETO USANDO LADRILLO TRITURADO COMO AGREGADO GRUESO
 Procedencia : Ladrillo triturado La Huaca

Fecha de ensayo : 07/12/2016

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.

Abertura (mm)	Tamiz ASTM	Contenido (g)	Retenido parcial %	Retenido total %	Pasa %
63.50	2 1/2"				
50.8	2"				
38.1	1 1/2"	0.0	0.00	0.00	100
25.4	1"	0.0	0.00	0.00	100
19.1	3/4"	393.0	3.79	3.79	96
12.7	1/2"	3246.0	31.32	35.11	65
9.53	3/8"	2761.0	26.64	61.75	38
4.76	4	2451.0	23.65	85.40	15
2.38	8	619.1	5.97	91.37	9
1.19	16				
0.59	30				
0.297	50				
0.149	100				
0.074	200				
	Fondo	874.7			
	Total	10344.8			
	Peso inicial	10364.0			
	Pérdida	19.2			



Descripción de la muestra: Agregado grueso de tamaño máximo nominal 3/4" (19,05 mm)
 Huso granulométrico trazado: N°67 NTP 400.037 - 2002

EL LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

Anexo B

Tabla resumen de resultados de concreto fresco y endurecido

	% REEMPLAZO	SLUMP	PESO UNITARIO	CONTENIDO DE AIRE	COMPRESIÓN	TRACCIÓN	FLEXIÓN	ABSORCIÓN
MEZCLA PATRÓN	0	12.5	2365	1.50%	235.35	25.33	61.65	6.70
CERRO MOCHO	5	4.8	2360	1.60%	274.37	25.22	66.20	7.09
	10	3.3	2324	2.00%	327.10	25.31	62.75	6.89
	20	1.7	2260	2.70%	297.48	26.95	57.02	7.15
LA HUACA	5	4.0	2345	1.80%	298.97	27.25	64.82	6.25
	10	1.9	2310	2.20%	334.05	28.56	60.43	6.57
	20	0.0	2225	2.30%	244.98	24.70	46.14	7.15

Anexo C
Resultados en el concreto endurecido



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA TRACCIÓN DE
MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO

Orden de servicio N° : 19855 Informe N° : 170596
Fecha de recepción : 06/02/2017
Fecha de ensayo : 06/02/2017
Fecha de emisión : 24/03/2017

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: KIMBERLY ALISSON MASÍAS MOGOLLÓN
Obra	: Tesis "Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso".
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia especificada	: _
Fecha de moldeo	: 09/01/2017

RESULTADOS:

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (cm)	Carga máxima (kg)	Longitud (cm.)	Resistencia a la tracción (kg/cm ²)
C.M	09/01/17	06/02/17	28	15.2	16489	30	23.02
C.M	09/01/17	06/02/17	28	15.2	18979	30	26.50
C.M	09/01/17	06/02/17	28	15.2	18717	30	26.13

Realizó el ensayo : Téc. Estiwar Campos E.
Presenció el ensayo : --


Shirley Carrillo
Ingeniero Civil
CIP 100168
Responsable

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA TRACCIÓN DE
MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO

Orden de servicio N° : 19855 Informe N° : 170597
Fecha de recepción : 06/02/2017
Fecha de ensayo : 06/02/2017
Fecha de emisión : 24/03/2017

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: KIMBERLY ALISSON MASÍAS MOGOLLÓN
Obra	: Tesis "Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso".
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia especificada	: _
Fecha de moldeo	: 09/01/2017

RESULTADOS:

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (cm)	Carga máxima (kg)	Longitud (cm.)	Resistencia a la tracción (kg/cm ²)
L.H	09/01/17	06/02/17	28	15.2	19673	30	27.47
L.H	09/01/17	06/02/17	28	15.2	19852	30	27.72
L.H	09/01/17	06/02/17	28	15.2	19341	30	27.00

Realizó el ensayo : Téc. Estiwar Campos E.
Presenció el ensayo : _


Shirley Carrillo L.M.C.
Ingeniero Civil
CIP 73468
Responsable

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE
MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO
Norma: NTP 339.034 1999

Orden de servicio N° : 19855 Informe N° : 170598
Fecha de recepción : 06/02/2017
Fecha de ensayo : 06/02/2017
Fecha de emisión : 24/03/2017

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante : KIMBERLY ALISSON MASIAS MOGOLLÓN
Obra : Tesis "Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso".
Ubicación : Piura
Muestreo realizado por : El solicitante
Resistencia especificada : _
Fecha de moldeo : 09/01/2016

RESULTADOS:

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia de rotura (kg/cm ²)	Resistencia especificada (kg/cm ²)
L.H	09/01/17	06/02/17	28	15.2	49670	274	-
L.H	09/01/17	06/02/17	28	15.2	55048	303	-
L.H	09/01/17	06/02/17	28	15.2	58035	320	-

Observaciones:

La resistencia de rotura sólo refleja la resistencia individual a compresión de la probeta ensayada.
Los cuidados previos de los especímenes hasta la edad de ensayo, han sido hechos por: El solicitante.
Han sido recepcionados, pertenecientes a la misma orden de servicio : 06 Especímenes
La identificación de los especímenes ha sido definida por el solicitante.

Realizó el ensayo : Téc. Estívar Campos E.
Presenció el ensayo : ---

Shirley Camillo S.
Ingeniero Civil
CIP 140068
Responsable

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE
MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO
Norma: NTP 339.034 1999

Orden de servicio N° : 19855 Informe N° : 170599
Fecha de recepción : 06/02/2017
Fecha de ensayo : 06/02/2017
Fecha de emisión : 24/03/2017

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: KIMBERLY ALISSON MASÍAS MOGOLLÓN
Obra	: Tesis "Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso".
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia especificada	: -
Fecha de moldeo	: 09/01/2016

RESULTADOS:

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia de rotura (kg/cm ²)	Resistencia especificada (kg/cm ²)
C.M	09/01/17	06/02/17	28	15.2	51017	281	-
C.M	09/01/17	06/02/17	28	15.2	48363	267	-
C.M	09/01/17	06/02/17	28	15.2	49980	275	-

Observaciones:

La resistencia de rotura sólo refleja la resistencia individual a compresión de la probeta ensayada.
Los cuidados previos de los especímenes hasta la edad de ensayo, han sido hechos por: El solicitante.
Han sido recepcionados, pertenecientes a la misma orden de servicio : 06 Especímenes
La identificación de los especímenes ha sido definida por el solicitante.

Realizó el ensayo : Téc. Estiwar Campos E.
Presenció el ensayo : ---

Shirley Castro
Ingeniero Civil
CIP 1168
Responsable
UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN
EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGA EN EL CENTRO DEL TRAMO
Norma: NTP 339.079-2001

Orden de servicio N° : 19855 Informe N° : 170600
Fecha de recepción : 06/02/2017
Fecha de ensayo : 06/02/2017
Fecha de emisión : 24/03/2017

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: KIMBERLY ALISSON MASÍAS MOGOLLÓN
Obra	: Tesis "Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso".
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Muestra	: Prisma de concreto de 50cm.x15,0cm.x15cm.
Fecha de moldeo	: 12/12/2016

RESULTADOS:

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	L (cm)	b(cm)	h(cm)	P (kg)	Mr (kg/cm ²)
Viga C.M 5%	09/01/17	06/02/17	28	45	15	15	3631	72.62
Viga C.M 5%	09/01/17	06/02/17	28	45	15	15	3230	64.60
Viga C.M 5%	09/01/17	06/02/17	28	45	15	15	3068	61.37

$$Mr=3PL/2bh^2$$

En donde:

Mr: Es el módulo de rotura, en kg/cm²
P: Es la carga máxima de rotura en kg
L: Es la luz libre entre apoyos, cm.
b: Es el ancho promedio de la viga en la sección de falla, en cm.
h: Es la altura promedio de la viga en la sección de falla, en cm.

Realizó el ensayo : Téc. Estiwar Campos E.
Presenció el ensayo : —

Shirley Carrillo S.
Ingeniero Civil
CIP 74600
Responsable

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

**METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN
EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGA EN EL CENTRO DEL TRAMO**
Norma: NTP 339.079-2001

Orden de servicio N° : 19855 Informe N° : 170601
Fecha de recepción : 06/02/2017
Fecha de ensayo : 06/02/2017
Fecha de emisión : 24/03/2017

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: KIMBERLY ALISSON MASIAS MOGOLLÓN
Obra	: Tesis "Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso".
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Muestra	: Prisma de concreto de 50cm.x15,0cm.x15cm.
Fecha de moldeo	: 12/12/2016

RESULTADOS:

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	L (cm)	b(cm)	h(cm)	P (kg)	Mr (kg/cm ²)
Viga L.H 5%	09/01/17	06/02/17	28	45	15	15	3194	63.88
Viga L.H 5%	09/01/17	06/02/17	28	45	15	15	3364	67.27
Viga L.H 5%	09/01/17	06/02/17	28	45	15	15	3165	63.31

$Mr=3PL/2bh^2$

En donde:

Mr: Es el módulo de rotura, en kg/cm²

P: Es la carga máxima de rotura en kg

L: Es la luz libre entre apoyos, cm.

b: Es el ancho promedio de la viga en la sección de falla, en cm.

h: Es la altura promedio de la viga en la sección de falla, en cm.

Realizó el ensayo : Téc. Estiwar Campos E.
Presenció el ensayo : ---

Shirley Carrillo S.
Ingeniero Civil
CIP 109168
Responsable

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE
MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO
Norma: NTP 339.034 1999

Orden de servicio N° : 19807 Informe N° : 170223
Fecha de recepción : 09/01/2017
Fecha de ensayo : 09/01/2017
Fecha de emisión : 06/02/2017

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: KIMBERLY ALISSON MASÍAS MOGOLLÓN
Obra	: Tesis "Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso".
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia especificada	: _
Fecha de moldeo	: 12/12/2016

RESULTADOS:

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia de rotura (kg/cm ²)	Resistencia especificada (kg/cm ²)
Patrón	12/12/16	09/01/17	28	15.2	39734	219	-
Patrón	12/12/16	09/01/17	28	15.2	43543	240	-
Patrón	12/12/16	09/01/17	28	15.2	44843	247	-

Observaciones:

La resistencia de rotura sólo refleja la resistencia individual a compresión de la probeta ensayada.
Los cuidados previos de los especímenes hasta la edad de ensayo, han sido hechos por: El solicitante.
Han sido recepcionados, pertenecientes a la misma orden de servicio : 15 Especímenes
La identificación de los especímenes ha sido definida por el solicitante.

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : --

UNIVERSIDAD DE PIURA
Shirley Cárdenas C.
Ingeniero Civil
CIP 001168
Responsable del Laboratorio de Materiales de Construcción

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA TRACCIÓN DE
MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO

Orden de servicio N° : 19807 Informe N° : 170224
Fecha de recepción : 09/01/2017
Fecha de ensayo : 09/01/2017
Fecha de emisión : 06/02/2017

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: KIMBERLY ALISSON MASÍAS MOGOLLÓN
Obra	: Tesis "Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso".
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia especificada	: -
Fecha de moldeo	: 12/12/2016

RESULTADOS:

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (cm)	Carga máxima (kg)	Longitud (cm.)	Resistencia a la tracción (kg/cm ²)
Patrón	12/12/16	09/01/17	28	15.2	19257	30	26.88
Patrón	12/12/16	09/01/17	28	15.2	18221	30	25.44
Patrón	12/12/16	09/01/17	28	15.2	16952	30	23.67

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ---


Shirley Carrillo S.
Ingeniero Civil
CIP 75109
Responsable

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

**METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN
EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGA EN EL CENTRO DEL TRAMO**
Norma: NTP 339.079-2001

Orden de servicio N° : 19807 Informe N° : 170225
Fecha de recepción : 09/01/2017
Fecha de ensayo : 09/01/2017
Fecha de emisión : 06/02/2017

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: KIMBERLY ALISSON MASÍAS MOGOLLÓN
Obra	: Tesis "Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso".
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Muestra	: Prisma de concreto de 50cm.x15,0cm.x15cm.
Fecha de moldeo	: 12/12/2016

RESULTADOS:

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	L (cm)	b(cm)	h(cm)	P (kg)	Mr (kg/cm ²)
Patrón	12/12/16	09/01/17	28	45	15	15	3271	65.42
Patrón	12/12/16	09/01/17	28	45	15	15	3182	63.63
Patrón	12/12/16	09/01/17	28	45	15	15	2795	55.89

$Mr=3PL/2bh^2$

En donde:

Mr: Es el módulo de rotura, en kg/cm²
P: Es la carga máxima de rotura en kg
L: Es la luz libre entre apoyos, cm.
b: Es el ancho promedio de la viga en la sección de falla, en cm.
h: Es la altura promedio de la viga en la sección de falla, en cm.

-+*

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ---


Shirley Carulla S.M.C.
Ingeniero Civil
CIP 13468
Responsable del Laboratorio de Materiales de Construcción

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE
MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO
Norma: NTP 339.034 1999

Orden de servicio N° : 19807 Informe N° : 170226
Fecha de recepción : 10/01/2017
Fecha de ensayo : 10/01/2017
Fecha de emisión : 06/02/2017

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: KIMBERLY ALISSON MASÍAS MOGOLLÓN
Obra	: Tesis "Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso".
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia especificada	: -
Fecha de moldeo	: 13/12/2016

RESULTADOS:

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia de rotura (kg/cm ²)	Resistencia especificada (kg/cm ²)
Reemplazo 10% ladrillo La Huaca	13/12/16	10/01/17	28	15.2	60055	331	-
Reemplazo 10% ladrillo La Huaca	13/12/16	10/01/17	28	15.2	61819	341	-
Reemplazo 10% ladrillo La Huaca	13/12/16	10/01/17	28	15.2	59974	331	-

Observaciones:

La resistencia de rotura sólo refleja la resistencia individual a compresión de la probeta ensayada.
Los cuidados previos de los especímenes hasta la edad de ensayo, han sido hechos por: El solicitante.
Han sido recepcionados, pertenecientes a la misma orden de servicio : 15 Especímenes
La identificación de los especímenes ha sido definida por el solicitante.

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ---

Shirley Carrillo S.M.C.
Ingeniero Civil
CIP 731688
Responsable

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA TRACCIÓN DE
MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO

Orden de servicio N° : 19807 Informe N°: 170227
Fecha de recepción : 09/01/2017
Fecha de ensayo : 09/01/2017
Fecha de emisión : 06/02/2017

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: KIMBERLY ALISSON MASÍAS MOGOLLÓN
Obra	: Tesis "Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso".
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia especificada	: -
Fecha de moldeo	: 13/12/2016

RESULTADOS:

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (cm)	Carga máxima (kg)	Longitud (cm.)	Resistencia a la tracción (kg/cm ²)
Reemplazo 10% ladrillo La Huaca	13/12/16	10/01/17	28	15.2	21276	30	29.7
Reemplazo 10% ladrillo La Huaca	13/12/16	10/01/17	28	15.2	20626	30	28.8
Reemplazo 10% ladrillo La Huaca	13/12/16	10/01/17	28	15.2	19466	30	27.2

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : --


UNIVERSIDAD DE PIURA
LEMC.
Shirley Carrillo
Ingeniero Civil
CIP 70468
Responsable
LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

**MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN
EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGA EN EL CENTRO DEL TRAMO**
Norma: NTP 339.079-2001

Orden de servicio N° : 19807 Informe N° : 170228
Fecha de recepción : 09/01/2017
Fecha de ensayo : 09/01/2017
Fecha de emisión : 06/02/2017

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: KIMBERLY ALISSON MASÍAS MOGOLLÓN
Obra	: Tesis "Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso".
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Muestra	: Prisma de concreto de 50cm.x15,0cm.x15cm.
Fecha de moldeo	: 13/12/2016

RESULTADOS:

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	L (cm)	b(cm)	h(cm)	P (kg)	Mr (kg/cm ²)
Reemplazo 10% ladrillo La Huaca	13/12/16	10/01/17	28	45	15	15	3241	64.82
Reemplazo 10% ladrillo La Huaca	13/12/16	10/01/17	28	45	15	15	3089	61.78
Reemplazo 10% ladrillo La Huaca	13/12/16	10/01/17	28	45	15	15	2735	54.70

$$Mr=3PL/2bh^2$$

En donde:

Mr: Es el módulo de rotura, en kg/cm²

P: Es la carga máxima de rotura en kg

L: Es la luz libre entre apoyos, cm.

b: Es el ancho promedio de la viga en la sección de falla, en cm.

h: Es la altura promedio de la viga en la sección de falla, en cm.

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ---


Shirley Carrillo
Ingeniera Civil
CIP 79408
Responsable



El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE
MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO
Norma: NTP 339.034 1999

Orden de servicio N° : 19807 Informe N° : 170229
Fecha de recepción : 10/01/2017
Fecha de ensayo : 10/01/2017
Fecha de emisión : 06/02/2017

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: KIMBERLY ALISSON MASÍAS MOGOLLÓN
Obra	: Tesis "Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso".
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia especificada	: -
Fecha de moldeo	: 13/12/2016

RESULTADOS:

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia de rotura (kg/cm ²)	Resistencia especificada (kg/cm ²)
Reemplazo 20% ladrillo La Huaca	13/12/16	10/01/17	28	15.2	42102	232	-
Reemplazo 20% ladrillo La Huaca	13/12/16	10/01/17	28	15.2	44333	244	-
Reemplazo 20% ladrillo La Huaca	13/12/16	10/01/17	28	15.2	46925	259	-

Observaciones:

La resistencia de rotura sólo refleja la resistencia individual a compresión de la probeta ensayada.
Los cuidados previos de los especímenes hasta la edad de ensayo, han sido hechos por: El solicitante.
Han sido recepcionados, pertenecientes a la misma orden de servicio : 15 Especímenes
La identificación de los especímenes ha sido definida por el solicitante.

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : -

Shirley Carrillo S.
Ingeniero Civil
CIP 79163
Responsable

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA TRACCIÓN DE
MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO

Orden de servicio N° : 19807 Informe N° : 170230
Fecha de recepción : 09/01/2017
Fecha de ensayo : 09/01/2017
Fecha de emisión : 06/02/2017

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: KIMBERLY ALISSON MASÍAS MOGOLLÓN
Obra	: Tesis "Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso".
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia especificada	: —
Fecha de moldeo	: 13/12/2016

RESULTADOS:

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (cm)	Carga máxima (kg)	Longitud (cm.)	Resistencia a la tracción (kg/cm ²)
Reemplazo 20% ladrillo La Huaca	13/12/16	10/01/17	28	15.2	17827	30	24.9
Reemplazo 20% ladrillo La Huaca	13/12/16	10/01/17	28	15.2	16647	30	23.2
Reemplazo 20% ladrillo La Huaca	13/12/16	10/01/17	28	15.2	18599	30	26.0

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : —


Shirley Camille S.M.C.
Ingeniera Civil
CIP 79468
Responsable



El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

**MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN
EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGA EN EL CENTRO DEL TRAMO**
Norma: NTP 339.079-2001

Orden de servicio N° : 19807 Informe N° : 170231
Fecha de recepción : 09/01/2017
Fecha de ensayo : 09/01/2017
Fecha de emisión : 06/02/2017

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: KIMBERLY ALISSON MASIAS MOGOLLÓN
Obra	: Tesis "Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso".
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Muestra	: Prisma de concreto de 50cm.x15,0cm.x15cm.
Fecha de moldeo	: 13/12/2016

RESULTADOS:

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	L (cm)	b (cm)	h (cm)	P (kg)	Mr (kg/cm ²)
Reemplazo 20% ladrillo La Huaca	13/12/16	10/01/17	28	45	15	15	2064	41.28
Reemplazo 20% ladrillo La Huaca	13/12/16	10/01/17	28	45	15	15	2550	50.99
Reemplazo 20% ladrillo La Huaca	13/12/16	10/01/17	28	45	15	15	2308	46.15

$Mr=3PL/2bh^2$

En donde:

Mr: Es el módulo de rotura, en kg/cm²
P: Es la carga máxima de rotura en kg
L: Es la luz libre entre apoyos, cm.
b: Es el ancho promedio de la viga en la sección de falla, en cm.
h: Es la altura promedio de la viga en la sección de falla, en cm.

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ---

Shirley Carrillo S.
Ingeniera Civil
CIP 79160
Responsable

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE
MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO
Norma: NTP 339.034 1999

Orden de servicio N° : 19807 Informe N° : 170232
Fecha de recepción : 11/01/2017
Fecha de ensayo : 11/01/2017
Fecha de emisión : 06/02/2017

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: KIMBERLY ALISSON MASIAS MOGOLLÓN
Obra	: Tesis "Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso".
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia especificada	: _
Fecha de moldeo	: 14/12/2016

RESULTADOS:

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia de rotura (kg/cm ²)	Resistencia especificada (kg/cm ²)
Reemplazo 10% ladrillo Cerro Mocho	14/12/16	11/01/17	28	15.2	59811	330	-
Reemplazo 10% ladrillo Cerro Mocho	14/12/16	11/01/17	28	15.2	59011	325	-
Reemplazo 10% ladrillo Cerro Mocho	14/12/16	11/01/17	28	15.2	59245	326	-

Observaciones:

La resistencia de rotura sólo refleja la resistencia individual a compresión de la probeta ensayada.
Los cuidados previos de los especímenes hasta la edad de ensayo, han sido hechos por: El solicitante.
Han sido recepcionados, pertenecientes a la misma orden de servicio : 15 Especímenes
La identificación de los especímenes ha sido definida por el solicitante.

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ---

Shirley Carrillo S.
Ingeniero Civil
CIP 79368
Responsable

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA TRACCIÓN DE
MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO

Orden de servicio N° : 19807

Informe N° : 170233

Fecha de recepción : 09/01/2017

Fecha de ensayo : 09/01/2017

Fecha de emisión : 06/02/2017

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: KIMBERLY ALISSON MASÍAS MOGOLLÓN
Obra	: Tesis "Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso".
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia especificada	: -
Fecha de moldeo	: 14/12/2016

RESULTADOS:

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (cm)	Carga máxima (kg)	Longitud (cm.)	Resistencia a la tracción (kg/cm ²)
Reemplazo 10% ladrillo Cerro Mocho	14/12/16	11/01/17	28	15.2	17483	30	24.4
Reemplazo 10% ladrillo Cerro Mocho	14/12/16	11/01/17	28	15.2	19064	30	26.6
Reemplazo 10% ladrillo Cerro Mocho	14/12/16	11/01/17	28	15.2	17851	30	24.9

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.

Presenció el ensayo : ---

UNIVERSIDAD DE PIURA
LEMC.
Shirley Carrillo S.
Ingeniero Civil
CIP 76308
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
Responsable

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

**MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN
EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGA EN EL CENTRO DEL TRAMO**
Norma: NTP 339.079-2001

Orden de servicio N° : 19807 Informe N° : 170234
Fecha de recepción : 09/01/2017
Fecha de ensayo : 09/01/2017
Fecha de emisión : 06/02/2017

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: KIMBERLY ALISSON MASIAS MOGOLLÓN
Obra	: Tesis "Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso".
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Muestra	: Prisma de concreto de 50cm.x15,0cm.x15cm.
Fecha de moldeo	: 14/12/2016

RESULTADOS:

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	L (cm)	b(cm)	h(cm)	P (kg)	Mr (kg/cm ²)
Reemplazo 10% ladrillo Cerro Mocho	14/12/16	11/01/17	28	45	15	15	3341	66.81
Reemplazo 10% ladrillo Cerro Mocho	14/12/16	11/01/17	28	45	15	15	2880	57.60
Reemplazo 10% ladrillo Cerro Mocho	14/12/16	11/01/17	28	45	15	15	3192	63.84

$$Mr=3PL/2bh^2$$

En donde:

Mr: Es el módulo de rotura, en kg/cm²
P: Es la carga máxima de rotura en kg
L: Es la luz libre entre apoyos, cm.
b: Es el ancho promedio de la viga en la sección de falla, en cm.
h: Es la altura promedio de la viga en la sección de falla, en cm.

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ---

Shirley Barrillo S.
Ingeniero Civil
CIP 79106
Responsable

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE
MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO
Norma: NTP 339.034 1999

Orden de servicio N° : 19807 Informe N° : 170235
Fecha de recepción : 11/01/2017
Fecha de ensayo : 11/01/2017
Fecha de emisión : 06/02/2017

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante : KIMBERLY ALISSON MASÍAS MOGOLLÓN
Obra : Tesis "Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso".
Ubicación : Piura
Muestreo realizado por : El solicitante
Resistencia especificada : -
Fecha de moldeo : 14/12/2016

RESULTADOS:

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia de rotura (kg/cm ²)	Resistencia especificada (kg/cm ²)
Reemplazo 20% ladrillo Cerro Mocho	14/12/16	11/01/17	28	15.2	53845	297	-
Reemplazo 20% ladrillo Cerro Mocho	14/12/16	11/01/17	28	15.2	55697	307	-
Reemplazo 20% ladrillo Cerro Mocho	14/12/16	11/01/17	28	15.2	52398	289	-

Observaciones:

La resistencia de rotura sólo refleja la resistencia individual a compresión de la probeta ensayada.
Los cuidados previos de los especímenes hasta la edad de ensayo, han sido hechos por: El solicitante.
Han sido recepcionados, pertenecientes a la misma orden de servicio : 15 Especímenes
La identificación de los especímenes ha sido definida por el solicitante.

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : -



El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA TRACCIÓN DE
MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO

Orden de servicio N° : 19807 Informe N° : 170236
Fecha de recepción : 09/01/2017
Fecha de ensayo : 09/01/2017
Fecha de emisión : 06/02/2017

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: KIMBERLY ALISSON MASÍAS MOGOLLÓN
Obra	: Tesis "Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso".
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia especificada	: _
Fecha de moldeo	: 14/12/2016

RESULTADOS:

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (cm)	Carga máxima (kg)	Longitud (cm.)	Resistencia a la tracción (kg/cm ²)
Reemplazo 20% ladrillo Cerro Mocho	14/12/16	11/01/17	28	15.2	19014	30	26.5
Reemplazo 20% ladrillo Cerro Mocho	14/12/16	11/01/17	28	15.2	19864	30	27.7
Reemplazo 20% ladrillo Cerro Mocho	14/12/16	11/01/17	28	15.2	19025	30	26.6

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ---


Shirley Carrillo
Ingeniero Civil
CIP 791388
Responsable



El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

**MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN
EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGA EN EL CENTRO DEL TRAMO**
Norma: NTP 339.079-2001

Orden de servicio N° : 19807 Informe N° : 170237
Fecha de recepción : 09/01/2017
Fecha de ensayo : 09/01/2017
Fecha de emisión : 06/02/2017

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: KIMBERLY ALISSON MASIAS MOGOLLÓN
Obra	: Tesis "Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso".
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Muestra	: Prisma de concreto de 50cm.x15,0cm.x15cm.
Fecha de moldeo	: 14/12/2016

RESULTADOS:

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	L (cm)	b(cm)	h(cm)	P (kg)	Mr (kg/cm ²)
Reemplazo 20% ladrillo Cerro Mocho	14/12/16	11/01/17	28	45	15	15	2947	58.93
Reemplazo 20% ladrillo Cerro Mocho	14/12/16	11/01/17	28	45	15	15	2799	55.98
Reemplazo 20% ladrillo Cerro Mocho	14/12/16	11/01/17	28	45	15	15	2807	56.14

$Mr=3PL/2bh^2$

En donde:

Mr: Es el módulo de rotura, en kg/cm²

P: Es la carga máxima de rotura en kg

L: Es la luz libre entre apoyos, cm.

b: Es el ancho promedio de la viga en la sección de falla, en cm.

h: Es la altura promedio de la viga en la sección de falla, en cm.

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : --

UNIVERSIDAD DE PIURA
LEMC
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
Shirley Carrillo S.
Ingeniera Civil
CIP 79165
Responsable

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.