



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

ANÁLISIS DE LA GRANULOMETRÍA DE LA CONCHA DE ABANICO TRITURADA PARA SU USO COMO AGREGADO EN CONCRETOS

David Castañeda-Granda

Piura, mayo de 2017

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Civil

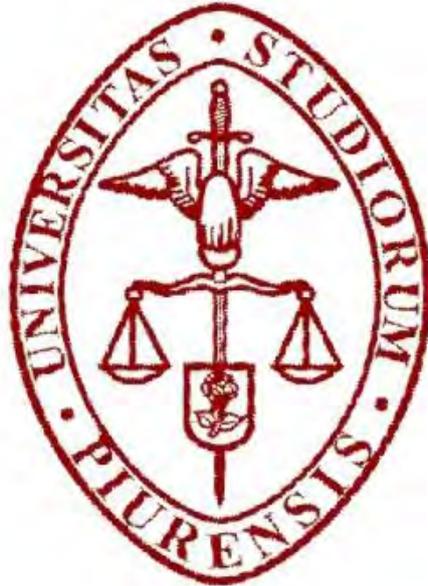
Castañeda, D. (2017). *Análisis de la granulometría de la concha de abanico triturada para su uso como agregado en concretos* (Tesis de licenciatura en Ingeniería Civil). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.



Esta obra está bajo una [licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](#)

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA



**ANÁLISIS DE LA GRANULOMETRÍA DE LA CONCHA DE ABANICO
TRITURADA PARA SU USO COMO AGREGADO EN CONCRETOS**

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Civil

DAVID ISRAEL CASTAÑEDA GRANDA

Asesor: Mgtr. Ing. Gaby Ruiz Petrozzi

Piura, Mayo 2017

A Dios, por sus infinitas bendiciones
A mi familia, por su fortaleza y unión

Prólogo

En la provincia de Sechura, cerca de 100 mil toneladas de residuos sólidos de concha de abanico (RCA) se arrojan a los botaderos municipales cada año. Existen dos botaderos, de los cuales uno ya está colmatado.

En diferentes países de Europa y Asia también existen problemas parecidos. Investigadores han propuesto reutilizar los residuos como materiales de construcción (Yoon, 2003; Yang, 2005; Yang, 2010; Kuo, 2013; Wang, 2013; Nguyen, 2013; Safi, 2015). En Piura se ha realizado un estudio con este propósito (Nizama, 2014), reemplazando el RCA triturado por agregado grueso en el concreto.

Esta investigación nace con el motivo de brindar un aporte importante para el estudio iniciado por Nizama (2014). Se busca estudiar la influencia de la forma de las partículas de RCA triturado para su uso como agregado total en el concreto. Esto permitiría disminuir el costo del concreto utilizando una solución que beneficia al medio ambiente al reducir la gran cantidad de RCA en la región.

Este trabajo de tesis forma parte del proyecto "Evaluación experimental del uso de conchas de abanico como reemplazo de agregados pétreos en concreto hidráulico con cemento Portland" (Convenio N° 094-2014-FONDECYT-DE). Por ello, se quiere brindar especial agradecimiento al CONCYTEC quien a través del FONDECYT hizo posible el proyecto y a los demás miembros del equipo y al personal técnico del laboratorio de Suelos de la Universidad de Piura por el apoyo brindado para lograr la investigación.

Resumen

Este estudio evalúa el efecto de las características físicas del RCA triturado para utilizarlo como agregado total en mezclas de concreto. Se estudió la forma de las partículas de RCA triturado, a través del ensayo de partículas chatas y alargadas para la fracción gruesa y el ensayo de angularidad para la fracción fina, complementando con la granulometría ideal propuesta por Fuller y Thompson como patrón de interpretación de los resultados finales en pruebas del concreto fresco.

Los resultados mostraron que la forma de las partículas de RCA triturado son chatas y alargadas en la fracción gruesa y muy angulosas en la fracción fina, lo cual produce una disminución drástica de la trabajabilidad del concreto en estado fresco y exige una mayor cantidad de pasta que con agregados convencionales. Esto impide que el RCA triturado pueda ser usado como agregado total en la mezcla de concreto y, dependiendo de los requisitos del concreto a fabricar, se requerirá de una combinación con otros agregados que compensen los valores finales de estas características físicas.

Índice general

	Página
Introducción	1
Capítulo 1: Efecto de las características físicas de las partículas de agregados en el concreto	3
1.1 Forma y textura	3
1.1.1 Forma	3
1.1.2 Textura	5
1.2 Granulometría	6
1.2.1 Análisis granulométrico	7
1.2.2 Tamaño máximo del agregado	8
1.2.3 Curvas granulométricas	8
1.2.4 Módulo de fineza	10
1.3 Gravedad específica	10
1.4 Peso unitario	11
1.5 Contenido de humedad	11
1.6 Porosidad	12
1.7 Absorción	12
1.8 Efecto de los parámetros de los agregados en las propiedades del concreto	13
1.8.1 Efecto de la forma y la textura en las propiedades del concreto	13
1.8.2 Influencia de la granulometría en el concreto	14
1.9 Uso de conchas de abanico como agregado	15
1.9.1 Curva granulométrica de Fuller y Thompson	18

Capítulo 2: Estudio de las propiedades físicas del residuo de concha de abanico triturado	21
2.1 Concha de abanico	21
2.2 Residuo de concha de abanico triturado	22
2.3 Propiedades físicas del residuo de concha de abanico triturado	27
2.3.1 Módulo de fineza	27
2.3.2 Densidad suelta y compactada	27
2.3.3 Peso específico	28
2.3.4 Absorción y humedad	28
2.4 Estudio de la forma y textura del residuo de concha de abanico como agregado	28
2.4.1 Estudio de la forma y textura del residuo de concha de abanico como agregado fino	29
2.4.1.1 Ensayo de angularidad del agregado fino	29
2.4.2 Estudio de la forma y textura del residuo de concha de abanico como agregado grueso	31
2.4.2.1 Ensayo de partículas chatas o alargadas en el agregado grueso	31
2.5 Análisis de la forma y textura del residuo de concha de abanico	33
Capítulo 3 Verificación del efecto de la forma y textura del residuo de concha de abanico en el concreto	35
3.1 Materiales utilizados	36
3.1.1 Cemento Portland MS	36
3.1.2 Agregado grueso	36
3.1.3 Agregado fino	38
3.2 Preparación del agregado pétreo	41
3.2.1 Curva granulométrica propuesta por Fuller y Thompson	41
3.3 Parámetros de diseño de mezcla	43
3.4 Diseño de mezcla de concreto	44
3.5 Resultados en concreto fresco	48
3.5.1 Trabajabilidad	48
3.5.2 Peso unitario del concreto	49
3.5.3 Contenido de aire	50
3.5.4 Temperatura	51
3.5.5 Análisis final	51

3.5.5.1 La forma de las partículas del residuo de concha de abanico triturado	52
3.5.6 Replanteo de diseño	52
3.5.6.1 Relación agregados - pasta	53
3.5.6.2 Volumen de pasta por volumen de concreto	56
3.5.6.3 Relación entre el peso del cemento y el volumen de concreto	57
3.5.6.4 Ensayos de concreto fresco para diseños CAF-2 y CAF-3	58
3.6 Resultados en concreto endurecido	58
Conclusiones	61
Recomendaciones	63
Bibliografía	65
Anexos	
Anexo A: Curvas granulométricas	
Anexo B: Caracterización física de los agregados	
Anexo C: Diseños de mezcla de concreto	
Anexo D: Resultados de ensayos de concreto fresco	
Anexo E: Resultados de ensayos de concreto endurecido	

Introducción

La provincia de Sechura afronta una problemática de contaminación ambiental a causa de los residuos de concha de abanico (RCA), pues anualmente se arrojan aproximadamente 100 mil toneladas al año de residuos sólidos en los botaderos municipales (Dirección Regional de Producción – Gobierno Regional Piura). De los dos botaderos existentes, el primero con un área de 35000m² ya ha sido cerrado por llegar a su máxima capacidad y el segundo con un área de 90000m² es el que actualmente está en uso (Diario La República, 2015). La disposición de los residuos no está convenientemente gestionada, por lo que los residuos generan olores nauseabundos y la aparición de abundantes moscas debido al material orgánico en descomposición.

Este problema no es únicamente local; casi todos los países donde existe maricultura afrontan situaciones similares. En Corea, Yoon (2003) reportó que las autoridades deben lidiar con este mismo problema e intentaron invertir fondos públicos en el establecimiento de una planta de fertilizantes para aumentar el reciclaje de concha de ostra. Sin embargo la inversión en la construcción de la planta comparada con el beneficio de eliminar los residuos les llevó a buscar otras opciones. En Corea del Sur, el problema es similar donde se arrojan 300 mil toneladas por año de residuos de conchas de ostra. En búsqueda de soluciones para este problema en Asia Yoon (2003), Yang (2005, 2010), Kuo (2013), Wang (2013), Nguyen (2013) y Safi (2015) han estudiado la posibilidad de utilizar los residuos de concha de mar como materiales de construcción, entre otras aplicaciones, como agregados pétreos en el concreto demostrando la viabilidad de esta alternativa con diferentes tipos de conchas encontrando resultados alentadores.

En Piura, se han realizado dos estudios con este propósito (Nizama, 2014 y Saavedra, 2016). En el trabajo de Nizama, el reemplazo realizado abarcó un tamaño de partícula de concha (como agregado grueso) y demostró que se puede obtener un concreto con comportamiento en estado fresco y endurecido muy similar a un concreto convencional con un porcentaje de reemplazo de hasta 20% en peso, pues encuentra un concreto trabajable y con una disminución en la resistencia a compresión cercana al 10% con respecto a una muestra patrón. Sin embargo, sí pudo observar problemas de adherencia con la pasta de cemento porque las conchas de abanico, en dichos tamaños, pueden considerarse partículas chatas con dos superficies, una muy rugosa y la otra lisa, lo cual produce una falla del concreto por deslizamiento entre la pasta y la superficie de la concha. Saavedra evaluó reemplazos de 5, 20, 40 y 60% en peso de partículas de RCA

entre los tamaños 1.18 a 4.75mm por el agregado fino. Encontró un buen desempeño de la trabajabilidad cuando el reemplazo es entre 20 y 40% y establece un porcentaje óptimo de 20% para resistencia a compresión.

Esto motivó la idea de analizar la influencia de la forma de las partículas de RCA. La posibilidad de usar EL RCA como un agregado total en el diseño de mezclas de concreto podría reducir drásticamente el costo del concreto y acelerar la reducción del volumen de residuos en la región. Por ello, se planteó la evaluación del comportamiento del concreto usando el RCA triturado como agregado total, considerando las características físicas de la concha de abanico.

Capítulo 1

Efecto de las características físicas de las partículas de agregados en el concreto

Los agregados minerales o áridos son materiales de composición mineral, natural o artificial, generalmente inertes, utilizados en la construcción de obras civiles. Ocupan aproximadamente del 70 a 80 % del volumen del concreto y es por eso que tienen una gran influencia en las propiedades en estado fresco y endurecido. A continuación, se explicarán las propiedades de los agregados que son necesarias dominar para la investigación a realizar.

1.1 Forma y textura

1.1.1. Forma

La forma de la partícula no sólo se refiere a la forma básica de las partículas de agregado, sino también a la angularidad y a la forma alargada o plana. Se pueden clasificar por las dimensiones de las partículas, como longitud, ancho y espesor. También se pueden describir por su esfericidad y redondez, siendo esférica la partícula que se asemeja a una esfera y redonda, referida a los bordes y esquinas redondos (Mindess y Alexander, 2005). Generalmente las gravas naturales (de río, glaciares y conglomerados) tienden a ser más esféricas y con bordes redondeados debido al desgaste, pues la redondez depende de la resistencia a la abrasión del agregado y el grado de desgaste al que ha sido sometido. En cambio, los agregados obtenidos por trituración y los provenientes de suelos residuales, tienen forma angular y además dependen de la naturaleza de la roca, equipo y método de trituración; pueden ser cúbicos, tetraédricos, laminares y alargados.

La forma influye en la trabajabilidad del concreto en estado fresco, disminuyéndola cuando se utiliza una partícula con forma angulosa que cuando se utiliza una partícula esférica, debido a que en el primer caso la fricción entre partículas es mayor que en las esféricas pues tienen una alta relación entre superficie a volumen y se necesita mayor cantidad de pasta para recubrir las partículas. Influye también en la resistencia a compresión en su estado endurecido, mediante los efectos relacionados con la adherencia y trabazón mecánica de las partículas, obteniendo una mayor resistencia cuando se utilizan partículas angulares que cuando se utilizan partículas de forma esférica.

La forma de la partícula se puede evaluar observando su forma visualmente y midiendo sus dimensiones. Esto se hace con los ensayos de partículas chatas o alargadas en el agregado grueso (NTP 400.040 1999 y ASTM D 4791) estableciendo relaciones entre su ancho a espesor y su largo a ancho para determinar si la partícula es chata, alargada o si tiene diferente forma a estas.

- Partícula alargada

Se considera partícula alargada a aquella cuya relación entre longitud y anchura es mayor o igual de 3:

$L/b \geq 3$; donde "L" es la longitud de la partícula y "b" es el ancho de la misma (Mindess y Alexander, 2005).

- Partícula chata

Se considera partícula chata a aquella cuya relación entre el ancho y el espesor es mayor o igual a 3:

$b/d \geq 3$; donde "b" es el ancho de la partícula y "d" es espesor de la misma (Mindess y Alexander, 2005).

- Partícula chata y alargada

Se considera partícula chata y alargada a aquella cuya relación entre la longitud de la partícula y el espesor es mayor o igual a 3:

$L/d \geq 3$; donde "L" es la longitud de la partícula y "d" es espesor de la misma (ASTM D 4791).

La importancia de tomar en cuenta estos parámetros es debido a que la presencia de partículas chatas y alargadas en cantidades mayores al 10 - 20% en peso son perjudiciales para los diferentes usos en concreto y materiales de pavimentación: en concreto asfáltico es 10% como máximo, concreto hidráulico y bases, 15% y en materiales de sub-base es de 20% (MTC EG-2013). En el caso de los concretos, tanto asfálticos como hidráulicos el problema fundamental es la disminución de la trabajabilidad y la resistencia a compresión si se exceden esos límites.

Sin embargo, cuando los agregados son finos, las partículas son tan pequeñas que ya no es posible medir sus dimensiones u observar su forma. Para ello se evalúa la angularidad en función del contenido de vacíos en el agregado con el concepto de que agregados angulosos generan mayores relaciones de vacíos que los redondeados realizando el ensayo de angularidad del agregado fino (MTC E222 - 2000), donde si se encuentran valores alrededor de 30 o menos, el agregado se considera redondeado, y si fuese alrededor de 50 o más se considera anguloso.

- **Angularidad**

Se refiere a la falta de redondez en las partículas y se evalúa midiendo el contenido de vacíos en el agregado. Si un agregado tiene un contenido de vacíos alto se considera un agregado anguloso pues este genera mayores espacios vacíos que un agregado redondeado si se mantiene la misma granulometría. (Mindess y Alexander, 2005).

Según la norma NTP 400.011, los agregados se pueden clasificar según su forma de la siguiente manera:

- **Redondeado:** Completamente desgastado por agua o fricción. Ejemplos: grava de río o playa, arena del desierto, de la playa o de viento.
- **Irregular:** Naturalmente irregular, o parcialmente moldeado por fricción y con bordes pulidos. Ejemplos: Otras gravas diferentes a las anteriores, pedernal de tierra o excavado.
- **Laminar:** Material cuyo espesor es pequeño en relación con las otras dimensiones. Ejemplo: Roca laminada.
- **Angular:** Posee bordes bien definidos formados en la intersección de caras planas. Ejemplo: Rocas trituradas de todos tipos, escoria triturada.
- **Alargada:** Material angular en el que la longitud es considerablemente mayor que las otras dos direcciones.

1.1.2. Textura

La textura superficial depende de la dureza, tamaño de grano, porosidad, la textura de la roca madre y por último, el nivel de desgaste de la partícula durante su transporte. Además esta propiedad es la responsable de la adherencia del agregado con la pasta de cemento y de la fluidez de las mezclas de concreto. De acuerdo a la textura se puede decir que el agregado es liso o pulido, como el agregado proveniente de los ríos, o áspero, como el agregado triturado.

Según la norma NTP 400.011, los agregados se pueden clasificar según su textura de la siguiente manera:

- **Vidrioso:** Fractura concoidea (curvada). Ejemplos: pedernal negro y escoria vítrea.
- **Liso:** Desgastado por agua, o debido a fractura de laminada o roca de grano fino. Ejemplos: Gravas, esquisto, pizarra, mármol, alguna riolitas.
- **Granuloso:** Fracturas que muestran granos uniformes más o menos pulidas.

- Rugoso: Fractura rugosa de roca granular fina a media que tiene constituyentes cristalinos que no se pueden ver fácilmente. Ejemplo: Basalto, felsita, pórfido y caliza.
- Cristalino: Contiene constituyentes cristalinos fácilmente visibles. Ejemplos: Granito, gabbro, gneis.
- Panal de abeja: Con cavidades y poros visibles. Ejemplo: Ladrillo, pómez, escoria espumosa y barro expandido.

1.2. Granulometría

La granulometría de un agregado es la distribución cuantitativa de los tamaños de las partículas de un agregado en su forma granular en cuanto a las proporciones que pasan a través de tamices con aberturas cuadradas de diferentes aberturas estándar. Esta distribución es una característica importante pues influye en las propiedades plásticas del concreto. Una correcta granulometría garantiza una mezcla trabajable, fácil de colocar y compactar, lo cual es primordial para que las propiedades del concreto endurecido muestren resultados óptimos.

La granulometría también es importante para establecer la cantidad de pasta necesaria para lograr un concreto trabajable. Dado que el cemento es el material más costoso del concreto, se busca utilizar la menor cantidad de pasta que permita obtener un concreto trabajable y que proporcione la resistencia y durabilidad necesarias.

En la figura 1.1 se presentan los diferentes tipos de gradación utilizados en el concreto: los uniformes, que son agregados del mismo tamaño y presentan grandes volúmenes de huecos entre partículas; los de gradación continua, en el que los diferentes tamaños disminuyen el espacio vacío y reduce la cantidad de pasta requerida; el uso de un tamaño máximo de agregado también puede reducir los espacios vacíos; por último también existen la granulometría discontinua, donde se omiten ciertos tamaños intencionalmente y la granulometría sin finos (Mindess y Alexander, 2005).

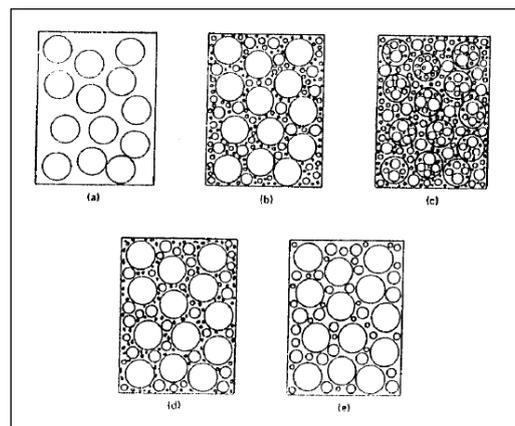


Figura 1.1. Representación de la granulometría: (a) uniformes, (b) granulometría continua, (c) reemplazo de partículas grandes por pequeñas, (d) granulometría discontinua, (e) granulometría sin finos. Fuente: Mindess y Alexander (2005).

De todos estos tipos de granulometría, los más comunes son la granulometría continua y discontinua. En la tabla 1.1 se presentan las diferencias entre el uso de estas dos granulometrías en el concreto.

Tabla 1.1. Ventajas técnicas de las mezclas con granulometría discontinua y continua.

Granulometría Discontinua	Granulometría Continua
<ul style="list-style-type: none"> • Menos posibilidades de interferencia de partículas. • Mayor sensibilidad de asentamiento para modificar el contenido de agua, lo cual ayuda en un mejor control del agua de mezcla. • Mayor capacidad de respuesta en relación a la vibración en mezclas densas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor segregación en mezclas con asentamientos altos. • Menor sensibilidad para realizar pequeños cambios en el contenido de agua, lo cual es una ventaja cuando se requiere mantener una trabajabilidad uniforme. • Mejora de la capacidad de bombeo especialmente en presiones más altas. • Mejora de la resistencia a la flexión debido al aumento del área superficial de la piedra graduada

Fuente: Mindess y Alexander (2005).

1.2.1. Análisis granulométrico

La granulometría de un agregado se determina mediante un análisis granulométrico de una muestra representativa que se hace pasar por una columna de tamices normalizados ordenados por el tamaño de abertura de la malla de cada uno en forma decreciente. Por su tamaño los agregados en el concreto se han dividido en dos grupos, una fracción gruesa y una fracción fina. Los agregados gruesos son aquellos retenidos hasta el tamiz #4 (4.76mm de abertura de la malla) y los agregados finos son aquellos que pasan el tamiz #4. En la tabla 1.2 se presentan los tamices más comunes.

Tabla 1.2. Tamices más comunes para la caracterización granulométrica de los agregados.

	Designación ASTM del tamiz	Tamaño nominal de la abertura del tamiz	
		mm	pulgadas
Agregado Grueso	3"	75	3
	2 1/2"	63	2.5
	2"	50	2
	1 1/2"	37.5	1.5
	1"	25	1
	3/4"	19	0.75
	1/2"	12.5	0.5
	3/8"	9.5	0.375
Agregado fino	N° 4	4.75	0.187
	N° 8	2.36	0.0937
	N° 16	1.18	0.0469
	N° 30	0.6	0.0234
	N° 50	0.3	0.0124
	N° 100	0.15	0.0059

Fuente: NTP 400.037-2002.

1.2.2. Tamaño máximo del agregado

El tamaño máximo del agregado es el que corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso. El tamaño máximo nominal es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido (NTP 400.037). En la práctica es usual utilizar el tamaño máximo nominal, pues normalmente los requerimientos de granulometría están basados en este tamaño.

1.2.3. Curvas granulométricas

La norma NTP 400.012 explica el proceso para realizar el análisis por tamizado de la muestra de agregado. Al terminar, el peso de agregado retenido en cada tamiz se expresa como un porcentaje del peso total de la muestra. Luego se calcula el porcentaje retenido acumulado o el porcentaje que pasa por cada tamiz. Para obtener la curva granulométrica se grafica en el eje de ordenadas los porcentajes acumulados que pasan y en el eje de abscisas, los tamaños de los tamices estándar empleando una escala logarítmica.

Existen unos límites de gradación para el agregado grueso y fino que brinda la norma NTP 400.037-2002. Estos límites se muestran en la tabla 1.3a y tabla 1.3b, los cuales se recomiendan para elaborar concreto.

Tabla 1.3a Límites de gradación del agregado fino para elaborar concreto.

Agregado Fino	
Tamaño del tamiz	% que pasa
3/8"	100
N° 4	95-100
N° 8	80-100
N° 16	50-85
N° 30	25-60
N° 50	05-30
N° 100	0-10

Fuente: NTP 400.037-2002.

Tabla 1.3b Límites de gradación del agregado grueso para elaborar concreto.

HUSO	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS															
		100mm	90mm	75mm	63mm	50mm	37.5mm	25mm	19mm	12.5mm	9.5mm	4.75mm	2.36mm	1.18mm			
1	3 1/2" - 1 1/2"	100	90 - 100		25 - 60		0 - 15		3 1/2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°8	N°16
2	2 1/2" - 1 1/2"			100	90 - 100	35 - 70	0 - 15		0 - 5								
3	2" - 1"				100	90 - 100	35 - 70	0 - 15		0 - 5							
357	2" - N°4				100	95 - 100		35 - 70		0 - 30					0 - 5		
4	1 1/2" - 3/4"					100	90 - 100	20 - 55	0 - 5					0 - 5			
467	1 1/2" - N°4					100	95 - 100		35 - 70					10 - 30	0 - 5		
5	1" - 1/2"						100	90 - 100	20 - 55	0 - 10				0 - 5			
56	1" - 3/8"						100	90 - 100	40 - 85	10 - 40				0 - 15	0 - 5		
57	1" - N°4						100	95 - 100		25 - 60				0 - 10	0 - 5		
6	3/4" - 3/8"							100	90 - 100	20 - 55				0 - 15	0 - 5		
67	1/2" - N°4							100	90 - 100					20 - 55	0 - 10	0 - 5	
7	3/8" - N°8								100	90 - 100				40 - 70	0 - 15	0 - 5	
78	1/2" - 3/8"									100				85 - 100	10 - 30	0 - 10	0 - 5
89	N°4 - N°8									100				90 - 100	20 - 35	5 - 30	0 - 10
9	N°4 - N°16													100	85 - 100	10 - 40	0 - 10

Fuente: NTP 400.037-2002.

1.2.4. Módulo de fineza

Este parámetro adimensional se utiliza para caracterizar y evaluar la granulometría y es una medida del tamaño medio de la partícula. Se aplica sólo al agregado fino. Es la centésima parte de la sumatoria del porcentaje del material acumulado retenido en los tamices empleados para el análisis granulométrico. El módulo de fineza para el agregado fino para su uso en la fabricación del concreto debería estar entre 2.4 y 3.1, pues si el valor está por debajo de 2.4 se producirá la segregación del agregado grueso y cuando el valor está por encima de 3.1 se obtendrá una mezcla muy áspera, por lo tanto, el tipo de arena óptima a utilizar en la fabricación del concreto según su fineza debe ser arena media o arena gruesa. En la tabla 1.4 se muestra la clasificación de agregados según su módulo de fineza.

Tabla 1.4. Módulo de fineza de arena.

MF	Fineza de arena
<1.0	Muy fina
1.0-2.0	Fina
2.0-2.9	Media
2.9-3.5	Gruesa
>3.5	Muy gruesa

Fuente: Mindess y Alexander (2005)

1.3. Gravedad específica

En mezclas de concreto es necesario conocer la densidad de los agregados. En los agregados la densidad se expresa como gravedad específica (Gs), que es una relación entre la densidad del agregado y la densidad del agua. Debido a que los agregados contienen algo de porosidad y que la gravedad específica depende si los poros son incluidos en la medición, se pueden distinguir entre gravedad específica absoluta (Gsa), en la cual la densidad del agregado se calcula sin considerar los poros, y la gravedad específica neta (Gsb), en la cual sí se consideran los poros dentro del agregado.

En la norma NTP 400.021 se encuentran las definiciones referidas a la gravedad específica o peso específico:

- **Peso específico aparente:** Es la relación de la masa en el aire de un volumen unitario de la porción impermeable del agregado, a la masa en el aire de igual volumen de agua destilada libre de gas.
- **Peso específico de masa:** Es la relación de la masa en el aire de un volumen unitario de agregado (incluyendo los poros permeables e impermeables en las partículas, pero no incluyendo los poros entre partículas); a la masa en el aire de igual volumen de agua destilada libre de gas.
- **Peso específico de masa saturado superficialmente seco (SSS):** Es la relación de la masa en el aire de un volumen unitario de agregado incluyendo la masa de agua de los poros llenos hasta colmarse por inmersión en agua por 24 horas aproximadamente (pero no incluyendo los poros entre partículas), comparada con la masa en el aire de un igual volumen de agua destilada libre de gas.

1.4. Peso unitario

Se define como el peso de un volumen determinado de agregado. Se mide pesando un recipiente de volumen conocido lleno con el agregado a estudiar. Dependiendo del grado de compactación, el material se acomoda dentro del recipiente dejando menor espacio entre las partículas al ser compactado. Esto también hace referencia a la granulometría, tamaño, forma y textura del agregado. En la norma NTP 400.017 - 1999, se explica el procedimiento para determinar el peso unitario de los agregados.

Dependiendo del grado de compactación se distinguen dos tipos de pesos unitarios, el peso unitario compactado o varillado y el peso unitario suelto, en el primero se coloca en el recipiente el material y se compacta de acuerdo a la norma antes mencionada, en cambio en el segundo solamente se coloca el material en su estado suelto o normal de reposo. El valor obtenido del peso unitario compactado siempre será mayor que el valor del peso unitario suelto pues en estado suelto el agregado ocupa un volumen mayor.

1.5. Contenido de humedad

El contenido de humedad de un agregado es el porcentaje de agua que posee el agregado. Este parámetro se analiza debido a la porosidad que tienen las partículas de los agregados y a la capacidad de retener agua en estos poros. El agua puede ser absorbida por los agregados hacia el interior de sus partículas o pueden formar una película de humedad al quedarse retenida en la superficie de las partículas. Estas son las dos razones importantes por las cuales es necesario conocer el estado de humedad que tienen los agregados utilizados en las mezclas del concreto. Este parámetro tiene influencia en el concreto pues si el agregado absorbe agua, disminuye la relación agua-cemento de diseño y en consecuencia perderá trabajabilidad, pero aumentará un poco la resistencia a la compresión. En cambio, si el agregado contiene humedad en su superficie, la relación agua-cemento aumentará, se notará un incremento en la trabajabilidad, pero la resistencia disminuirá.

Los estados de humedad que se conocen de los agregados se muestran en la figura 1.2 y se explican a continuación:

- Seco al horno (OD): En este estado se busca que todos los poros estén vacíos, es por eso que el procedimiento para lograrlo es calentando al horno el agregado a 105°C hasta obtener un peso constante.
- Seco al aire (AD): La humedad de la superficie se remueve, pero los poros aún están parcialmente llenos de agua.
- Saturada superficie seca (S.S.D): Los poros de las partículas del agregado están llenos de agua, pero la superficie se encuentra seca.
- Mojado: En este estado, tanto los poros como la superficie se encuentran llenos de agua.

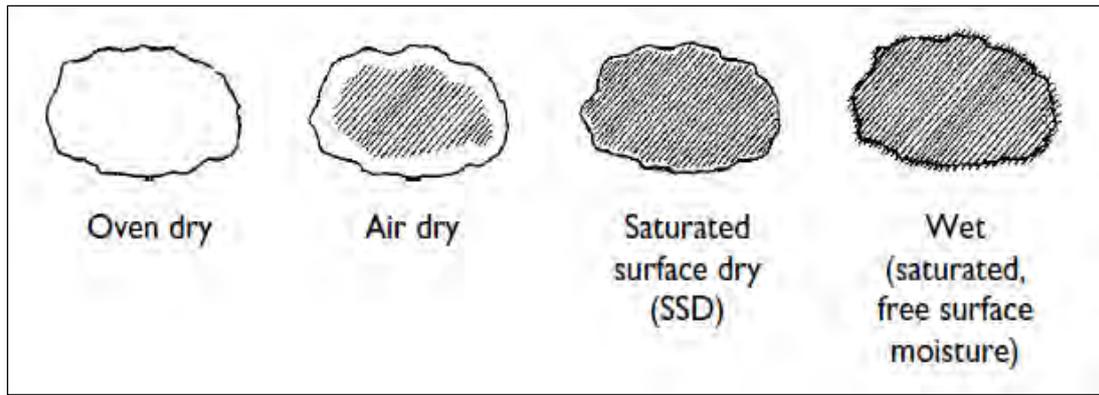


Figura 1.2. Estados de humedad de los agregados. Fuente: Mindess y Alexander (2005)

1.6. Porosidad

La porosidad se define como la relación, expresada en porcentaje, del volumen de vacíos de un cuerpo entre su volumen total incluyendo los vacíos. Todos los agregados utilizados normalmente en la construcción son porosos, ya sea en mayor o menor grado. En algunos tipos de agregados se puede observar con un microscopio los vacíos relativamente grandes, los cuales generalmente se encuentran interconectados.

La porosidad es un parámetro que sirve para determinar la calidad de la roca para ser utilizada como agregado en construcción, pues si es una roca con características muy porosas es probable que tenga una limitada resistencia mecánica o una alta capacidad de absorber agua, los cuales son defectos que perjudican a la mezcla de concreto a producir. La porosidad requiere de procedimientos muy complejos para determinarla con exactitud, sin embargo, se puede estimar su valor calculando su capacidad para absorber agua en unas condiciones determinadas.

1.7. Absorción

Este parámetro se calcula con la finalidad de aproximar la cantidad de agua que será absorbida o añadida por el agregado de la pasta de cemento y agua. Para esto se definen tres valores:

- Capacidad de absorción: es la máxima cantidad de agua que el agregado puede absorber. Se calcula con los valores de los pesos del agregado en estado saturado superficie seca (SSD) y seco al horno (OD):

$$AC = \frac{W_{SSD} - W_{OD}}{W_{OD}} \times 100 \%$$

- Absorción efectiva: Es la cantidad de agua necesaria para llevar al agregado desde su condición seca al aire (AD) hasta su condición saturada superficie seca (SSD). Se puede tomar como referencia el estado saturado superficie seca (SSD) o el estado seco al horno (OD).

$$EA = \frac{W_{SSD} - W_{AD}}{W_{SSD}} \times 100 \%$$

$$EA = \frac{W_{SSD} - W_{AD}}{W_{OD}} \times 100 \%$$

- Humedad superficial: Es la cantidad de agua en exceso de la condición saturado superficie seca (SSD). Se puede tomar como referencia el estado saturado superficie seca (SSD) o el estado seco al horno (OD).

$$SM = \frac{W_{MOJADO} - W_{SSD}}{W_{SSD}} \times 100 \%$$

$$SM = \frac{W_{MOJADO} - W_{SSD}}{W_{OD}} \times 100 \%$$

1.8. Efecto de los parámetros de los agregados en las propiedades del concreto

De todos los parámetros de los agregados mencionados anteriormente, la forma, textura y granulometría son los parámetros que más influencia tienen en la trabajabilidad del concreto pues depende de cómo se utilicen estos factores en el diseño de mezcla del concreto para obtener un concreto trabajable y una resistencia mecánica óptima.

1.8.1 Efecto de la forma y la textura en las propiedades del concreto

- Efecto en la trabajabilidad

La forma y textura afectan la trabajabilidad del concreto fresco al influir en la cantidad de pasta requerida para recubrir los agregados y proporcionar una lubricación para disminuir la interacción entre las partículas del agregado durante el mezclado. La forma esférica (bien redondeada y compacta) y con una superficie relativamente lisa es la forma y textura de la partícula ideal, pues es la que logra una buena trabajabilidad con la menor cantidad de pasta posible. Una forma esférica requiere la mínima cantidad de pasta para recubrirla, para un mismo volumen de partícula; además, la forma redondeada reduce la fricción entre las partículas, facilitando su acomodo y aumentando la trabajabilidad. En cambio, las partículas angulosas como la roca chancada (con bordes cortantes, esquinas y textura rugosa) interfieren severamente con el movimiento de las partículas adyacentes, es decir, aumentan la interacción entre las mismas disminuyendo la trabajabilidad, tienen una alta relación de superficie a volumen y debido a eso necesitan más pasta para recubrir totalmente la superficie de las partículas. Por esto, debería evitarse su uso si lo que se requiere es una mayor trabajabilidad.

Los agregados que tienen forma plana y/o alargada tampoco son recomendables para utilizarlos en el concreto porque ellos tienen efectos mayores que las partículas angulosas. Existe la posibilidad de que este tipo de agregados produzcan segregación en el concreto debido a la disminución de la trabajabilidad que generan, pues con una mezcla pobre en agua se tiene un concreto muy seco, por lo tanto, el agregado grueso tiende a depositarse en el fondo con más facilidad que las partículas finas provocando este fenómeno perjudicial en el concreto.

- Efecto en las propiedades mecánicas

El efecto de la textura en las propiedades mecánicas se relaciona con la adherencia de las partículas con la pasta de cemento. Las partículas con superficies lisas no son propicias para lograr una buena adherencia, en cambio las partículas con superficie ásperas son favorables para la adherencia con la pasta de cemento. Esto se explica al notar que los agregados con superficie lisa tienen una menor superficie específica que las partículas con superficie rugosa.

La forma también influye en las propiedades mecánicas mediante el fenómeno de la trabazón mecánica entre las partículas, esta se ve favorecida cuando el agregado es triturado o chancado con forma angulosa pues el enganche producido entre ellas es mucho mayor que el producido por las partículas redondeadas, por lo que esta interacción entre agregados angulosos tiende a generar concretos con mayor resistencia mecánica que los agregados redondeados.

Sin embargo, en un concreto, la resistencia mecánica recae en la pasta de cemento y no tanto en el enganche mecánico de las partículas (para una misma relación a/c, la resistencia mecánica se espera que sea la misma, independientemente si se usa agregado redondeado o anguloso). Este fenómeno de enganche mecánico se hace más relevante en concretos de baja resistencia, donde la cantidad de pasta es también menor y el aporte de los agregados a la resistencia mecánica es más significativa; también se observa en los concretos asfálticos, donde la resistencia del concreto depende fundamentalmente de la densidad y acomodo de las partículas, ya que el asfalto no aporta a la resistencia, sino sólo en la medida en que las mantiene conectadas.

1.8.2 Influencia de la granulometría en el concreto

La influencia de la granulometría se nota en tres sub-propiedades: el tipo de granulometría utilizada, el tamaño máximo nominal y el módulo de fineza. Si estas tres sub-propiedades son utilizadas correctamente se podría obtener un concreto trabajable y con una resistencia mecánica ideal.

Es importante tener una granulometría continua de agregados en el concreto pues este tipo de granulometría formará una matriz más densa en el concreto, al tener una densidad alta, los resultados en la resistencia a compresión serán mejores. Una buena densidad se logra si se obtiene un concreto con la menor cantidad de vacíos entre los agregados y al tener una granulometría continua este porcentaje está garantizado.

El tamaño máximo nominal influye en la economía del concreto y en la resistencia a la compresión. En concretos de bajo contenido de cemento por m^3 , a menor tamaño máximo nominal aumenta la cantidad de pasta a utilizar pues el área superficial aumenta y la resistencia a compresión es menor; en cambio si el tamaño máximo nominal es mayor, se necesitará una menor cantidad de pasta y la resistencia a la compresión aumentará. En mezclas con cantidades de cemento mayor a $380 \text{ kg cemento}/m^3$, si se utiliza un agregado de mayor tamaño máximo nominal la reducción en el área superficial del agregado y el aumento de esfuerzos internos en los agregados entre las partículas, generan una tendencia a disminuir la resistencia.

El módulo de fineza también influye en el concreto, específicamente en la cantidad de pasta necesaria para lograr una trabajabilidad deseada, pues un módulo de fineza bajo

(arena fina) significa que necesitará mucho mayor pasta para lograr una buena trabajabilidad que un agregado de módulo de fineza alto (arena gruesa). Esto se explica pues si la arena es fina tendrá una mayor área superficial y por lo tanto necesitará una mayor cantidad de pasta para lograr una trabajabilidad deseada, a diferencia de una arena gruesa, la cual tiene menor área que recubrir y por lo tanto un mejor desempeño en cuanto a términos de trabajabilidad. Se debe tener en cuenta que si la arena es muy fina podría provocar la segregación del agregado grueso si no se controla el agua de la mezcla para lograr la cohesión entre los materiales, esto debido a la mayor necesidad de agua en el concreto cuando se utiliza una arena muy fina.

1.9. Uso de residuos de conchas de abanico como agregado

La Concha de Abanico es un molusco filtrador de dos valvas, cuyo nombre científico es *Argopecten Purpuratus*, perteneciente a la familia Pectinidae, la cual engloba un gran número de especies conocidas internacionalmente como "vieiras" (Acuapesca).

Las características físicas de la concha de abanico en su estado natural (figura 1.3), tienen una forma casi redonda, con valvas desiguales, una más convexa que la otra, las cuales tienen prolongaciones llamadas orejas. El color de los caparazones varía entre rosado a púrpura oscuro, encontrándose algunas de color naranja. Las dimensiones de las valvas van desde 12.00x12.50cm, las más grandes, las más pequeñas tienen una medida de 8.00x8.50cm y su espesor varía entre 1.5 a 3.0mm.



Figura 1.3. Caparazones de concha de abanico en estado natural. Fuente: Elaboración propia.

El uso de conchas de mar como reemplazo por agregados minerales en la fabricación de concreto se viene estudiando durante varios años en respuesta a la problemática ambiental que generan la acumulación de estos residuos de animales en diversos países, en su mayoría asiáticos (Yang, 2005; Kuo, 2013; Wang, 2013). Los investigadores buscan encontrar una dosis de reemplazo que garantice una mezcla de concreto con características mecánicas adecuadas para utilizar en construcción, generalmente para

concretos de baja resistencia (Yang, 2005; Kuo, 2013; Wang, 2013; Nguyen, 2013; Safi, 2015).

En el 2005, Yang *et al.* hizo un análisis de muestras de concreto con diferentes porcentajes de reemplazo de concha triturada que pase la malla de 5mm por agregado fino (0, 5, 10, 15 y 20%) observando una disminución del slump a medida que se aumenta el porcentaje de reemplazo. En estos resultados se nota la influencia que tienen las conchas de mar en la trabajabilidad, probablemente a la forma chata y alargada que tienen, como también de la textura superficial de las mismas.

Kuo (2013) también evaluó la trabajabilidad en su investigación y encontró resultados que confirman los resultados de Yang *et al.* (2005); la disminución de la trabajabilidad a medida que se aumenta el porcentaje de reemplazo. Sin embargo, él propone que esta variación se debe a la mayor capacidad de absorción de agua de las partículas de conchas y a un menor módulo de fineza que el agregado natural lo cual incrementa la cantidad de agua necesaria para las partículas y producen la disminución de la trabajabilidad.

En el año 2013, Wang investigó el reemplazo de conchas por agregado fino en morteros de cemento y arena encontrando una disminución de la trabajabilidad a medida que se aumenta el porcentaje de reemplazo. Él explica que la forma irregular de las partículas generaba un deficiente contenido de agua de llenado entre las partículas y un aumento en la fricción de la mezcla. Posteriormente en 2015, Safi realizó un estudio parecido y encontró resultados similares. Él explica que la forma chata y alargada de las partículas de concha le resta fluidez a la mezcla al no existir un buen acomodo entre ellas como sí lo hay cuando se tratan de partículas redondeadas como la arena.

También se ha realizado un estudio para verificar el uso de conchas de crepídula en adoquines de concreto permeable (Nguyen, 2013). En este estudio se verificó la gran capacidad de absorción que tienen las conchas, lo cual determina la cantidad de agua a utilizar. También se muestra la influencia de la distribución, forma y tamaño de las partículas de las conchas, siendo estos parámetros muy importantes para lograr una resistencia a la compresión aceptable. En los reemplazos de tamaños de 4/6.3mm resultó una mezcla menos resistente que el diseño con agregados naturales, debido a la forma plana y además la parte hueca de la partícula hace difícil el relleno con la pasta de cemento. Estos dos factores hicieron que la resistencia a compresión sea menor que la muestra de control.

En el año 2014, Nizama analizó el uso de RCA triturado como agregado para la fabricación de concreto de baja resistencia, reemplazando el agregado grueso por RCA en tamaños de 1" y 3/4" concluyendo que se puede reemplazar hasta un 40% del agregado grueso para obtener un concreto con características mecánicas adecuadas, sin disminución de la trabajabilidad.

Es evidente entonces que la forma y textura de las partículas interactúan con la distribución y el acomodo de las partículas de RCA produciendo variaciones significativas en la trabajabilidad de una mezcla de concreto.

La necesidad de evaluar las características físicas del RCA surge de la idea de utilizar este recurso como un agregado total en el diseño de mezclas de concreto. Es importante incluir en este estudio la influencia de la forma y la textura para obtener un posible concreto trabajable y que alcance una resistencia a la compresión aceptable, es decir, que reúna las características para que pueda ser utilizado en construcción.

Mindess y Alexander (2005) explican que la textura rugosa de una partícula requiere siempre más contenido de agua en la mezcla, es decir, este tipo de textura influye disminuyendo la trabajabilidad. Este fenómeno se debe a que una partícula con textura rugosa tiene más área superficial que una partícula lisa de la misma forma y tamaño; al tener más área que recubrir se necesitará mayor cantidad de pasta y, por tanto, mayor cemento para mantener la misma relación agua - cemento.

Si bien la textura de las partículas influye en la mezcla de concreto su efecto es más notorio cuando la partícula tiene una forma que afecte la trabajabilidad del concreto. El RCA tiene una textura rugosa en la cara externa y una textura lisa en la cara interna, por lo tanto, es de esperarse según lo explicado anteriormente que sí existirá una influencia en la trabajabilidad. Dado que, aproximadamente la mitad de la superficie del RCA es lisa (cara interna), es claro que se disminuirá la trabajabilidad con respecto a una partícula que lo fuera en su totalidad.

La forma de una partícula tiene una influencia mayor en el estado fresco del concreto que en el estado endurecido. En relación a la pasta de cemento, una partícula con menor superficie específica como las cúbicas y las redondeadas necesitarán mucho menos pasta de cemento que una partícula elongada y aplanada (Shilstone, 1999) para lograr la misma trabajabilidad. El problema con las partículas aplanadas parte en que al acomodarse tendrán un alto contenido de vacíos, esto significa una mayor necesidad de agregado fino para que se logre un concreto manejable. Debido a esto, la presencia de unas partículas aplanadas requiere la presencia de mayor cantidad de partículas finas para lograr la misma densidad o empaquetamiento, incrementando la finura de la mezcla de agregados. Por lo tanto, se tendrá una mayor superficie específica lo que significa una mayor necesidad de pasta de cemento (Legg, 1998).

Visto esto, se puede predecir el comportamiento que tendrán los RCA como agregado en el concreto: La forma aplanada de este tipo de partículas tendrá un efecto en el concreto si es que se utiliza como agregado total. Se espera una disminución en la trabajabilidad del concreto en estado fresco, pues es probable que al ser planas el acomodo entre ellas sea de manera horizontal. Esto dificultaría notoriamente la compactación del material lo cual produciría una disminución de la resistencia en el concreto endurecido. Pero nuevamente, esto sería más evidente cuando las partículas tengan un tamaño grande, probablemente mayores a 3/4", como lo evidencia el trabajo de Nizama (2014). Él realiza un estudio de reemplazo de RCA triturados en tamaños de 1" y 3/4" en lugar de agregados pétreos, logrando hallar que, si es que se reemplaza más del 40% en peso, la trabajabilidad disminuye notoriamente. Sin embargo, recomienda utilizar un reemplazo en tamaños más pequeños, pues infiere que al reducir el tamaño de reemplazo la forma de las partículas de RCA tenderá a ser más cúbica, reduciendo la posibilidad de producir un efecto negativo en las propiedades del concreto.

Sin embargo, se ha visto también que la forma y textura no es el único parámetro de los agregados que influye en el comportamiento del concreto, sino fundamentalmente la granulometría. De algún modo se postula que, si se tienen dos agregados con la misma granulometría, pero con forma y textura de partículas diferentes se deberían obtener valores de trabajabilidad y resistencia también diferentes.

Luego del estudio realizado por Nizama (2014), existe la incertidumbre de que la disminución en la trabajabilidad y resistencia observadas sean consecuencia sólo del tamaño y forma de la concha (entre 1" y 3/4") y no de la distribución granulométrica deficiente. Se postula entonces que, si se usara una correcta granulometría que brinde un

acomodo especial y facilite una distribución favorable entre partículas, se pueda utilizar el RCA como agregado total. Es claro que las características determinantes en el estado fresco del concreto son la forma, textura y la granulometría, sin embargo, en este caso el presente estudio busca evaluar el efecto de la forma y textura de la partícula de RCA en el concreto, manteniendo la granulometría como óptima. Es por eso que se propuso trabajar con una granulometría ideal que garantice un buen empaquetamiento del agregado global, una correcta distribución de tamaños y el perfecto acomodo de las partículas.

1.9.1 Curva Granulométrica de Fuller y Thompson (1907)

Los investigadores R.B. Fuller y J. Thompson han estudiado las características granulométricas, de forma y superficie de los agregados, relacionándolas con la compacidad de los agregados con la finalidad de encontrar una curva granulométrica óptima de los agregados para la fabricación de concreto independientemente de su forma y textura.

En el año 1907 Fuller y Thompson proponen una curva granulométrica continua y basan en ella un método de dosificación científica de concretos conocido como Método de Fuller. Ellos sustentaban la teoría que, usando una curva granulométrica óptima, es decir obteniendo una cantidad mínima de vacíos, podría mejorarse la resistencia mecánica y otras propiedades del concreto.

Este trabajo concluye en que toda curva óptima presenta un comportamiento elíptico en su fracción fina, incluyendo al cemento. Sin embargo, para obtener la curva sólo para el agregado, se puede utilizar una fórmula de la cual se obtiene una curva de forma parabólica. La fórmula es la siguiente:

$$P = 100 \sqrt{\frac{d}{D}} \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Donde P es el porcentaje de material que pasa por el tamiz de abertura d y D es el tamaño máximo del agregado. En la tabla 1.5 se muestra el desarrollo de la fórmula para diferentes tamaños máximos de agregado, mostrando las distintas granulometrías para cada curva.

Tabla 1.5. Gradaciones ideales corregidas de agregados para concreto expresadas en el porcentaje que pasa.

MALLA	FULLER Y THOMPSON				
	TAMAÑO MÁXIMO				
PULGADAS	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"
3"	100				
2"	81	100			
1 1/2"	69.8	86.1	100		
1"	56.5	69.6	80.8	100	
3/4"	48.5	59.7	69.4	85.8	100
3/8"	33.4	41.1	47.8	59	68.8
N° 4	22.7	27.9	32.5	40.1	46.8
N° 8	15.2	18.6	21.6	26.7	31.2
N° 16	9.8	12	14	17.1	20.1
N° 30	6	7.3	8.6	10.5	12.4
N° 50	3.3	4.1	4.7	5.7	6.8
N° 100	1.4	1.7	2	2.4	2.8

Fuente: ICPC (1974)

La granulometría de tamaño máximo de 1” propuesta por Fuller y Thompson se utilizará para evaluar el desempeño de las partículas de RCA triturado como agregado total en el concreto con el fin de demostrar la hipótesis mencionada anteriormente.

Capítulo 2

Estudio de las propiedades físicas del residuo de concha de abanico triturado

En este capítulo se realizará un estudio de las propiedades determinantes para definir el uso del RCA triturado como agregado en el concreto.

2.1 Concha de Abanico

La Concha de Abanico es un molusco filtrador de dos valvas, cuyo nombre científico es *Argopecten Purpuratus*, perteneciente a la familia *Pectinidae*, la cual engloba un gran número de especies conocidas internacionalmente como "vieiras".

Actualmente en la Provincia de Sechura, del departamento de Piura, se localizan dos botaderos de los residuos de este molusco. El primero se encuentra a 2 Km de la ciudad y cuenta con un área aproximada de 35000 m². Este botadero está colmado en su capacidad y por lo tanto no se utiliza en la actualidad. Los residuos que se encuentran en este lugar no contienen demasiada materia orgánica debido a la descomposición que han sufrido a lo largo del tiempo que han pasado en este depósito.

El segundo, que se encuentra a 3.5 Km de la ciudad, es el que se utiliza actualmente como depósito de estos residuos provenientes de las fábricas ubicadas en la ciudad. Consta de una extensión de 90000 m². A diferencia del primer botadero, los residuos depositados en este lugar se encuentran con material orgánico aún en descomposición, debido a esto el olor es nauseabundo y la presencia de moscas es mucho mayor que en el primer botadero.

Los residuos escogidos para este proyecto fueron extraídos del primer botadero (figura 2.1) para evitar el proceso de eliminar la parte orgánica del interior de la valva. Si bien la presencia de materia orgánica es poca, sí está contaminada con arena fina y arcillas, por lo que las conchas extraídas se sometieron a un proceso de lavado y secado para eliminar las impurezas que contenían tanto en la parte externa como interna de la valva o concha. El proceso de lavado fue manual (figura 2.2), sumergiendo los caparazones en agua potable común durante unos tres días para facilitar el desprendimiento de las impurezas; luego se utilizó una escobilla para limpiarlos.

Finalmente, se extendieron sobre una superficie amplia para facilitar el proceso de secado al aire libre.



Figura 2.1. Conchas de abanico en el primer botadero de Sechura. Fuente: Elaboración propia.



Figura 2.2. Proceso de lavado manual. Elaboración propia.

2.2 Residuo de concha de abanico triturado

Para esta investigación se utilizó el caparazón de la concha previamente lavado y se trituró manualmente con combas pequeñas. Con cada golpe realizado se lograban distintos tamaños, desde partículas grandes hasta partículas muy finas. Finalizado el proceso de trituración se procedió a separar las partículas por tamaños, de acuerdo a los tamices necesarios para la investigación (figura 2.3).



Figura 2.3. Proceso de tamizado de residuos de concha de abanico triturados. Fuente: Elaboración propia.

El resultado del proceso de tamizado se muestra en las figuras 2.4 a 2.13, en las cuales se puede observar a detalle la diferencia de tamaños entre los distintos retenidos de las mallas por las cuales se realizó el proceso de tamizado.



Figura 2.4. Partículas retenidas en tamiz 3/4". Fuente: Elaboración propia.



Figura 2.5. Partículas retenidas en tamiz 1/2". Fuente: Elaboración propia.



Figura 2.6. Partículas retenidas en tamiz 3/8". Fuente: Elaboración propia.



Figura 2.7. Partículas retenidas en tamiz #4. Fuente: Elaboración propia.



Figura 2.8. Partículas retenidas en tamiz #8. Fuente: Elaboración propia.



Figura 2.9. Partículas retenidas en tamiz #16. Fuente: Elaboración propia.



Figura 2.10. Partículas retenidas en tamiz #30. Fuente: Elaboración propia.



Figura 2.11. Partículas retenidas en tamiz #50. Fuente: Elaboración propia.



Figura 2.12. Partículas retenidas en tamiz #100. Fuente: Elaboración propia.



Figura 2.13. Partículas retenidas en tamiz #200. Fuente: Elaboración propia.

2.3 Propiedades físicas del residuo de concha de abanico triturado

Para evaluar las propiedades físicas del RCA triturado se elaboró una muestra con las características granulométricas de la curva propuesta por Fuller y Thompson explicada en el punto 1.9.1. Las propiedades evaluadas se muestran en la tabla 2.1. En el caso de la forma y textura se ha optado por estudiarlas en un apartado diferente pues estas propiedades son determinantes en este estudio.

Tabla 2.1 Propiedades físicas del RCA triturado.

Propiedades físicas	Especificación de material	RCA
		Fuller y Thompson
Módulo de Fineza	Fracción Fina	3.44
Densidad suelta (kg/m ³)	Fracción Fina	1,185
	Fracción Gruesa	842
Densidad compactada (kg/m ³)	Fracción Fina	1,450
	Fracción Gruesa	985
Peso específico SSS (Gs)	Fracción Fina	2.60
	Fracción Gruesa	2.62
Absorción (%)	Fracción Fina	1.06
	Fracción Gruesa	1.60
Humedad (%)	Fracción Fina	0.33
	Fracción Gruesa	0.34

Fuente: Informes N° 162471 y 162472 del LEMC de la Universidad de Piura.

2.3.1 Módulo de fineza

El módulo de fineza depende de la granulometría que ha tomado el agregado, en este estudio se ha utilizado la granulometría de Fuller y Thompson, por lo tanto el resultado de este parámetro es debido a las características de esa curva. El resultado mostrado en la tabla 2.1 es 3.44, este número indica que este agregado es considerado como una "arena" gruesa de acuerdo a la tabla 1.4, lo cual indica que la fracción fina del RCA tendrá una superficie específica baja y no requerirá una gran cantidad de pasta, aunque la mezcla producida se tornará áspera por la naturaleza gruesa de la granulometría.

2.3.2 Densidad suelta y compactada

Para hallar la densidad suelta se siguió el procedimiento brindado por la norma NTP 400.017 1999, sin embargo, para la densidad compactada se optó por no varillar el agregado pues al realizar este proceso el RCA se fracturaba en partes más pequeñas y la cantidad que se colocaba era mayor además de perder la granulometría con la que se necesitaba trabajar. Para lograr el valor de la densidad compactada se utilizó un martillo de goma y se golpeó los costados del recipiente 25 veces para lograr una compactación sin modificar la granulometría.

La densidad del RCA triturado obtenida en la fracción gruesa, tanto suelta como compactada, clasifica al RCA como un agregado ligero pues su valor es menor que 1120 kg/m³ (Landgren, 1994). Al tener esta característica se puede esperar que el concreto producido con este agregado sea un concreto ligero con un peso unitario del concreto menor al convencional.

En el caso de la fracción fina el valor de la densidad suelta y compactada la clasifica como un agregado normal pues es mayor que 1120 kg/m^3 y menor que 1760 kg/m^3 . Esto se debe a que al triturar el RCA a tamaños que pasan la malla #4 (4.75mm), las partículas generan menos vacíos y es por eso que la relación entre su peso y volumen es parecida a la densidad de un agregado pétreo.

2.3.3 Peso específico

Los valores obtenidos con el RCA triturado, 2.6 y 2.62, los cuales están en el rango de un agregado convencional el cual es de 2.2 hasta 3.0 (Mindess y Alexander, 2005). Esto indica que el peso específico de la concha de abanico triturada no será un factor determinante en el comportamiento del concreto pues no existe un resultado fuera de lo convencional en este parámetro.

2.3.4 Absorción y humedad

La capacidad de absorción y el contenido de humedad son parámetros importantes en el diseño de mezcla de concreto pues con estos valores se calcula la cantidad de agua que la mezcla necesita para obtener una determinada trabajabilidad. También brindan un alcance del estado de porosidad del agregado, el cual es importante pues si es alto puede afectar a la resistencia a compresión del concreto disminuyéndola.

En el caso del RCA triturado la absorción es menor al 3% por lo tanto es un agregado convencional y puede ser utilizado sin problemas en el diseño de concreto pues esta propiedad no afectará a ninguna de las propiedades de este (Mindess y Alexander, 2005). El contenido de humedad también es bajo y no generará inconvenientes en las propiedades del concreto en estado fresco.

2.4 Estudio de la forma y textura del residuo de concha de abanico como agregado

Como se ha mencionado en el capítulo 1 la forma influye en la compacidad de la mezcla de concreto, en la demanda de pasta de cemento, trabajabilidad y en las propiedades mecánicas del concreto. León (2010) afirma que no sólo la forma influye en el estado fresco, sino que importa también la textura, porque ambas juegan un papel importante en el peso unitario compactado y en el desarrollo del concreto en estado fresco, además de afectar indirectamente la resistencia mecánica, pues depende de la forma del agregado para obtener una correcta compactación y colocación del concreto.

En este caso, las partículas de RCA tienen una forma plana y una textura diferente en sus dos caras. En las figuras 2.4 - 2.13, se puede notar que desde los tamaños retenidos en la malla de 3/4" hasta la malla #16 las partículas aún presentan una doble textura, sin embargo, a partir de la malla #30 hasta la #200 las partículas presentan uniformidad en relación a ella. Es claro entonces que, para tamaños grandes, la textura actuará de manera diferente que para los tamaños pequeños, pues en los primeros se pueden diferenciar las dos diferentes texturas, en cambio para los tamaños pequeños no se logra notar una diferencia. Por ello se requiere analizar de forma separada la forma y textura del RCA triturado como agregado fino y como agregado grueso.

Para verificar la angulosidad del RCA triturado, se realizó el ensayo de angularidad en las partículas pequeñas (agregado fino) y el ensayo de partículas chatas y alargadas en las partículas grandes (agregado grueso) manteniendo la granulometría propuesta por Fuller y Thompson. Para este caso se utilizó la curva granulométrica de tamaño máximo 1" mostrada en la tabla 1.5. Se separó la fracción gruesa de la fracción fina, a partir del tamiz

#4, es decir la fracción gruesa contempla las partículas que pasan la malla de 1" y se retienen en la malla #4 y la fracción fina comprende las partículas que pasan la malla #4 y se retienen en la malla #200.

2.4.1 Estudio de la forma y textura del residuo de concha de abanico como agregado fino

2.4.1.1 Ensayo de Angularidad del agregado fino (MTC E222 - 2000)

El ensayo de angularidad aplicado es un proceso en el cual se separa el material que pasa el tamiz #8 y el que retiene la malla #200, luego se obtiene la gravedad específica bruta (Gsb) del agregado y se vierte en el embudo mostrado en la figura 2.14 para luego caer en un cilindro pequeño, se enrasa y se calcula el valor de la angularidad. El resultado de este ensayo indica el porcentaje de vacíos que tiene el agregado en estado suelto, de acuerdo a este porcentaje se puede inferir si un material es anguloso o redondeado. Si el resultado es alrededor de 30% se puede decir que el material utilizado contiene partículas redondeadas, en cambio si este valor está alrededor de 50%, el material tiene partículas angulosas.



Figura 2.14 Equipo de ensayo de angularidad. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 2.15 se muestra el ensayo de angularidad con el RCA triturado. Se realizaron tres pruebas obteniendo valores de 55.14%, 55.37% y 55.26%. Estos valores están por encima de 50% lo cual indica que este material tiene partículas angulosas. Esto muestra que a pesar de que la partícula de RCA ha sufrido mucha reducción, mantiene su forma angulosa que se nota en los tamaños grandes. Este valor mayor a 50% muestra la gran cantidad de vacíos que existen entre las partículas en su estado suelto, mucho mayor que un agregado redondeado.



Figura 2.15. Proceso de Ensayo de angularidad con residuos de concha de abanico.
Fuente: Elaboración propia.

Con este ensayo queda comprobada la forma angulosa del RCA para ser utilizado como agregado fino. Esta forma de la partícula genera una mayor necesidad de agua para lograr la trabajabilidad deseada, por lo tanto, su presencia reducirá la trabajabilidad de la mezcla

En la figura 2.16 se muestra el agregado analizado, se puede notar que aún existen partículas planas, pero de menor tamaño, específicamente en los tamices #8 (figura 2.8) y #16 (figura 2.9), a partir de la malla #30 (figura 2.10) hasta la malla #50 (figura 2.11) la partícula deja de ser plana y empieza a tener una forma de aguja, se ha planteado la teoría de que el RCA está formado por la unión de varias láminas que al ser trituradas hasta un nivel tan reducido se muestran como una especie de agujas. Es probable que esta forma demasiado angulosa sume un mayor efecto en la disminución de la trabajabilidad, pues el acomodo entre estas partículas dejará una gran cantidad de espacios vacíos, tal y como muestran los resultados del ensayo de angularidad, que serán llenados con cemento y agua, es decir, el agregado fino dejará de funcionar como tal y el único aglomerante será el cemento, lo cual nos lleva a una necesidad mayor de pasta de cemento para recubrirlo.



Figura 2.16 A. RCA como agregado fino (Partículas que pasan el tamiz #4 y son retenidas en el tamiz #200).

B. Acercamiento a figura A.

C. Material mostrado en figura A en menor cantidad. Fuente: Elaboración propia.

2.4.2 Estudio de la forma y textura del residuo de concha de abanico como agregado grueso

2.4.2.1 Ensayo de partículas chatas o alargadas en el agregado grueso (NTP 400.040 1999)

El ensayo de partículas chatas y alargadas tiene un proceso en el cual las partículas de un tamaño determinado por tamizado son medidas para establecer relaciones entre su ancho a espesor y su largo a ancho. Se eligió una muestra del tamaño máximo 1" generada con la granulometría de Fuller y Thompson mostrada en la tabla 1.5 y se tamizó hasta la malla 3/8" obteniendo retenidos en las mallas 3/4", 1/2" y 3/8". Cada uno de estos tamaños se evaluó de acuerdo al método especificado en la norma NTP 400.040 1999 con una relación 1:3 debido a lo especificado en el apartado 1.1.1. En la figura 2.17 se muestra el ensayo realizado.



Figura 2.17 Ensayo de Partículas chatas y alargadas. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados se muestran en la tabla 2.2, donde se observa que casi la totalidad de las partículas son chatas, esto quiere decir que el ancho de la partícula es mayor a 3 veces el espesor de la partícula. Estas partículas chatas también son llamadas planas, debido a su forma parecida a la de un plano, como ya se ha mencionado anteriormente el efecto es muy perjudicial para el concreto debido a que el acomodo que se logrará será en planos horizontales lo cual dificulta la compactación y por ende la trabajabilidad será muy baja.

Tabla 2.2 Resultados del ensayo de partículas chatas y alargadas en fracción gruesa de RCA.

Abertura del tamiz (pulg)	Gradación de la muestra original (%)	Partículas chatas		Partículas alargadas		Partículas ni chatas ni alargadas	
		% en peso de la fracción	Promedio ponderado	% en peso de la fracción	Promedio ponderado	% en peso de la fracción	Promedio ponderado
1 1/2 - 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1 - 3/4	34.63	98.70	34.18	0.00	0.00	1.30	0.45
3/4 - 1/2	40.98	99.54	40.79	0.00	0.00	0.41	0.17
1/2 - 3/8	24.39	98.85	24.11	0.00	0.00	0.85	0.21
Total	100.00		99.1		0.0		0.8

Fuente: Informes N° 162474 del LEMC de la Universidad de Piura.

2.5 Análisis de la forma y textura del residuo de concha de abanico

Se ha verificado que las partículas de RCA triturado tienen una forma chata como fracción gruesa y una forma angulosa como fracción fina. En la literatura se menciona que su forma chata tiene efectos significativos en el comportamiento del concreto, disminuyendo su trabajabilidad, disminuyendo la resistencia y requiriendo mayor cantidad de pasta por volumen. A esto se suma el hecho de que las partículas de conchas tienen un peso unitario menor, ocupando un mayor volumen para un mismo peso de material. Si se compara el volumen de un agregado pétreo con el RCA en el mismo tamaño, se puede notar que una partícula de agregado pétreo equivale a un número mayor de partículas de RCA juntas. Esto da una idea de que será necesaria una mayor cantidad de pasta de cemento para cubrir en su totalidad el área superficial de las partículas de RCA, lo cual exigirá una cantidad de pasta mayor que la usada con agregados convencionales.

Todo este comportamiento es controlable cuando se usa una fracción de reemplazo del agregado pétreo, pues este efecto no siempre se nota o en algunos casos, podría significar una mejora. Pero cuando se requiere hacer un reemplazo total del agregado, tanto grueso como fino, los efectos serán más notorios y extremos. Por lo tanto, hacer una evaluación de los efectos de la partícula de concha en el concreto manteniendo la granulometría propuesta por Fuller y Thompson podría dar luces sobre un comportamiento donde el concreto obtenido tenga una baja trabajabilidad, debido al mayor requerimiento de cantidad de pasta por volumen y una resistencia a compresión baja pues la forma totalmente plana de la partícula determina el acomodo de las partículas en planos horizontales los cuales disminuirán la resistencia a compresión para la cual se diseñó el concreto.

Capítulo 3

Verificación del efecto de la forma y textura del residuo de concha de abanico en el concreto

Para verificar el efecto de la forma del RCA triturado y descartar su uso como agregado total en el concreto, se planteó usar la curva granulométrica propuesta por Fuller y Thompson, explicada en el capítulo 1. Esta decisión se tomó para demostrar cuán importante es el efecto que tiene la forma y textura del RCA triturado pese a utilizar una granulometría ideal como es la de Fuller y Thompson, lo cual significaría obtener un concreto trabajable y con un correcto acomodo entre partículas. Para poder hacer la comparación, se propuso usar los agregados pétreos naturales manteniendo la misma granulometría anterior del RCA. Sin embargo, para lograrlo, se requería triturar y tamizar los agregados, lo cual no reflejaría la condición real de los agregados disponibles en la región. Por lo tanto, se decidió ajustar la granulometría de los agregados pétreos a la curva granulométrica de Fuller y Thompson obteniendo así una segunda curva muy cercana a la ideal. Dado que los agregados pétreos tenían una granulometría diferente a los RCA anterior, se decidió probar este residuo pero con una granulometría similar a la de los agregados pétreos naturales. De este modo, se lograron tener tres materiales, con cada uno de los cuales se realizó un diseño de mezcla diferente.

Los 3 diseños de mezcla fueron: el primero usando la granulometría propuesta por Fuller y Thompson solo con RCA como agregado global (CFT). Un segundo diseño con la granulometría de los agregados naturales ajustados a Fuller y Thompson con agregados pétreos (AAF) y un tercer diseño con esta última granulometría pero con el RCA (CAF). El esquema de los tres diseños estudiados se muestra en la figura 3.1.

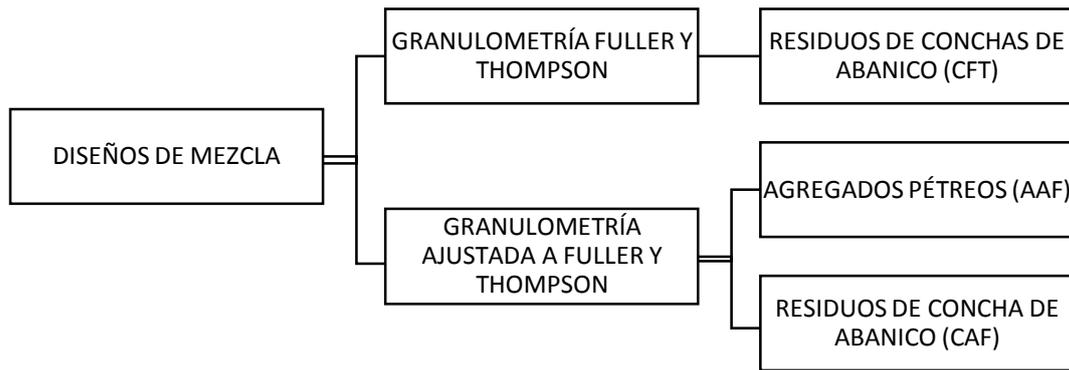


Figura 3.1 Esquema de los diseños de mezcla propuestos. Fuente: Elaboración propia.

3.1 Materiales utilizados

Para elaborar las mezclas de concreto se utilizaron las conchas de abanico trituradas evaluadas en el capítulo 2 además de los materiales detallados a continuación:

3.1.1 Cemento Portland MS

Conocido comercialmente como cemento "Antisalitre con Fortimax 3", es un cemento con adiciones de escoria de altos hornos, el cual brinda al concreto una resistencia moderada a los sulfatos (componente MS), con moderado calor de hidratación (componente MH) y resistente a los agregados álcali-reactivos (componente R). Además, ante suelos húmedos que contienen sulfatos y sustancias salitrosas que causan daños al concreto, este cemento brinda más resistencia a la agresión química debido a la acción química que contienen sus adiciones. Entre otra de sus cualidades se encuentra que este cemento desarrolla con el tiempo una resistencia mecánica superior a la del cemento de uso común. Las aplicaciones más comunes de este cemento son:

- Concreto con exposición moderada a los sulfatos
- Estructuras en contacto con ambientes y suelos húmedos-salitrosos
- Estructuras en ambiente marino
- Obras portuarias
- Concreto en clima cálido
- Estructuras de concreto masivo
- Concreto compactado con rodillo
- Obra con presencia de agregados reactivos
- Pavimentos y losas

El cemento tipo Ms está normado por la ASTM C 1157 y en el Perú por la NTP 334.082. Tiene una composición de 65% de clinker, 30% de escoria y 5% de yeso. Es comparado con el Cemento Tipo II, pues tiene los mismos requisitos físicos, con la única diferencia en el tiempo de fraguado, que para el Tipo MS es de 420 minutos y para el Tipo II de 375.

3.1.2 Agregado grueso

Este material proviene de la cantera Sojo, ubicada a la altura del Km.1019+000 y con respecto a la Carretera Sullana – Paita se ubica en el Km. 15+163. Esta cantera es

administrada por la Municipalidad Distrital de Miguel Checa. El acceso a la cantera se ubica al lado izquierdo de la carretera y a una distancia de 2 Km del eje de la misma, encontrándose en buen estado de transitabilidad. La potencia estimada de esta cantera es de 35,000 m³. En la figura 3.2 se muestra la ruta desde Piura hacia la cantera Sojo.



Figura 3.2 Ubicación de la cantera Sojo. Fuente: Google Maps 2015.

La grava ha sido sometida a un proceso de trituración mecánica. En el mercado local se conoce con el nombre de "Agregado triturado de tamaño 3/4", por su tamaño máximo nominal de 3/4". En la figura 3.3 se muestra el agregado utilizado para esta investigación.



Figura 3.3 Agregado Grueso Triturado. Fuente: Elaboración propia.

El agregado grueso triturado utilizado es considerado según la clasificación SUCS como una grava mal graduada (GP), sin arcillas ni materia orgánica. Esta clasificación se da si el valor del coeficiente de curvatura (C_c) no se encuentra en el rango de [1;3], indicando que es un agregado que no tiene variedad de tamaños, o el valor del coeficiente de uniformidad (C_u) es menor a 4, lo cual indica que esta gradación es uniforme. Estos parámetros se obtienen mediante las siguientes ecuaciones:

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10} \times D_{60})} = \frac{(10)^2}{(6 \times 14.5)} = 1.149 \quad \text{Ecuación 3.1}$$

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{14.5}{6} = 2.417 \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Los valores de D_{60} , D_{30} y D_{10} son 14.5mm, 10mm y 6mm respectivamente. Estos fueron obtenidos de la curva granulométrica mostrada en la figura 3.4. En este caso se cumple que el valor de Cu es menor a 4, por lo tanto, se clasifica como grava mal graduada (GP).

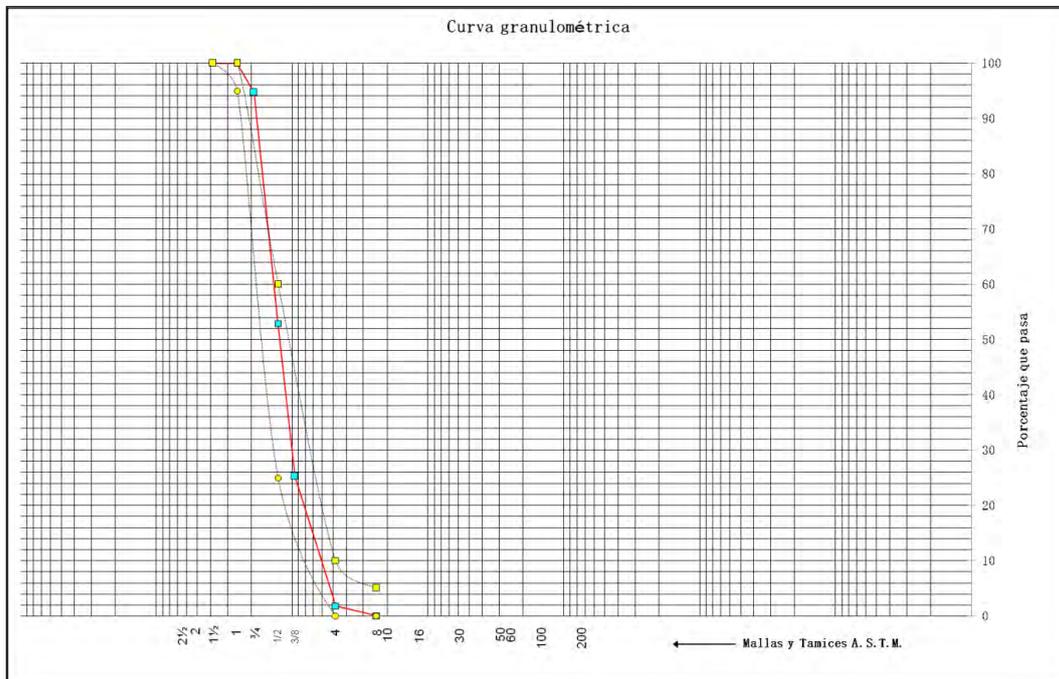


Figura 3.4. Análisis granulométrico del agregado grueso. Fuente: Informe N° 162463 del LEMC de la Universidad de Piura.

Los parámetros físicos de este agregado necesarios para el proceso experimental se muestran en la tabla 3.1. Para hallar estos parámetros se realizaron los ensayos respectivos en el LEMC de la Universidad de Piura. Los certificados de dichos resultados se encuentran en el Anexo B.

Tabla 3.1 Parámetros físicos del agregado grueso.

Parámetro	Norma	
Tamaño máximo nominal mm (pulg.)		3/4"
Densidad Suelta (kg/m^3)	NTP 400.017 1999	1445.00
Densidad Compactada (kg/m^3)	NTP 400.017 1999	1590.00
Peso específico (Sup. Sec. Sat)	NTP 400.021 1979	2.80
Absorción (%)	NTP 400.021 1999	1.30
Humedad (%)	NTP 339.127 1998	0.68

Fuente: Informe N° 162468 del LEMC de la Universidad de Piura.

3.1.3 Agregado fino

El agregado fino es una arena natural procedente de la cantera "Chulucanas", ubicada en la cuenca del Río Piura en el Distrito de Chulucanas a 3 km. de la ciudad del mismo nombre. En la figura 3.5 se muestra la ruta desde Piura hacia la Cantera Chulucanas.



Figura 3.5 Ubicación de la Cantera Chulucanas. Fuente: Google Maps 2015.

El agregado fino utilizado se muestra en la figura 3.6, en la cual se pueden observar los diferentes tamaños de partículas que conforman este agregado. Para poder utilizarlo en el diseño de mezcla se realizó un tamizado previo por la malla de 3/8" debido a la presencia de partículas grandes de arcilla que son perjudiciales para el concreto pues pueden absorber parte del agua de la mezcla provocando una disminución en la trabajabilidad además de afectar la durabilidad y la resistencia al desgaste.



Figura 3.6 Agregado fino. Fuente: Elaboración propia.

El agregado fino utilizado es considerado según la clasificación SUCS como una arena mal graduada (SP), sin arcillas ni materia orgánica. Esta clasificación se da si el valor de Coeficiente de concavidad (C_c) no se encuentra en el rango de $[1;3]$, indicando que es un agregado que no tiene variedad de tamaños, o el valor del Coeficiente de uniformidad (C_u) es menor a 6, lo cual indica que esta gradación es uniforme. Estos parámetros se obtienen mediante las ecuaciones 3.1 y 3.2 anteriores.

Los valores de D_{60} , D_{30} y D_{10} son 0.6mm, 0.37mm y 0.22mm respectivamente. Estos fueron obtenidos de la curva granulométrica mostrada en la figura 3.7. En este caso se cumple que el valor de C_u es menor a 6, por lo tanto, se clasifica como grava mal graduada (GP).

Los parámetros físicos del agregado fino necesarios para el proceso experimental se presentan en la tabla 3.2. Para hallar estos parámetros se realizaron los ensayos

respectivos en el LEMC de la Universidad de Piura. Los certificados de dichos resultados se encuentran en el Anexo B.

Tabla 3.2 Parámetros físicos del Agregado Fino.

Parámetro	Norma	
Tamaño máximo nominal mm (pulg.)		2.31
Densidad Suelta (kg/m ³)	NTP 400.017 1999	1437
Densidad Compactada (kg/m ³)	NTP 400.017 1999	1543
Peso específico (Sup. Sec. Sat)	NTP 400.021 1979	2.46
Absorción (%)	NTP 400.021 1999	1.56
Humedad (%)	NTP 339.127 1998	0.85

Fuente: Informe N° 162467 del LEMC de la Universidad de Piura.

Esta arena proveniente de la cantera Chulucanas tiene un módulo de finura de 2.31 como se observa en la tabla 3.2. Esto significa que es un agregado de fineza media según Mindess y Alexander (Ver tabla 1.4). Si bien su módulo de finura se encuentra por debajo del rango recomendado por la norma técnica peruana para la fabricación de concreto (2.4 - 3.1), este agregado se puede utilizar ya que se puede esperar que no producirá segregación del agregado grueso tal y como se explicó en el punto 1.2.4.

En la figura 3.7 se muestra el análisis granulométrico del agregado fino utilizado y se observa que la curva granulométrica se encuentra dentro de los límites dados por la norma NTP 400.037-2002, salvo por un tamaño; sin embargo, en líneas generales este agregado es aceptable para el diseño de mezcla a realizar.

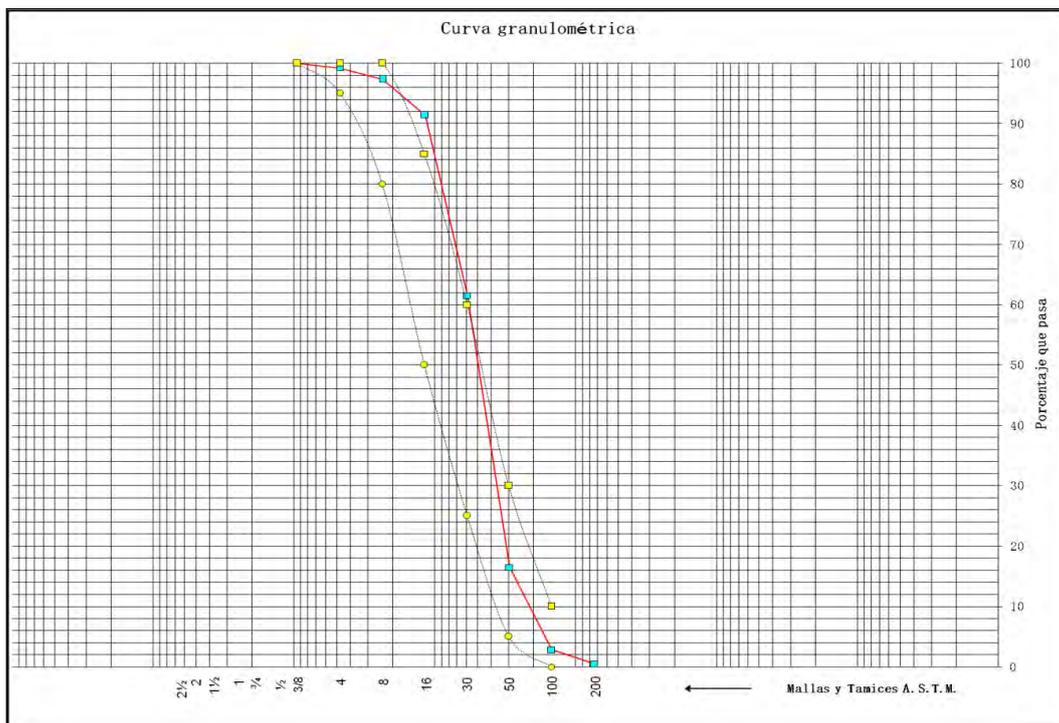


Figura 3.7. Análisis Granulométrico del Agregado fino. Fuente: Informe N° 162462 del LEMC de la Universidad de Piura.

3.2 Preparación del agregado pétreo

3.2.1 Curva granulométrica propuesta por Fuller y Thompson

Debido a que el agregado grueso a utilizar tiene un tamaño máximo de 1", se ha escogido la curva granulométrica del mismo tamaño, la cual es mostrada en la tabla 3.3 y en la figura 3.8.

Tabla 3.3. Granulometría de la curva de Fuller y Thompson.

Abertura (mm)	Tamiz ASTM	Pasa %
25.4	1"	100
19.1	3/4"	85.8
12.7	1/2"	69.0
9.53	3/8"	59.0
4.76	4	40.1
2.38	8	26.7
1.19	16	17.1
0.59	30	10.5
0.297	50	5.7
0.149	100	2.4
0.074	200	0

Fuente: Fuller, 1907.

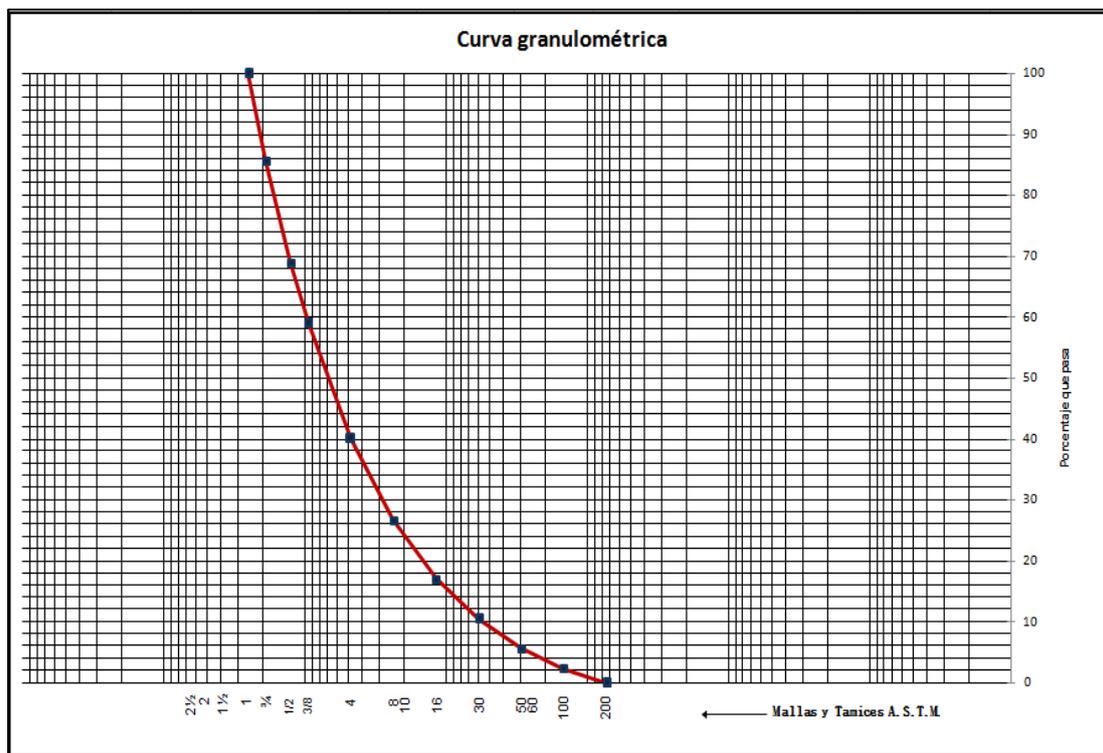


Figura 3.8. Curva Granulométrica de Fuller y Thompson. Fuente: Elaboración propia.

Esta curva será utilizada para realizar un diseño de mezcla de concreto con RCA triturado como agregado total.

Para lograr que el agregado pétreo tenga una granulometría parecida a la granulometría propuesta por Fuller y Thompson, se realizó la combinación de los dos agregados pétreos usando el método de combinación por porcentajes. Como resultado se encontró que era necesario un porcentaje de 70% para el agregado grueso y un 30% de agregado fino. En la tabla 3.4 se muestran los cálculos para encontrar la curva granulométrica ajustada a la curva propuesta por Fuller y Thompson. La combinación se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$(Ag\ Grueso) \times 70\% + (Ag\ Fino) \times 30\% = (Curva\ Ajustada) \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Esta curva granulométrica ajustada a la curva propuesta por Fuller y Thompson será utilizada para realizar dos diseños de concreto, el primero con los agregados pétreos, utilizando el agregado grueso en un 70% y el agregado fino en 30% en peso para lograr la granulometría de la tabla 3.4.

El segundo será con el RCA triturado con la granulometría obtenida en la tabla 3.4.

Tabla 3.4. Porcentajes que pasan de la curva granulométrica ajustada a la curva propuesta por Fuller y Thompson.

TAMIZ ASTM	Ag Grueso	Ag. Fino	Curva Ajustada
1"	100	100	100.0
3/4"	95	100	96.5
1/2"	53	100	67.1
3/8"	25	100	47.5
4	2	99	31.1
8	0	97	29.1
16	0	91	27.3
30	0	61	18.3
50	0	16	4.8
100	0	3	0.9
200	0	0	0.0

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3.9 se presenta la curva granulométrica propuesta por Fuller y Thompson y la obtenida con la combinación de los dos agregados usando el método de combinación por porcentajes. Se puede observar que no son tan cercanas. Esto se debe a las características propias de los agregados usados, a los que les faltan determinados tamaños de partículas. Esto no significa que los agregados no tengan una granulometría adecuada, sino que tienen unas cantidades faltantes de tamaños que son necesarias para que se logre una perfecta combinación con el tamaño de las partículas del cemento (Fuller y Thompson, 1907).

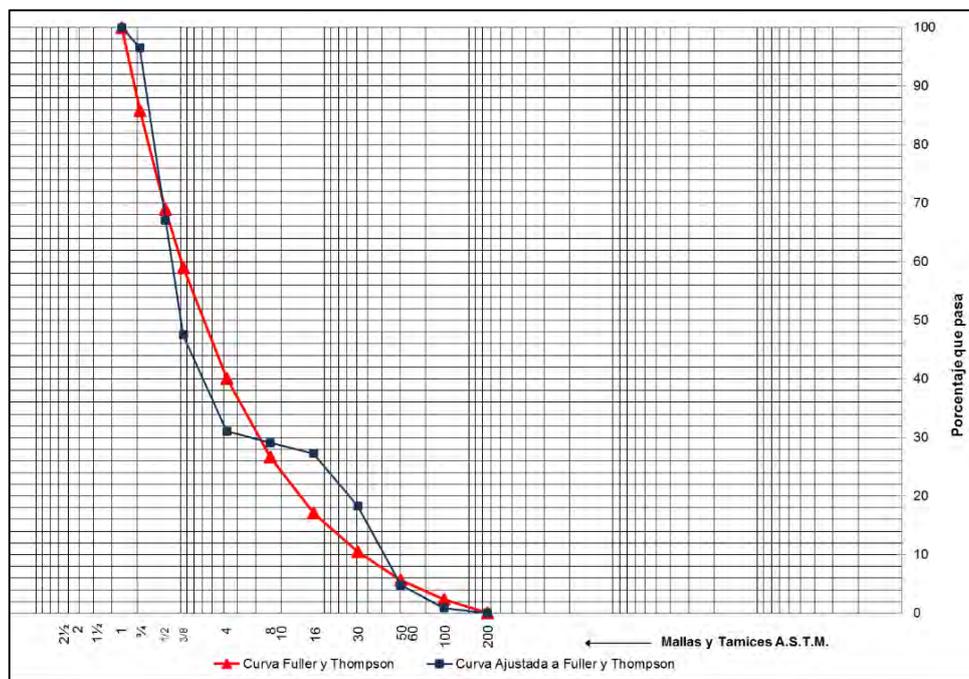


Figura 3.9. Curva granulométrica de Fuller y Thompson (rojo - Δ) y curva granulométrica ajustada a la primera (azul - \square). Fuente: Elaboración propia.

Para la preparación del agregado con RCA triturado, se prepararon dos tipos de granulometría. Una sólo de RCA, que cumpliera con la curva propuesta de Fuller y Thompson y una segunda granulometría que corresponde con la combinación de los agregados pétreos. De este modo es posible tener al menos un diseño donde la granulometría entre el agregado pétreo y el RCA no cambian y sólo se modifica la textura y angulosidad de las partículas.

3.3 Parámetros de los diseños de mezcla

Para poder realizar los diseños de mezcla se realizaron los ensayos a los agregados para obtener los datos de los parámetros necesarios. Estos ensayos fueron realizados en el LEMC de la Universidad de Piura. En la tabla 3.5 se presentan los resultados.

Tabla 3.5 Parámetros de diseño.

Parámetros de diseño	Especificación de material	Diseño CFT	Diseño CAF	Diseño AAF
Módulo de Finura	Fracción Fina	3.44	2.41	2.31
Tamaño Máximo Nominal (pulg)	Fracción Gruesa	3/4"	3/4"	3/4"
Densidad suelta (kg/m ³)	Fracción Fina	1185	1026	1437
	Fracción Gruesa	842	864	1450
Densidad compactada (kg/m ³)	Fracción Fina	1450	1273	1543
	Fracción Gruesa	985	1010	1590
Peso específico SSS (Gs)	Fracción Fina	2.60	2.59	2.46
	Fracción Gruesa	2.62	2.61	2.80
Absorción (%)	Fracción Fina	1.06	1.01	1.56
	Fracción Gruesa	1.60	1.50	1.30
Humedad (%)	Fracción Fina	0.33	0.42	0.85
	Fracción Gruesa	0.34	0.33	0.68

Fuente: Informes N° 162467, 162468, 162469, 162470, 162471 y 162472 del LEMC de la Universidad de Piura.

Se puede observar que el RCA tiene una densidad mucho menor que los agregados naturales, incluso cuando se utiliza una granulometría igual a la de los agregados pétreos. Gracias a esta baja densidad se espera que exista un volumen mayor en el diseño de mezcla, y por lo tanto una necesidad mayor de pasta en el concreto, en comparación de los diseños con agregados pétreos. Esto se explicaría por la forma angulosa de las partículas de RCA triturado en comparación con los agregados pétreos del mismo tamaño.

Por ello, si se mantiene la misma cantidad de materiales, pero se cambia los agregados pétreos por RCA triturado, se tendrá una disminución de la trabajabilidad. En cuanto a la capacidad de absorción, el RCA triturado presenta una capacidad de absorción similar a la del agregado pétreo en tamaños grandes más no en los tamaños pequeños donde es significativamente menor. En ambos casos, este valor pequeño de absorción implicará desprestigiar su efecto en las propiedades de trabajabilidad durante el estado fresco del concreto.

3.4 Diseño de mezcla de concreto

El diseño de mezcla utilizado fue un método parecido al método recomendado por el Comité ACI 211.1 con la modificación en el cálculo del volumen varillado de agregado grueso por unidad de volumen de concreto. Esta modificación se realiza para mantener la proporción entre agregado grueso y agregado fino, manteniendo así las curvas granulométricas con las que se está trabajando. Es debido a esta modificación que no se toma en cuenta el peso unitario suelto ni varillado como se verá en las siguientes páginas.

Los diseños de mezcla se realizaron para un $f'c = 245 \text{ kg/cm}^2$ y por lo tanto un $f'cr = 330 \text{ kg/cm}^2$. El slump de diseño fue de 4", por lo tanto, se eligió una cantidad inicial de agua de 210 litros. De acuerdo al Comité ACI 211.1 se debe utilizar 200 litros, sin embargo, se realizaron unas pruebas de corrección de Slump con los agregados pétreos, pues estos servirán de base para la comparación de datos con el RCA, en el laboratorio y se obtuvo la cantidad de 210 litros. La relación agua-cemento para este $f'c$ es de 0.498. El porcentaje de aire de diseño es de 1.5%.

A continuación, se presenta el método de diseño de mezcla para 1 m^3 para la curva ajustada a Fuller y Thompson con agregados pétreos (AAF).

Cálculo de volumen de agregados en concreto:

Agua: 210 litros	Volumen de Agua:	0.210 m^3
Cemento: $210/0.498 = 421.69 \text{ kg}$	Volumen de Cemento: $421.69/3150 = 0.135 \text{ m}^3$	
Aire: 1.5%	Volumen de Aire:	0.015 m^3
		Total: 0.359 m^3
	Volumen de Agregados: $1 - 0.359 = 0.641$	

Con los datos de la tabla 3.5 se realizaron los siguientes pasos para obtener la proporción de los agregados en volumen absoluto, solamente se explicará el proceso con el tamiz 3/4", cabe resaltar que el proceso se realiza con todos los tamices.

- Se halla el peso OD

$$OD = \frac{Stock}{(1 + Humedad)} = \frac{3.5}{1 + 0.68\%} = 3.476kg$$

- Luego se convierte a SSS

$$SSS = OD(1 + Absorción) = 3.476(1 + 1.3\%) = 3.521kg$$

- Finalmente se halla el Volumen Absoluto

$$Volumen\ absoluto = \frac{SSS}{(Peso\ específico\ SSS \times 1000)} = \frac{3.521}{2.8 \times 1000} = 0.00125m^3$$

Se debe tener en cuenta que desde el tamiz 3/4" hasta el #4 se ha considerado como agregado grueso y desde el #8 hasta el #200 como agregado fino, por lo tanto, los valores de humedad, absorción y peso específico SSS varían para las dos fracciones de acuerdo a los valores dados en la tabla 3.5. Los resultados para cada tamiz se presentan en la tabla 3.6.

Tabla 3.6 Cálculos para hallar el volumen absoluto de la curva ajustada a Fuller y Thompson para agregados pétreos (AAF).

Tamiz	Peso retenido (kg)	OD (kg)	SSS (kg)	Volumen Absoluto (m ³)
3/4"	3.5	3.47636075	3.52155344	0.0012577
1/2"	29.4	29.2014303	29.5810489	0.01056466
3/8"	19.6	19.4676202	19.7206992	0.00704311
4	16.4	16.2892332	16.5009932	0.00589321
8	2	1.98649186	2.01748113	0.00082011
16	1.8	1.78784267	1.81573302	0.0007381
30	9	8.93921335	9.07866508	0.00369051
50	13.5	13.40882	13.6179976	0.00553577
100	3.9	3.87365912	3.9340882	0.00159922
200	0.9	0.89392133	0.90786651	0.00036905

Fuente: Elaboración propia.

Luego se realiza la suma de la fracción gruesa, la fracción fina y el total para hallar la proporción entre ellas:

Volumen fracción gruesa: 0.024758677 m³ Proporción fracción gruesa: 66%

Volumen fracción fina: 0.012752777 m³ Proporción fracción fina: 34%

Volumen Total: 0.037511454 m³

Con estos valores ya se puede determinar el volumen de agregados de la parte gruesa y la parte fina necesaria para el diseño:

Volumen de agregado: 0.641 m³

Volumen de agregado grueso: 0.641 (66%) = 0.423 m³

Volumen de agregado fino: $0.641 (34\%) = 0.218 \text{ m}^3$

Finalmente se hallan los valores de diseño en estado SSS, Peso seco y Peso Stock

Estado SSS

Agua: 210 kg

Cemento: 421.69kg

Agregado Grueso: $\text{Volumen} \times G_s \times 1000 = 0.423 \times 2.8 \times 1000 = 1184.81 \text{ kg}$

Agregado Fino: $\text{Volumen} \times G_s \times 1000 = 0.218 \times 2.46 \times 1000 = 536.24 \text{ kg}$

Todos estos cálculos se repiten para la curva de Fuller y Thompson (CFT) y para la curva ajustada de Fuller y Thompson para conchas de abanico (CAF). Los cálculos para hallar la proporción de agregados son presentados en la tabla 3.7 y 3.8 respectivamente.

Tabla 3.7 Cálculos para hallar el volumen absoluto de la curva Fuller y Thompson para conchas de abanico (CFT).

Tamiz	Peso retenido (kg)	OD (kg)	SSS (kg)	Volumen Abs (m ³)
3/4"	14.2	14.1513195	14.3777406	0.005487687
1/2"	16.8	16.7424061	17.0102846	0.006492475
3/8"	10	9.96571793	10.1251694	0.003864568
4	18.9	18.8352069	19.1365702	0.007304034
8	13.4	13.3559254	13.4974983	0.005191345
16	9.6	9.5684242	9.6698495	0.003719173
30	6.6	6.57829164	6.64802153	0.002556931
50	4.8	4.7842121	4.83492475	0.001859586
100	3.3	3.28914582	3.32401076	0.001278466
200	2.4	2.39210605	2.41746237	0.000929793
				Proporción (%)
Vol. Grueso (m³)			0.02314877	59.84057785
Vol. Fino (m³)			0.0155353	40.15942215
Vol. Total (m³)			0.03868406	100

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.8 Cálculos para hallar el volumen absoluto de la curva ajustada a Fuller y Thompson para conchas de abanico (CAF).

Tamiz	Peso retenido (kg)	OD (kg)	SSS (kg)	Volumen Abs (m ³)
3/4"	3.5	3.48848799	3.54081531	0.00135663
1/2"	29.4	29.3032991	29.7428486	0.01139573
3/8"	19.6	19.5355327	19.8285657	0.00759715
4	16.4	16.346058	16.5912489	0.0063568
8	2	1.99342171	2.01355527	0.00077743
16	1.8	1.79407954	1.81219974	0.00069969
30	9	8.97039769	9.0609987	0.00349846
50	13.5	13.4555965	13.5914981	0.00524768
100	3.9	3.88717233	3.92643277	0.001516
200	0.9	0.89703977	0.90609987	0.00034985
				Proporción (%)
Vol. Grueso (m³)			0.02670631	68.8388318
Vol. Fino (m³)			0.01208911	31.1611682
Vol. Total (m³)			0.03879542	100

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 3.9 se presentan los tres diseños de mezcla obtenidos. Se observa que la cantidad de agua y cemento es la misma para los tres diseños, sin embargo, la proporción de los agregados es distinta debido a la diferencia en la granulometría. Para el diseño CAF y el diseño AAF, hay una mayor cantidad de agregados fundamentalmente porque la curva granulométrica utilizada en estos diseños tiene más proporción de fracción gruesa que de fracción fina que en el diseño CFT.

También existe una pequeña diferencia en los diseños CAF y AAF, debido a las propiedades como peso unitario, gravedad específica, capacidad de absorción y contenido de humedad, las cuales son diferentes pues se trata de agregados distintos.

Tabla 3.9 Diseños de mezcla en estado SSS.

Materiales	Diseño CFT		Diseño CAF		Diseño AAF	
	Peso (kg)	Volumen absoluto (m ³)	Peso (kg)	Volumen absoluto (m ³)	Peso (kg)	Volumen absoluto (m ³)
Agua	210	0.210	210	0.210	210	0.210
Cemento	421.69	0.134	421.69	0.134	421.69	0.134
Fracción gruesa	1005.17	0.384	1151.92	0.441	1184.81	0.423
Fracción fina	669.44	0.257	517.44	0.200	536.24	0.218
Aire	0	0.015	0	0.015	0	0.015
Peso total	2306.3	-	2301.05	-	2352.74	-
Volumen total	-	1	-	1	-	1

Fuente: Informes N° 155700, 155701 y 155702 del LEMC de la Universidad de Piura.

3.5 Resultados en concreto fresco

Después de haber realizado los tres diseños de mezcla se evaluaron los siguientes parámetros en concreto fresco.

3.5.1 Trabajabilidad (NTP 339.035)

Se usó la norma NTP 339.035 para realizar el ensayo mediante el "Cono de Abrams" para determinar la trabajabilidad.

En la tabla 3.10 se muestran los resultados encontrados al realizar esta prueba. Se puede notar una diferencia significativa entre la trabajabilidad de los diseños realizados utilizando el RCA como agregado total y los agregados pétreos. Tal y como se puede apreciar en la figura 3.10 la disminución de trabajabilidad al utilizar el RCA es notoria, verificando así las hipótesis planteadas en el capítulo 2. La forma chata del RCA en los tamaños grandes y su forma angulosa en los tamaños finos afectan significativamente la necesidad de pasta en el concreto, pues a diferencia de los agregados pétreos, el RCA necesitará una cantidad mayor de pasta para recubrir todas las partículas por su mayor superficie específica. Eso coincide con los hallazgos de otras investigaciones (Nguyen, 2013) aunque no se esperaba una disminución tan drástica en la trabajabilidad.



Figura 3.10 Ensayo de Trabajabilidad. Izquierda, diseño CFT. Derecha y arriba, diseño CAF. Derecha y abajo, diseño AAF.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.10 Resultados de trabajabilidad en las diferentes mezclas.

Ensayo	Diseño CFT	Diseño CAF	Diseño AAF
Slump (pulg)	0	0	4

Fuente: Informes N° 155697, 155698 y 155699 del LEMC de la Universidad de Piura.

3.5.2 Peso unitario del concreto (NTP 339.046)

En la tabla 3.11 se muestran los valores teóricos y reales de los pesos unitarios del concreto en estado fresco. Se puede notar que, para el RCA triturado, el peso unitario real es significativamente menor al teórico, lo que no ocurre con los agregados pétreos, en los cuales son muy similares.

Tabla 3.11 Resultados de peso unitario del concreto en estado fresco.

Ensayo	Diseño CFT	Diseño CAF	Diseño AAF
Peso Unitario Teórico (Kg/m³)	2306.30	2301.05	2352.74
Peso Unitario Real (Kg/m³)	1687.88	1795.36	2390.08
Porcentaje de variación (%)	27.20%	21.98%	1.59%

Fuente: Informes N° 155697, 155698 y 155699 del LEMC de la Universidad de Piura.

Nuevamente, la alta angulosidad de las partículas produce un contenido de vacíos alto y a la necesidad de pasta para cubrir todas las partículas de concha se suma la necesidad de pasta para llenar la gran cantidad de espacios vacíos. Esto confirma que la pasta sigue faltando en la mezcla, siendo incapaz de llenar los espacios vacíos en el concreto con la consecuente disminución del peso unitario final. Todo esto se puede notar en las figuras 3.11 y 3.12 donde se puede ver que el recubrimiento por parte de la pasta sobre las partículas no es completo en ninguno de los dos casos donde se ha utilizado RCA como agregado total (Diseño CFT y CAF).



Figura 3.11 Mezcla de concreto diseñada con curva Fuller y Thompson usando sólo conchas de abanico (CFT). Fuente: Elaboración propia.

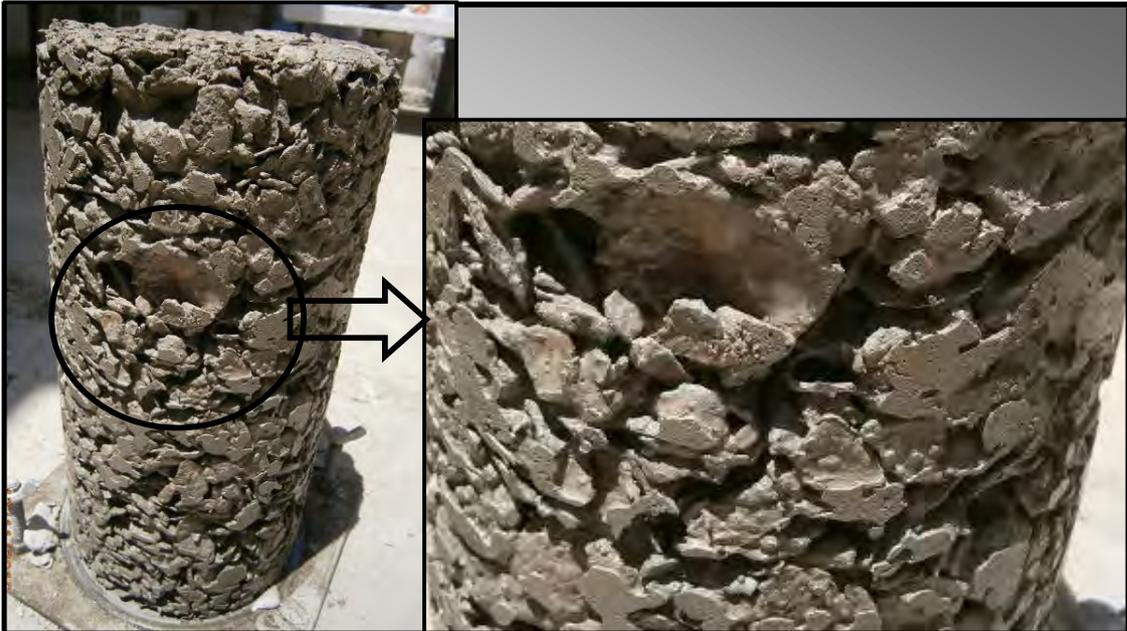


Figura 3.12 Mezcla de concreto diseñada con curva ajustada a Fuller y Thompson usando conchas de abanico (CAF). Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados coinciden con los hallazgos de otros investigadores (Nguyen, 2013; Nizama, 2014) donde se verifica una disminución en el peso unitario a medida que aumenta el porcentaje de reemplazo de concha en el concreto. La causa se atribuye siempre a la gran angulosidad de las partículas de la concha en relación a los agregados pétreos, este efecto es variable según la especie que se use o los tamaños en evaluación.

En este estudio, al ser un reemplazo total, la influencia del peso unitario de la concha de abanico es mucho mayor que en los estudios mencionados anteriormente, donde se usó reemplazos parciales. Es probable entonces que la razón principal de la variación en el peso unitario del concreto sea el bajo peso unitario de la concha respecto a los agregados pétreos, que origina un mayor volumen de material para el mismo peso, además de la gran cantidad de vacíos generada por la forma angulosa de las partículas.

El porcentaje de variación (tabla 3.11) estimado como la relación entre la variación del peso unitario teórico con respecto al peso unitario real es muy similar cuando se usa RCA siendo mayores que el valor obtenido en el diseño de mezcla con agregados pétreos. Esto confirma que el menor peso unitario del RCA respecto a los agregados pétreos produce una disminución del peso unitario del concreto.

3.5.3 Contenido de aire (NTP 339.046)

Los resultados obtenidos en el contenido de aire mostrados en la tabla 3.12 indican que a pesar de tener una granulometría compacta, el contenido de aire es sumamente alto. Esto se explica por la forma de la partícula y los espacios vacíos que se generan al tener un deficiente acomodo de las partículas en la mezcla. Este resultado es coherente con los valores obtenidos para el peso unitario del concreto.

La gran diferencia entre el contenido de aire de los diseños realizados con RCA y la de los agregados pétreos muestra que la cantidad de pasta prevista en el diseño es insuficiente para poder rellenar los espacios entre partículas, produciendo una mezcla poco uniforme y poco trabajable.

Tabla 3.12 Resultados de contenido de aire del concreto en estado fresco.

Ensayo	Diseño CFT	Diseño CAF	Diseño AAF
Contenido de aire (%)	7.2%	8%	1.2%

Fuente: Informes N° 155697, 155698 y 155699 del LEMC de la Universidad de Piura.

3.5.4 Temperatura (NTP 339.184)

Este parámetro depende de diversos factores, la temperatura de los agregados, del cemento y del agua. En el caso de este estudio se registraron los datos de temperatura de concreto de las tres muestras elaboradas, sin embargo, los resultados son muy variables y no se puede encontrar correlación alguna entre estos.

Se ha calculado la temperatura teórica del concreto con la siguiente ecuación (NRMC, 1962).

$$T = \frac{0.22(T_a M_a + T_c M_c) + T_w M_w + T_{wa} M_{wa}}{0.22(M_a + M_c) + M_w + M_{wa}} \quad \text{Ecuación 3.4}$$

Donde T = Temperatura del concreto fresco en C°; Ta, Tc, Tw y Twa = Temperatura en C° de los agregados, cemento, agua y el agua libre en los agregados, respectivamente; Ma, Mc, Mw y Mwa = peso en kg de los agregados, cemento, agua y el agua libre en los agregados.

No se ha observado una diferencia significativa entre la temperatura teórica del concreto y la temperatura real medida en el ensayo. Aunque en los diseños AAF y CAF las temperaturas registradas son muy elevadas, se explica por las altas temperaturas registradas en los componentes del concreto durante la preparación.

Tabla 3.13 Resultados de temperatura del concreto en estado fresco.

Temperatura (C°)	Diseño CFT	Diseño CAF	Diseño AAF
Agua	31.20	33.50	29.80
Ag. Fino	-	-	30.90
Ag. Grueso	-	-	42.20
RCA Fracción fina	29.90	32.00	-
RCA Fracción gruesa	32.00	42.30	-
Cemento	32.80	38.10	27.80
Ambiente	30.50	34.10	33.90
Temperatura Teórica Concreto	31.30	37.84	36.83
Temperatura real Concreto	31.60	39.00	34.20

Fuente: Informes N° 155697, 155698 y 155699 del LEMC de la Universidad de Piura.

3.5.5 Análisis final

Todos los resultados de los ensayos evaluados demuestran que la forma de la partícula tiene un efecto significativo en las propiedades del concreto, a pesar de la granulometría. Tal como se propuso inicialmente, el comportamiento del concreto no es favorable

cuando se usa el RCA triturado como agregado total pese a utilizar una granulometría muy compacta. La forma angulosa de la partícula del RCA es causante de este comportamiento, sin embargo, este factor tiene como consecuencia la influencia de la mayor superficie específica y el menor peso unitario respecto a los agregados naturales.

3.5.5.1 La forma de las partículas de residuo de concha de abanico triturado

Es el factor determinante para definir el uso del RCA como agregado total en el concreto. La forma chata de los tamaños gruesos y la forma similar a agujas de las fracciones finas ejercen gran influencia en el concreto. Tal y como se explicó en el capítulo 2, además de la mayor superficie específica que supone una partícula angulosa, el que el RCA tenga una forma plana dificulta la compacidad y la aglomeración entre partículas, el acomodo entre ellas se concentra en un mismo plano provocando un alto contenido de vacíos, lo cual conlleva a una necesidad mayor de pasta para llenarlos.

La forma chata en los tamaños gruesos y angulosa en los tamaños finos genera que las partículas de RCA tengan una superficie específica mayor y un peso unitario menor.

La superficie específica es un valor que representa el área superficial de la partícula por el peso que tiene. Si es que las partículas son más pequeñas, la superficie específica es más elevada. Independientemente de la granulometría, si la superficie específica es la misma en dos agregados distintos la cantidad necesaria de pasta para obtener una buena mezcla no varía (Mindess y Alexander, 2005). En el RCA, el efecto de la superficie específica es notorio. Si se tienen dos porciones de pesos iguales de agregados, una de agregados pétreos y otra de RCA, la superficie específica del RCA es mayor tanto porque el peso de la partícula de RCA es siempre más bajo que el agregado pétreo utilizado (menor peso por unidad de volumen) como por el área de la partícula que debe recubrirse. Siguiendo este análisis este efecto será notorio en los tamaños finos de RCA pues si ya la partícula por ser angulosa tiene una superficie específica mayor, al tener menor peso unitario, la superficie específica será mayor aún y por lo tanto se tendrá una mayor necesidad de pasta para lograr una trabajabilidad deseada. Esto se ha comprobado con los resultados obtenidos en los ensayos realizados en este estudio donde la reducción de la trabajabilidad es muy grande con respecto a la trabajabilidad esperada.

El peso unitario del RCA como agregado total es mucho menor que el de los agregados pétreos, tanto por la angulosidad, que no permite más partículas por unidad de volumen, generando muchos espacios vacíos, como por el peso de cada partícula individual. Esto significa un aumento de volumen sumamente alto en la mezcla para un mismo peso de agregados. Este parámetro ha sido causante de una disminución en la trabajabilidad del concreto, pues la pasta de cemento ha sido calculada para un determinado volumen, sin embargo al aumentar la cantidad por la baja densidad del RCA, no sólo los espacios vacíos son mayores sino que hay más partículas por unidad de volumen y por lo tanto la cantidad de pasta no alcanza a cumplir su función de recubrimiento de partículas como de relleno de vacíos.

3.5.6. Replanteo del diseño

Tal como se mencionó en el punto 3.4, el método de diseño de mezcla es parecido al diseño propuesto por el ACI, sin tomar en cuenta el peso unitario del material. Se han realizado cálculos explicados en los siguientes ítems con la finalidad de evaluar la influencia del peso unitario en la mezcla de concreto y así estimar una cantidad de pasta óptima para obtener un concreto trabajable, tomando como base la relación entre pasta y

volumen de agregado a recubrir. Estos cálculos se han realizado con los datos del diseño de mezcla de los agregados pétreos, pues es el diseño que ha funcionado correctamente.

3.5.6.1 Relación agregados - pasta

Para calcular esta relación se convirtió los valores de SSS a volumen aparente dividiendo entre el peso unitario suelto de cada uno de los materiales. Para el agua, 1000 kg/m^3 y para el cemento, 1500 kg/m^3 . Para el caso del agregado grueso y el fino se utilizaron sus valores de densidad suelta mostrados en la tabla 3.5, 1450 kg/m^3 y 1437 kg/m^3 respectivamente. Luego se halló una suma de los valores de pasta (agua y cemento) y de agregados (grueso y fino) para finalmente hallar la relación de volúmenes entre ellos. En la tabla 3.14 se muestran los valores encontrados, donde se puede ver que la relación entre el volumen de agregados respecto al volumen de pasta es 2.42 aproximadamente.

Luego se realizaron los mismos cálculos para el diseño CAF, tomando en cuenta que el valor de densidad suelta cambia para el RCA siendo la parte gruesa 864 kg/m^3 y la parte fina 1026 kg/m^3 . La tabla 3.14 nos muestra que la relación entre volúmenes es de 3.74. Si se comparan estos dos valores finales (3.74 y 2.42) se puede verificar que el volumen que tiene que recubrir la pasta en este segundo caso es aproximadamente 1.5 veces mayor que en el diseño con agregados pétreos ($3.74/2.42=1.545$).

Dado que en el patrón la relación entre el volumen de agregados y la pasta es de aproximada a 2.42 y con ello se obtiene un concreto trabajable, se elaboraron dos diseños más CAF-2 y CAF-3 con mayor cantidad de pasta de cemento.

En el caso del CAF-2 se ha buscado una relación de volúmenes en la mezcla muy cercana a 2.42 aumentando la cantidad de agua y de cemento para mantener la relación agua-cemento constante (0.498). Con estos datos se obtienen los valores de la fracción gruesa y fina de RCA mediante el proceso de diseño de mezcla mostrado en el punto 3.4. Después de esto se evalúa el volumen aparente de cada uno de los elementos y se calcula la relación agregados – pasta de modo iterativo hasta que el valor de la relación sea cercano a 2.42. Con respecto al diseño CAF, se observa un incremento de 63 litros de agua, y 126.50 kg de cemento (tabla 3.14).

En el caso del diseño CAF-2 la medida de slump fue de 0.75" (figura 3.13), lo cual indica un aumento de la trabajabilidad respecto al diseño CAF, aunque sigue siendo insuficiente para lograr una trabajabilidad de 4".

Tabla 3.14 Diseños de mezcla con curva ajustada a Fuller y Thompson.

	Diseño AAF		Diseño CAF		Diseño CAF-2		Diseño CAF-3	
	SSS (kg)	Volumen aparente (m ³)	SSS (kg)	Volumen aparente (m ³)	SSS (kg)	Volumen aparente (m ³)	SSS (kg)	Volumen aparente (m ³)
Relación agua/cemento	0.498		0.498		0.498		0.498	
Agua	210	0.2100	210	0.2100	273	0.2730	300.71	0.3007
Cemento	421.69	0.2811	421.69	0.2811	548.19	0.3655	603.84	0.4026
Ag Grueso	1184.81	0.8171						
Ag Fino	536.24	0.3732						
RCA Fracción Gruesa			1151.92	1.3332	966.57	1.1187	887.25	1.0269
RCA Fracción Fina			517.44	0.5043	434.18	0.4232	398.55	0.3884
Pasta (m³)	0.4911		0.4911		0.6385		0.7033	
Agregados (m³)	1.1903		1.8376		1.5419		1.4154	
Relación agregados – pasta	2.4236		3.7415		2.4150		2.0125	
Peso total (kg)	2352.74		2301.05		2221.94		2190.34	
Volumen pasta / volumen concreto	0.29		0.21		0.29		0.33	
Peso cemento (kg)/ m3 concreto	250.80		181.08		251.42		285.01	
Slump (pulg)	4"		0"		0.75"		6.5"	

Fuente: Informes N° 155697, 155700, 155702, 162480, 162481, 162482 y 162513 del LEMC de la Universidad de Piura.



Figura 3.13. Ensayo de Slump con Diseño CAF-2. Fuente: Elaboración propia.

En el caso del CAF-3 se ha buscado que la relación sea 2.01 utilizando el mismo proceso que se realizó en el diseño CAF-2. El incremento con respecto al diseño CAF es de 90.71 litros de agua y de 182.15 kg de cemento (tabla 3.14). Con este diseño se espera un mejor comportamiento en cuanto a trabajabilidad del concreto con el diseño CAF-2.

Para el caso del diseño CAF-3 se encontró una medida de slump de 6.5" (figura 3.14), superando ampliamente el problema de trabajabilidad.



Figura 3.14. Ensayo de slump con el diseño CAF-3. Fuente: Elaboración propia.

La figura 3.15 muestra la variación del slump con la relación agregados – pasta, en la cual se puede observar una tendencia entre los tres diseños CAF realizados y se puede aproximar una relación para un slump de 4", la cual sería 2.1. Esta gráfica es importante pues explica que al aumentar la relación agregado – pasta se mejora la trabajabilidad del concreto, y puede ser de gran orientación para el diseño de mezcla con RCA.

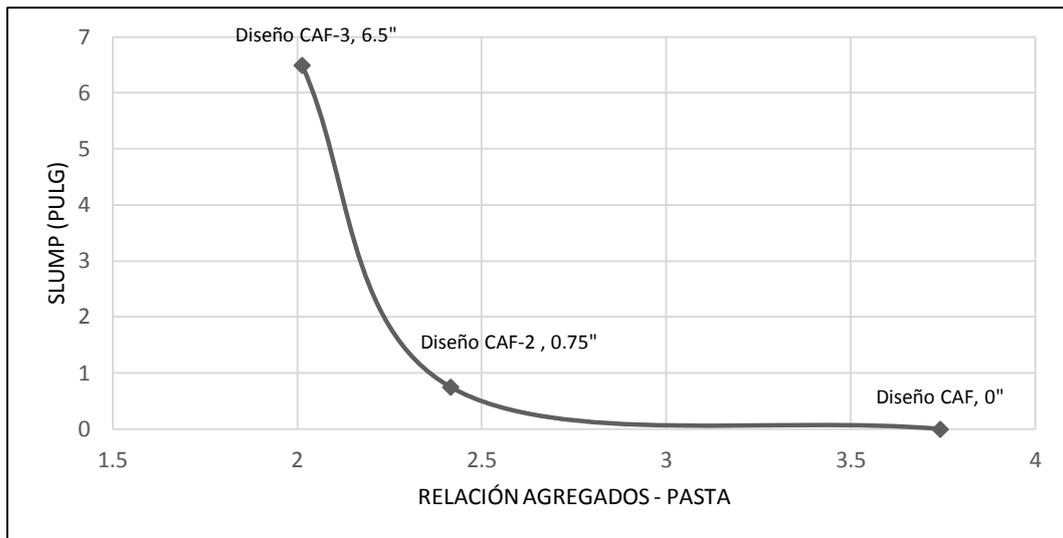


Figura 3.15. Variación del slump con la relación agregados – pasta para los diseños con RCA.

3.5.6.2 Volumen de pasta por volumen de concreto

Este valor surge de la división del volumen aparente de pasta en m^3 entre la suma del volumen aparente de pasta y el volumen aparente de los agregados en m^3 .

Tal y como se observa en la tabla 3.14, en el diseño con agregados naturales (AAF), el valor del volumen de pasta por volumen de concreto es de 0.29, mientras que en el diseño con conchas (CAF), el valor es de 0.21. Esto indica la falta de volumen de pasta para cubrir los agregados. Con los dos diseños propuestos en el punto 3.5.6.1, CAF-2 y CAF-3, se obtienen relaciones de 0.29 y 0.33 respectivamente, de modo que la cantidad de pasta parece ser suficiente para recubrir las partículas de RCA y lograr un concreto trabajable en los dos casos. Sin embargo, para lograr esta relación se requiere de una mayor cantidad de cemento por m^3 de concreto, es decir se necesita una mayor cantidad de cemento en el diseño con RCA para que funcione como árido global. Esto significaría un incremento muy alto en el costo del concreto, que de algún modo podría ser compensado porque a pesar de la mayor necesidad de cemento por m^3 , se usan residuos y no agregados pétreos.

La figura 3.16 muestra la variación del slump con la relación volumen de pasta entre volumen de concreto. Se observa una tendencia invertida a la mostrada en la figura 3.15. El slump aumenta a medida de que la relación volumen pasta por volumen de concreto se incrementa. Para obtener un slump de 4" la relación debería ser muy cercana a 0.32.

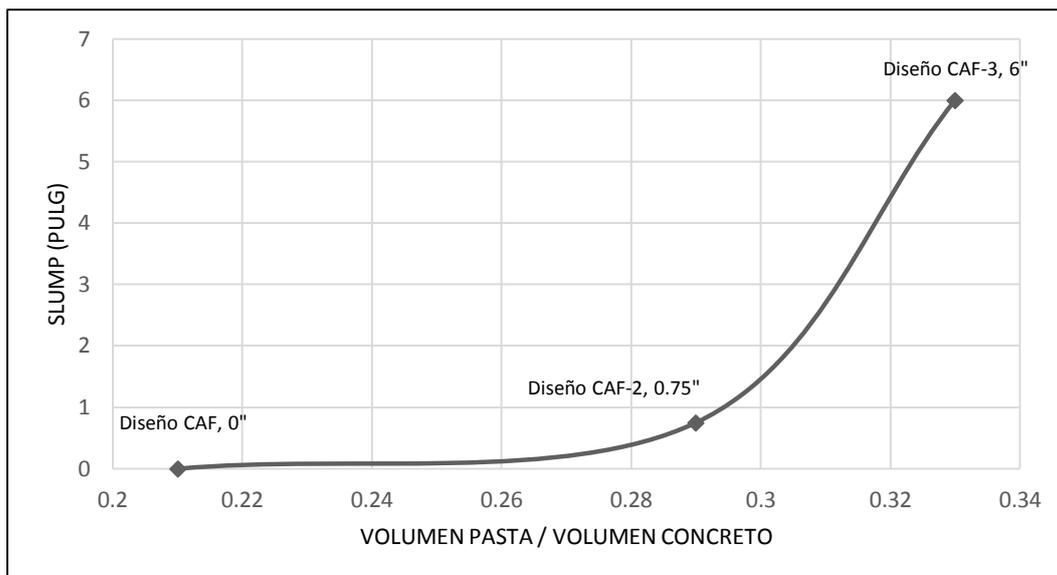


Figura 3.16. Variación del slump con la relación pasta – volumen de concreto para los diseños con RCA.

3.5.6.3 Relación entre el peso del cemento y el volumen de concreto

Esta relación es definida por el peso del cemento en kilogramos entre la suma de los volúmenes aparentes de pasta y agregados en m^3 . Este valor representa la cantidad de cemento que se utiliza en la mezcla para el volumen total aparente diseñado.

Cuando se usa agregado pétreo (AAF) se requiere 250.80 kg de cemento por cada m^3 de concreto, mientras que al usar concha (CAF), la misma cantidad de cemento representa sólo 181.08 kg de cemento por m^3 de concreto. Esta diferencia confirma la falta de pasta para lograr cubrir las partículas. En el diseño CAF-2 se obtiene una relación de 251.42 kg/m^3 parecida a la del diseño AAF, con esto se espera una mejora en la trabajabilidad del concreto elaborado con RCA triturado. En el caso del diseño CAF-3 la relación es de 285.01 kg/m^3 la cual es mayor que en los diseños AAF, CAF y CAF-2, lo cual significa una necesidad de mayor cantidad de cemento para mantener las propiedades del estado fresco del concreto.

La figura 3.17 muestra la variación del slump con la relación cemento por volumen de concreto. En la gráfica se muestra la misma tendencia que la figura 3.16. El slump aumenta a medida de que la relación cemento por volumen de concreto se incrementa. Para obtener un slump de 4'' la relación debería ser muy cercana a 275 kg/m^3 .

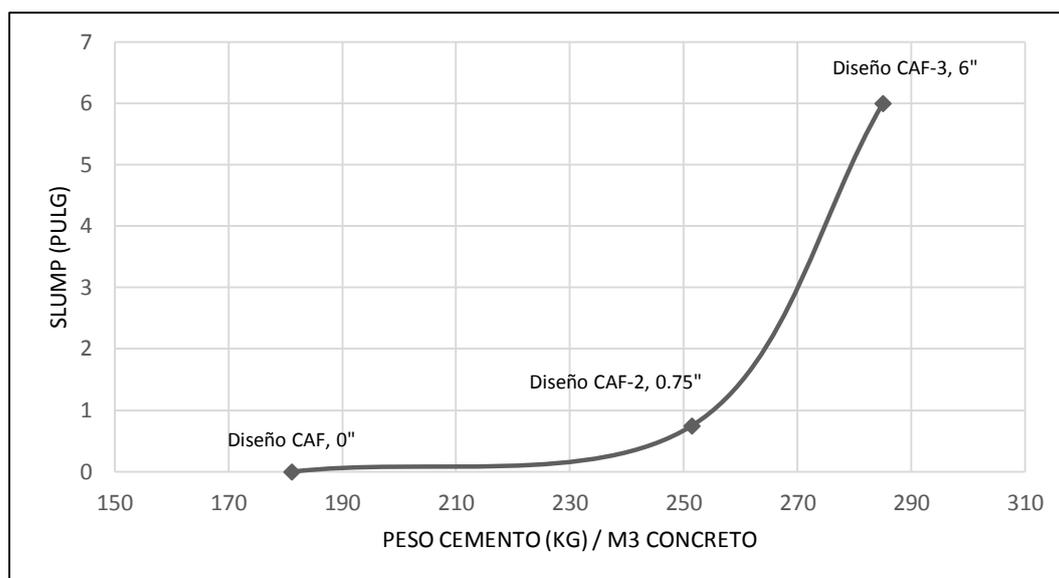


Figura 3.17. Variación del slump con la relación cemento – volumen de concreto para los diseños con RCA.

3.5.6.4 Ensayos de concreto fresco para diseños CAF-2 y CAF-3

Además de los resultados de medición de Slump mostrados en ítems anteriores, se realizó el ensayo de peso unitario el cual se presenta en la tabla 3.15. Este parámetro ha aumentado en el diseño CAF-3 con respecto a los diseños CAF y CAF-2. Esto sucede debido a que se ha logrado que la pasta cubra todas las partículas de RCA y se obtenga una compacidad suficiente en la mezcla. Sin embargo, el contenido de aire medido en las mezclas aumenta a valores cercanos al 8 y 10%, indicando que a pesar de lograrse un concreto trabajable, el concreto obtenido sigue conteniendo un alto porcentaje de vacíos.

Tabla 3.15 Resultados de ensayos en concreto fresco para diseños con RCA.

Ensayo	Diseño CAF	Diseño CAF-2	Diseño CAF-3
Slump (pulg)	0	0.75	6.5
Peso Unitario teórico (Kg/m ³)	2301.05	2221.94	2190.34
Peso Unitario real (Kg/m ³)	1795.36	1760.00	1997.157

Fuente: Informes N° 155699, 162482 y 162513 del LEMC de la Universidad de Piura.

3.6 Resultados en concreto endurecido

Para evaluar el comportamiento en estado endurecido se evaluaron los diseños AAF y CAF-3 con la resistencia a la compresión a la edad de 28 días. En la tabla 3.16 se muestran los resultados de los ensayos a compresión realizadas para ambos diseños. En los certificados mostrados en el anexo D, el diseño de agregados pétreos (AAF) llevará la nomenclatura TAP y el diseño de conchas de abanico (CAF-3) se ha identificado como TCA.

Tabla 3.16. Resultados de ensayos a compresión a 28 de los diseños de mezcla con agregados pétreos y con RCA.

Muestra	Resistencia a compresión a 28 días (kg/cm ²)	Resistencia especificada a compresión (kg/cm ²)
Diseño AAF (TAP)	271.34	245
Diseño CAF-3 (TCA)	173.39	245

Fuente: Informes N° 162478 y 162514 del LEMC de la Universidad de Piura.

La diferencia entre los resultados es notoria, el concreto elaborado con los agregados pétreos cumple con la resistencia especificada a compresión, sin embargo el concreto elaborado con RCA triturado no alcanza la resistencia especificada y disminuye hasta en un 36% con respecto al concreto elaborado con agregados pétreos, a pesar de contener mucho mayor cantidad de pasta de cemento, lo cual debería brindarle una mayor resistencia a compresión. Es importante resaltar este resultado pues es notoria la incapacidad del RCA triturado para ser utilizada como un reemplazo total de agregados en el concreto, pues su forma chata y alargada desfavorece su desempeño en el concreto no sólo en el estado fresco sino también en su estado endurecido.

En la figura 3.18 se muestra una imagen de la matriz de la muestra de concreto elaborado con RCA triturado con una granulometría ajustada a la curva de Fuller y Thompson (CAF-3). Se puede observar que el acomodo del RCA triturado en el concreto es en forma de planos. Este tipo de acomodo es desfavorable para el concreto pues la probabilidad de falla es mucho más alta con respecto a otros agregados con mayor volumen, que ofrecen, además, una fuerte trabazón mecánica. Si bien la granulometría ha sido óptima, la forma chata y alargada impide un acomodo ideal como el que sí ofrecen los agregados pétreos.



Figura 3.18. Matriz de muestra de diseño CAF-3. Fuente: Elaboración propia.

En las pruebas que hizo Nizama (2014) se usaron partículas de RCA entre los tamaños 1” y 3/4” para reemplazar las mismas partículas del agregado grueso. De este modo, no había alteración de la granulometría del agregado global como resultado del reemplazo. Por lo tanto, el efecto en las propiedades del concreto era el resultado de la forma del RCA triturada. Así, registró una disminución en la trabajabilidad y en la resistencia a compresión a medida que aumentaba el reemplazo.

Saavedra (2016) realizó reemplazos parciales (5, 20, 40 y 60%) en peso de partículas de RCA entre los tamaños 1.18 y 4.75mm, pero el reemplazo no lo hace quitando partículas del mismo tamaño, sino “toda” la arena, produciendo una modificación a la granulometría del agregado (figura 3.19). Este cambio en la granulometría del agregado global origina una mejora en la trabajabilidad del concreto cuando el reemplazo coloca a la curva granulométrica del agregado fino dentro del huso granulométrico recomendado por la norma NTP 400.037-2002 (entre 20 % y 40 %).

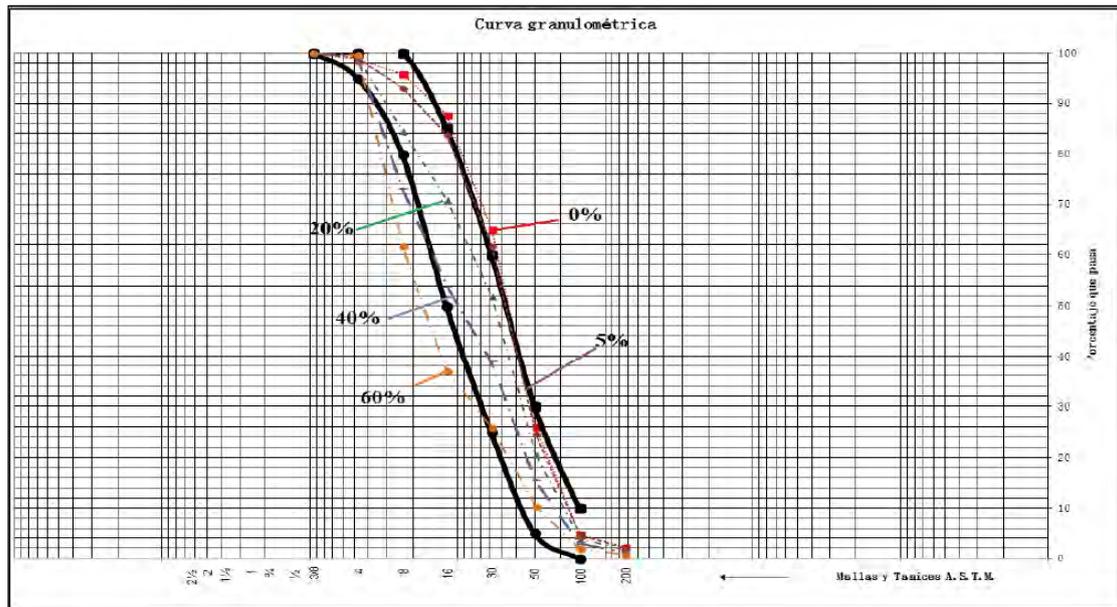


Figura 3.19. Evolución de la curva granulométrica del agregado fino al ser reemplazado por RCA triturado entre 1.18 mm y 4.75 mm. Fuente: Saavedra (2016).

Este estudio ha complementado estos dos trabajos anteriores (Nizama, 2014; Saavedra, 2016) pues ha verificado la influencia de la forma del RCA en la mezcla de concreto, dejando en evidencia la limitación del RCA triturado para ser usada como agregado total, por la drásticamente disminución de la trabajabilidad y en menor medida, la resistencia a la compresión. Es sumamente angulosa, chata y alargada cuando el tamaño es más grande y en forma de agujas cuando se reduce el tamaño. Esto lleva a concluir que el tamaño ideal del RCA para su uso como agregado en el concreto está entre 2 mm a 5 mm, pues en este tamaño la forma no es tan chata, ni demasiado angulosa.

Además, junto con los trabajos de Nizama (2014) y Saavedra (2016) queda claro que el RCA no puede reemplazar por completo al agregado pétreo y el porcentaje de reemplazo parcial se aproxima mucho a aquel que ayude a mejorar la granulometría global del agregado.

Finalmente, se ha demostrado que el RCA triturado en un rango relativamente amplio de granulometría, requiere mayor cantidad de pasta que los agregados naturales locales y usados en un 100% de reemplazo, tiende a disminuir drásticamente la trabajabilidad y la resistencia a la compresión del concreto respecto al mismo diseño con agregados naturales.

Conclusiones

1. La forma chata y alargada de las partículas de la fracción gruesa del RCA triturado constituye un factor determinante en su uso como agregado total en el concreto. Debido a ello, la compacidad y unión de las partículas en la mezcla se torna difícil, pues el acomodo que tienen en la mezcla de concreto genera un acomodo en planos, lo cual produce una gran cantidad de vacíos y una necesidad de mayor cantidad de pasta para lograr la misma trabajabilidad buscada.
2. La fracción fina del RCA triturado presenta una forma angulosa e incluso cuando el tamaño se reduce, persiste la tendencia a tener una forma de agujas. Estas características suman al efecto de la forma de la fracción gruesa una disminución mayor en la trabajabilidad esperada debido a que el acomodo entre estas partículas pequeñas dejará una gran cantidad de espacios vacíos que requerirán mayor cantidad de pasta para llenarlos. Es por esto que la cantidad de pasta requerida aumentará y por lo tanto existirá una mayor demanda de cemento.
3. La superficie específica juega un papel importante en el uso del RCA como agregado en el concreto. El efecto de este parámetro se nota en la fracción fina de las partículas de RCA triturado.
4. La forma del RCA triturado tiene una gran influencia en el concreto al utilizarla como agregado total. Se ha demostrado que pese a utilizar una granulometría ideal como es la propuesta por Fuller y Thompson, el RCA triturado disminuye notoriamente la trabajabilidad de la mezcla de concreto.
5. El uso del RCA requiere una cantidad de pasta mayor. Se ha propuesto un diseño de mezcla para un concreto más trabajable, sin embargo existirá una mayor demanda de cemento que con los agregados pétreos lo que puede significar que el concreto sea antieconómico, restringiendo el uso del RCA triturado como agregado total en el concreto.
6. La forma del RCA triturado, chata en los tamaños grandes, y muy angulosa, casi en forma de agujas, en los tamaños menores a 1.18 mm disminuye la trabajabilidad del concreto en estado fresco. Sin embargo es probable que el tamaño ideal de reemplazo sea entre 1.18 y 4.75 mm pues brinda un mejor desempeño en la trabajabilidad.

Recomendaciones

En esta investigación se ha determinado que el RCA no puede utilizarse como un agregado total en el concreto pese a tener una granulometría ideal y se ha confirmado que por su forma chata en los tamaños grandes no se debería utilizar como agregado grueso, pues no muestra resultados favorables. Sin embargo, se recomienda estudiar reemplazos en los tamaños finos, especialmente en concretos donde se requiera gran cantidad de vacíos.

Bibliografía

- ACI Committee 116 (2000), 116R-2000: “Cement and Concrete Terminology”, Technical Documents, ACI Manual of Concrete Practice, Farmington Hills, Michigan, American Concrete Institute.
- ACI Committee 211.1 (1991), “Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211. 1.9.1.)”. ACI Manual of Concrete Practice, Part 1. American Concrete Institute. Farmington Hills. Detroit, Michigan. USA.
- Acuapesca. *Cultivo y comercialización de conchas de abanico (vieiras)*. En línea internet consultada el 18 de septiembre de 2016. Disponible en <http://www.acuapesca.com/acuapesca/producto.aspx>.
- Alexander, M. y Mindess S. (2005) *Aggregates in concrete: Modern concrete technology series v. 13*. London, New York: Taylor & Francis.
- ASTM International (2010), D4791-10: Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate. West Conshohocken.
- Diario “La República”. *Botadero edil amenaza con contaminar la bahía de Sechura*. En línea en internet consultada el 18 de septiembre de 2016. Disponible en <http://larepublica.pe/impresasociedad/699457-botadero-edil-amenaza-contaminar-bahia-de-sechura>.
- Dirección Regional de Producción – Gobierno Regional Piura. En línea en internet consultada el 18 de septiembre de 2016. Disponible en <http://drp.regionpiura.gob.pe/detalle.php?idpag=2&id=4&per=2014>.

- Fuller, W. B. y Thompson, S. E. (1907), "*The laws of proportioning concrete*". Journal of Transportation Engineering-ASCE, 59, 67-143.
- ICPC, SOLINGRAL. Manual de dosificación de mezclas de concreto. Medellín (Colombia). 1974.
- INDECOPI (1979) NTP 339.046:1979 HORMIGON. Método de ensayo gravimétrico para determinar el peso por metro cúbico, rendimiento y contenido de aire del hormigón.
- INDECOPI (1999) NTP 339.035:1999 HORMIGON. Método de ensayo para la medición del asentamiento del hormigón con el cono de Abrams
- INDECOPI (1999).NTP 400.017 – AGREGADOS: Método normalizado para determinar el peso unitario del agregado.
- INDECOPI (1999). NTP 400.040 – AGREGADOS: Partículas chatas o alargadas en el agregado grueso.
- INDECOPI (2000). NTP 334.082 – CEMENTOS. Cementos Portland. Especificación de la performance.
- INDECOPI (2001). NTP 400.012 – AGREGADOS: Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global
- INDECOPI (2002). NTP 339.185 – AGREGADOS: Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.
- INDECOPI (2002). NTP 400.021 – AGREGADOS: Método de ensayo para la determinación del peso específico y la absorción del agregado grueso.
- INDECOPI (2002). NTP 400.037 – AGREGADOS: Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (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 (2007). NTP 339.215 - CONCRETO: Método de ensayo normalizado para la medición de resistencias a la compresión a edades tempranas y proyectadas a edades mayores.

- INDECOPI (2008). NTP 400.011 – AGREGADOS: Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos.
- Kuo, W., Wang, H., Shu, C. y Su, D., (2013). *Engineering properties of controlled low-strength materials containing waste oyster shells*. Construction and Building Materials 46: 128-33
- Landgren, R. (1994) ‘Unit weight, specific gravity, absorption, and surface moisture’, *Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete Making Materials*, ASTM STP 169C: 421–428, West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials.
- Legg F. (1998). “*Aggregates: Chapter 2*” Concrete Construction Handbook. Cuarta edición, Editado por McGraw-Hill: New York, NY, USA.
- León, MP. y Ramirez, F. (2010). *Caracterización Morfológica de agregados para concreto mediante análisis de imágenes*. Revista Ingeniería construcción v. 25 n. 2: 215-240.
- MTC E222 - (2000) - Ensayo de Angularidad del agregado fino.
- MTC EG 2013 – (2013). Manual de carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción”.
- Nizama, D. (2014). “*Valoración de residuos crustáceos para concretos de baja resistencia*”. Tesis de pregrado en Ingeniería civil. Universidad de Piura.
- Nguyen, D., Boutouil, M., Sebaibi, N., Leleyter, L. y Baraud, F., (2013). *Valorization of seashellby-products in pervious concrete pavers*. Construction and Building Materials 49: 151-60.
- NRMCA, (1962). “*Control of quality of Ready-Mixed Concrete*”, Publication N°. 44, 5th Edition, National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, Maryland, Oct., p. 51.
- Saavedra, J. (2016). “*Interacción de la concha de abanico triturada con los agregados triturados y redondeados en mezclas de concreto*”. Tesis de pregrado en Ingeniería civil. Universidad de Piura.
- Safi, B., Saidi, M., Daoui, A., Bellal, A., Mechekak, A. y Toumi, K., (2015). *The use of seashells as a fine aggregate (by sand substitution) in self-compacting mortar (SCM)*. Construction and Building Material 78: 430-38.

- Shilstone J. (1999). *“The Aggregate: The Most Important Value-Adding Component in Concrete”*. International Center for Aggregates Research; Memorias del Simposio Internacional Aus-tin, Texas.
- Wang, H., Kuo, W., Lin, C. y Po-Yo, C., (2013). *Study of the material properties of fly ash added to oyster cement mortar*. Construction and Building Materials 41: 532-37.
- Yang, E., Yi, S., y Leem, Y., (2005). *Effect of oyster shell substituted for fine aggregate on concrete characteristics: Part I. Fundamental properties*. Cement and Concrete Research 35: 2175-82.
- Yang, E., Kim, M., Park, H. y Yi, S., (2010). *Effect of partial replacement of sand with dry oyster shell on the long-term performance of concrete*. Construction and Building Materials 24: 758-65.
- Yoon, G., Kim, B. y Han, S., (2003). *Chemical–mechanical characteristics of crushed oyster-shell*. Waste Management 23: 825-34.

ANEXO A
CURVAS GRANULOMÉTRICAS



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO, GRUESO Y GLOBAL

Norma: NTP 400.012 2001

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

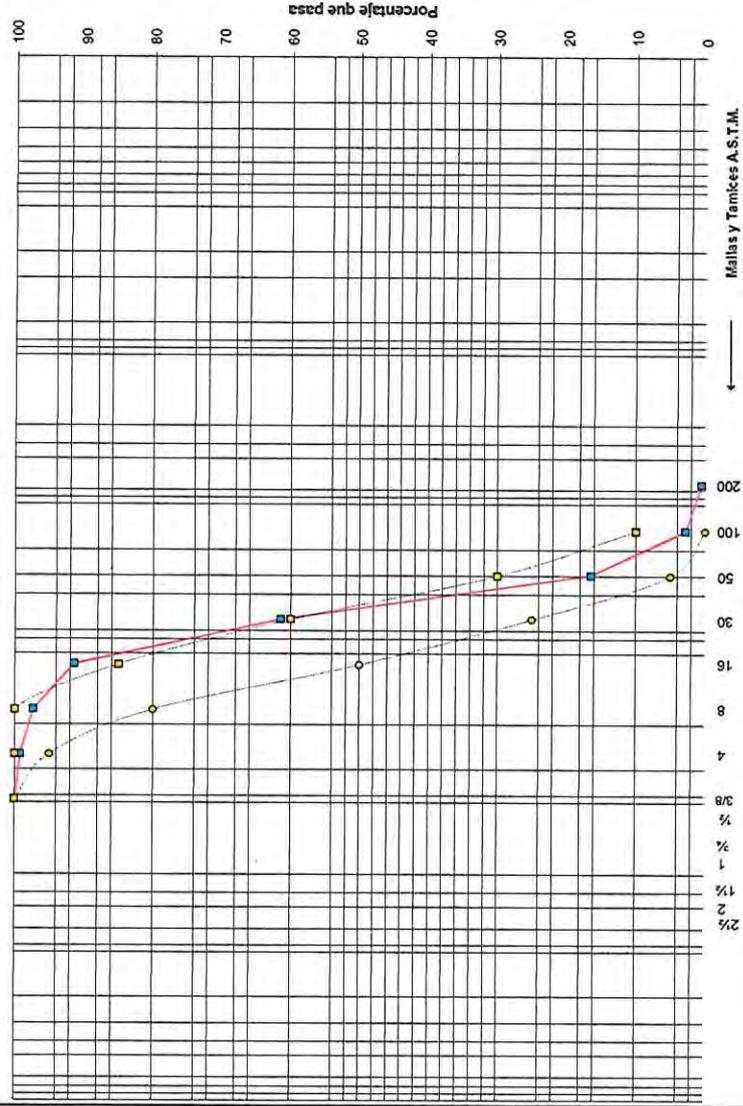
Informe N° : 162462
 Fecha de ensayo : 26/10/2015
 Realizó el ensayo : Téc. Wilfredo Lazo C.

Solicitante : Universidad de Piura - FONDECYT
 Obra : Evaluación experimental del uso de conchas de abanico como reemplazo de agregados pétreos en concreto hidráulico con cemento portland.
 Ubicación : Piura Muestreo realizado por: El solicitante
 Proyecto FONDECYT con convenio Nro. 084-2014-FONDECYT-DE

Procedencia : Agregado fino procedente de la cantera Chulucanas

Abertura	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	3.80	0.77	0.77	99
2.38	8	9.40	1.90	2.66	97
1.19	16	29.40	5.93	8.60	91
0.59	30	148.40	29.94	38.54	61
0.297	60	223.00	45.00	83.54	16
0.149	100	67.70	13.66	97.20	3
0.074	200	11.50	2.32	99.52	0
	Fondo	1.40	0.28		
	Total	494.60		2.31	
	Peso Inicial	495.60			
	Pérdida	1.00			

Curva granulométrica



Descripción de la muestra: Agregado fino, procedente de la cantera Chulucanas. Módulo de finura 2.31.
 Huso trazado: NTP 400.037-2002, tabla N°2

Supervisó el ensayo: Shirley Carrillo S
 Ingeniero Civil
 CIP 79168



El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este informe 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 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

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO, GRUESO Y GLOBAL

Norma: NTP 400.012 2001

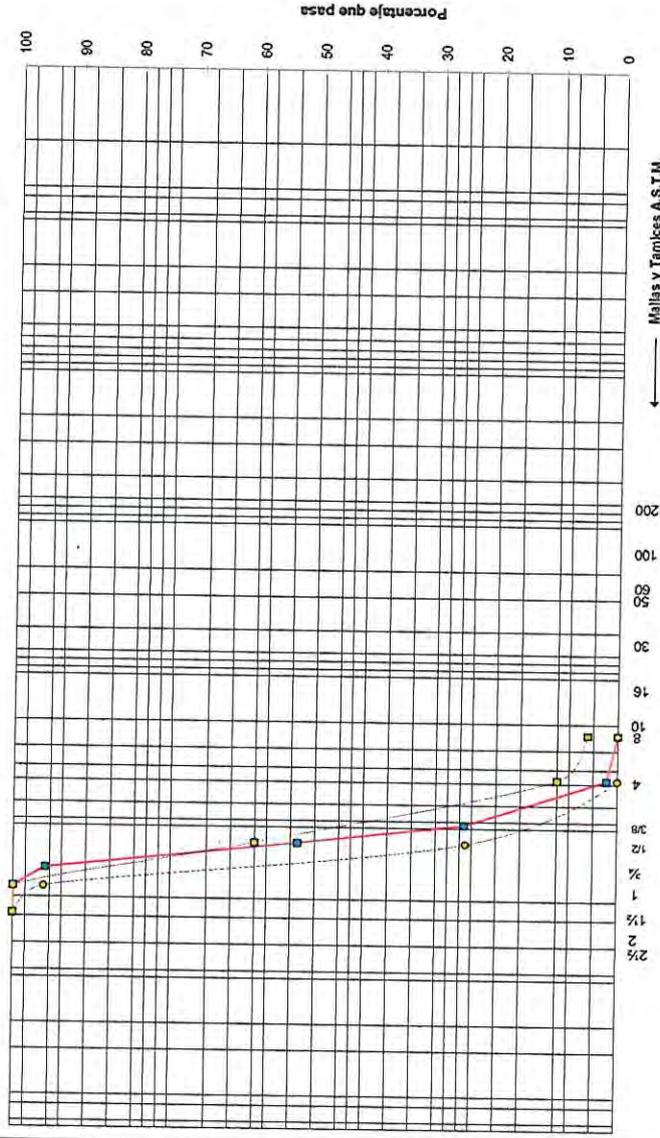
EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante : Universidad de Piura - FONDECYT Ubicación : Piura
 Obra : Evaluación experimental del uso de conchitas de abanico como reemplazo de agregados pétreos en concreto hidráulico con cemento portland - Proyecto FONDECYT con convenio Nro. 094-2014-FONDECYT-DE
 Procedencia : Agregado grueso procedente de la cantera Sojo

Informe N° : 162463
 Fecha de ensayo : 26/10/2015
 Realizó el ensayo : Téc. Wilfredo Lazo C.

Apertura (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"	440.0	5.29	5.29	95
12.7	1/2"	3480.0	41.83	47.12	53
9.53	3/8"	2300.0	27.64	74.76	25
4.76	4	1950.0	23.44	98.20	2
2.38	8				
1.19	16				
0.59	30				
0.297	60				
0.149	100				
0.074	200				
	Fondo	140.0			
	Total	8310.0			
	Peso Inicial	8320.0			
	Pérdida	10.0			

Curva granulométrica



Descripción de la muestra: Agregado grueso de tamaño máximo nominal 3/4" (19 mm)
 Huso granulométrico trazado: N°57 NTP 400.037 - 2002



Supervisó el ensayo: Shirley Carrillo S
 Ingeniero Civil
 CIP 79168

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este informe 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 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

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO, GRUESO Y GLOBAL

Norma: NTP 400.012 2001

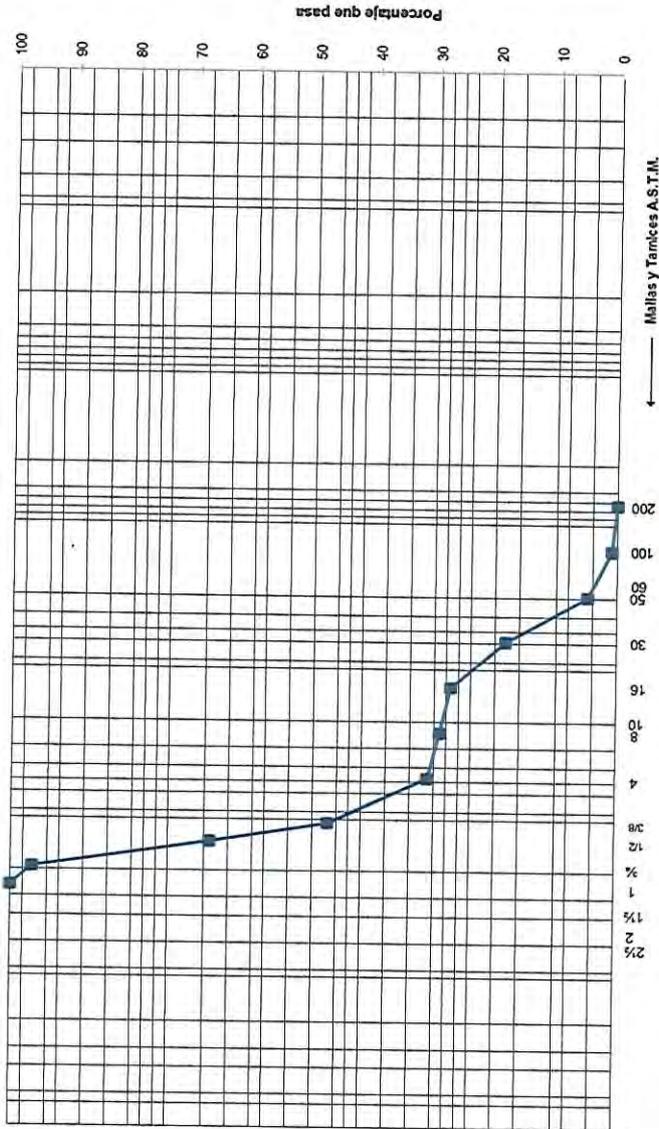
EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante : Universidad de Piura - FONDECYT Ubicación : Piura Muestreo realizado por : El solicitante
Obra : Evaluación experimental del uso de conchas de abanico como reemplazo de agregados pétreos en concreto hidráulico con cemento portland - Proyecto FONDECYT con convenio Nro. 084-2014-FONDECYT-DE
Procedencia : Sechura

Informe N° : 162464
Fecha de ensayo : 26/10/2015
Realizó el ensayo : Téc. Wilfredo Lazo C.

Abertura (mm)	Tamiz ASTM	Contenido (g)	Retenido parcial %	Retenido total %	Pasa %
63.50	2 1/2"				
60.8	2"				
38.1	1 1/2"	0.0	0.00	0.00	100
25.4	1"	0	0.00	0.00	100
19.1	3/4"	450	3.00	3.00	97
12.7	1/2"	4500	30.00	33.00	67
9.53	3/8"	2850	19.00	52.00	48
4.76	4	2550	17.00	69.00	31
2.38	8	300	2.00	71.00	29
1.19	16	300	2.00	73.00	27
0.59	30	1350	9.00	82.00	18
0.297	60	1950	13.00	95.00	5
0.149	100	600	4.00	99.00	1
0.074	200	150	1.00	100.00	0
	Fondo	0.0			
	Total	15000.0			
	Peso inicial	15000.0			
	Pérdida	0.0			

Curva granulométrica



Descripción de la muestra: Concha de abanico triturada.



Supervisó el ensayo: Shirley Carrillo S.
Ingeniero Civil
CIP 79168

EL LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo de acuerdo a 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 del 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

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO, GRUESO Y GLOBAL

Norma: NTP 400.012 2001

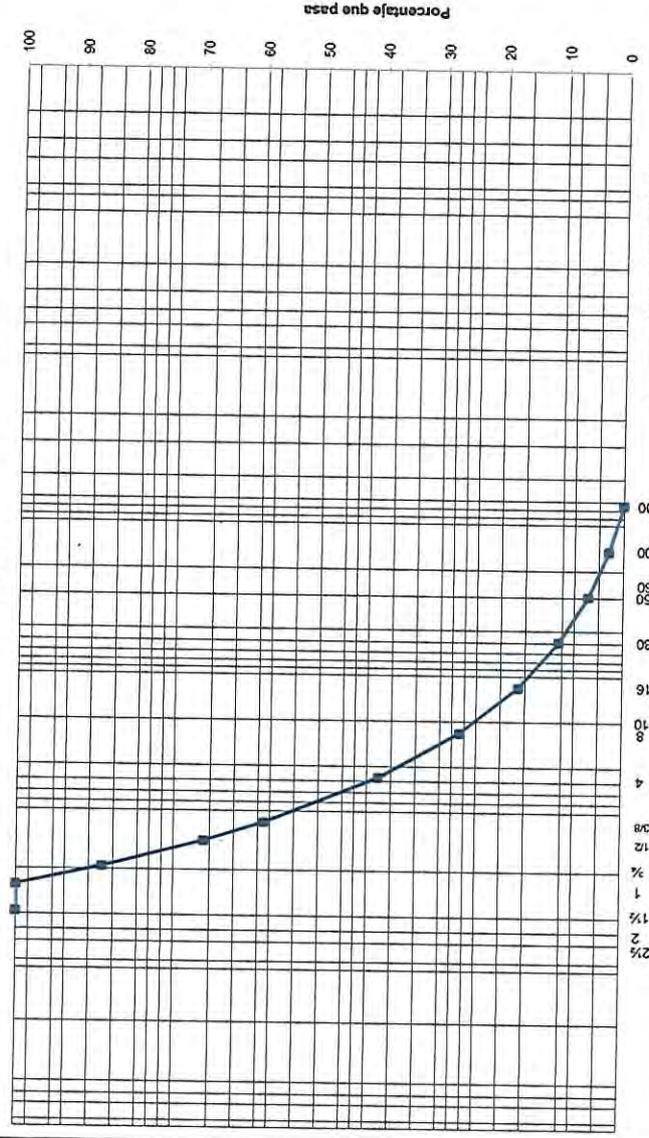
EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante : Universidad de Piura - FONDECYT Ubicación : Piura Muestreo realizado por : El solicitante
Obra : Evaluación experimental del uso de conchas de abanico como reemplazo de agregados pétreos en concreto hidráulico con cemento portland , Proyecto FONDECYT con convenio Nro. 094-2014-FONDECYT-DE
Precedencia : Sechura

Informe N° : 162465
Fecha de ensayo : 26/10/2015
Realizó el ensayo : Téc. Wilfredo Lazo C.

Abertura (mm)	Tamiz ASTM	Contenido (g)	Retenido parcial %	Retenido total %	Pasa %
63.50	2 1/2"				
60.8	2"				
38.1	1 1/2"	0	0.00	0.00	100
25.4	1"	0	0.00	0.00	100
19.1	3/4"	2100	14.00	14.00	86
12.7	1/2"	2550	17.00	31.00	69
9.53	3/8"	1500	10.00	41.00	59
4.76	4	2850	19.00	60.00	40
2.38	8	1950	13.00	73.00	27
1.19	16	1500	10.00	83.00	17
0.59	30	900	6.00	89.00	11
0.297	50	750	5.00	94.00	6
0.149	100	600	4.00	98.00	2
0.074	200	300	2.00	100.00	0
	Fondo	0.0			
	Total	15000.0			
	Peso inicial	15000.0			
	Pérdida	0.0			

Curva granulométrica



Descripción de la muestra: Concha de abanico triturada.



Supervisó el ensayo: Shirley Carrillo S
Ingeniero Civil
CIP 79168

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este informe de ensayo de acuerdo a 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 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
CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS AGREGADOS



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

PARÁMETROS FÍSICOS

Informe N° : 162467
Fecha de recepción : 29/10/2015
Fecha de ensayo : 04/11/2015
Fecha de emisión : 27/06/2016

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: Universidad de Piura - FONDECYT
Obra	: "Evaluación experimental del uso de conchas de abanico como reemplazo de agregados pétreos en concreto hidráulico con cemento portland". Proyecto FONDECYT con convenio Nro. 094-2014-FONDECYT-DE
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Identificación	: Agregado fino
Descripción visual	: Arena pobremente graduada
Procedencia	: Cantera Chulucanas

RESULTADOS:

Parámetro	Norma	
Módulo de finura		2.31
Densidad suelta (kg/m ³)	NTP 400.017 1999	1437
Densidad compactada (kg/m ³)	NTP 400.017 1999	1543
Peso específico (Sup. Sec. Sat.)	NTP 400.022 1979	2.46
Absorción (%)	NTP 400.022 1999	1.56
Humedad (%)	NTP 339.127 1998	0.85

Observaciones:

Realizó el ensayo : Téc. Wilfredo Lazo C.
Presenció el ensayo : —

Shirley Carrillo Siancas
Ingeniero Civil
CIP 168168
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

PARÁMETROS FÍSICOS

Informe N° : 162468
Recepción de muestra : 29/10/2015
Fecha de ensayo : 04/11/2015
Fecha de emisión : 27/06/2015

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: Universidad de Piura - FONDECYT
Obra	: "Evaluación experimental del uso de conchas de abanico como reemplazo de agregados pétreos en concreto hidráulico con cemento portland". Proyecto FONDECYT con convenio Nro. 094-2014-FONDECYT-DE
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Identificación	: Agregado grueso
Descripción visual	: Grava triturada
Procedencia	: Cantera Sojo

RESULTADOS:

Parámetro	Norma	
Tamaño máximo nominal mm (pulg.)		3/4"
Densidad suelta (kg/m ³)	NTP 400.017 1999	1445.00
Densidad compactada (kg/m ³)	NTP 400.017 1999	1590.00
Peso específico (Sup. Sec. Sat.)	NTP 400.021 1979	2.80
Absorción (%)	NTP 400.021 1999	1.30
Humedad (%)	NTP 339.127 1998	0.68

Observaciones:

Realizó el ensayo : Téc. Wilfredo Lazo C.
Presenció el ensayo : ---

Shirley Carrillo
Ingeniero Civil
CIP 168
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

PARÁMETROS FÍSICOS

Informe N° : 162469
Fecha de recepción : 29/10/2015
Fecha de ensayo : 04/11/2015
Fecha de emisión : 27/06/2016

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: Universidad de Piura - FONDECYT
Obra	: "Evaluación experimental del uso de conchas de abanico como reemplazo de agregados pétreos en concreto hidráulico con cemento portland". Proyecto FONDECYT con convenio Nro. 094-2014-FONDECYT-DE
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Identificación	: Concha de abanico triturada con granulometría ajustada a Fuller y Thompson
Descripción visual	: Concha de abanico triturada en fracción fina
Procedencia	: Sechura

RESULTADOS:

Parámetro	Norma	
Módulo de finura		2.41
Densidad suelta (kg/m ³)	NTP 400.017 1999	1026
Densidad compactada (kg/m ³)	NTP 400.017 1999	1273
Peso específico (Sup. Sec. Sat.)	NTP 400.022 1979	2.59
Absorción (%)	NTP 400.022 1999	1.01
Humedad (%)	NTP 339.127 1998	0.42

Observaciones:

Realizó el ensayo : Téc. Wilfredo Lazo C.
Presenció el ensayo : ---




Shirley Carrillo Siancas
Ingeniero Civil
CIP 79168
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

PARÁMETROS FÍSICOS

Informe N° : 162470

Recepción de muestra : 29/10/2015

Fecha de ensayo : 04/11/2015

Fecha de emisión : 27/06/2016

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: Universidad de Piura - FONDECYT
Obra	"Evaluación experimental del uso de conchas de abanico como reemplazo de agregados pétreos en concreto hidráulico con cemento portland". Proyecto FONDECYT con convenio Nro. 094-2014-FONDECYT-DE
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Identificación	: Concha de abanico triturada con granulometría ajustada a Fuller y Thompson
Descripción visual	: Concha de abanico triturada en fracción gruesa
Procedencia	: Sechura

RESULTADOS:

Parámetro	Norma	
Tamaño máximo nominal mm (pulg.)		3/4"
Densidad suelta (kg/m ³)	NTP 400.017 1999	864
Densidad compactada (kg/m ³)	NTP 400.017 1999	1010
Peso específico (Sup. Sec. Sat.)	NTP 400.021 1979	2.61
Absorción (%)	NTP 400.021 1999	1.50
Humedad (%)	NTP 339.127 1998	0.33

Observaciones:

Realizó el ensayo : Téc. Wilfredo Lazo C.
Presenció el ensayo : ---




Shirley Carrillo Siancas
Ingeniero Civil
CIP 79168
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

PARÁMETROS FÍSICOS

Informe N° : 162471
 Fecha de recepción : 29/10/2015
 Fecha de ensayo : 04/11/2015
 Fecha de emisión : 27/06/2016

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: Universidad de Piura - FONDECYT
Obra	: "Evaluación experimental del uso de conchas de abanico como reemplazo de agregados pétreos en concreto hidráulico con cemento portland". Proyecto FONDECYT con convenio Nro. 094-2014-FONDECYT-DE
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Identificación	: Concha de abanico triturada con granulometría Fuller y Thompson
Descripción visual	: Concha de abanico triturada en fracción fina
Procedencia	: Sechura

RESULTADOS:

Parámetro	Norma	
Módulo de finura		3.44
Densidad suelta (kg/m ³)	NTP 400.017 1999	1185
Densidad compactada (kg/m ³)	NTP 400.017 1999	1450
Peso específico (Sup. Sec. Sat.)	NTP 400.022 1979	2.60
Absorción (%)	NTP 400.022 1999	1.06
Humedad (%)	NTP 339.127 1998	0.33

Observaciones:

Realizó el ensayo : Téc. Wilfredo Lazo C.
 Presenció el ensayo : ---




 Shirley Carrillo Siancas
 Ingeniero Civil
 CIP 79168
 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

PARÁMETROS FÍSICOS

Informe N° : 162472
Recepción de muestra : 29/10/2015
Fecha de ensayo : 04/11/2015
Fecha de emisión : 27/06/2016

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante : Universidad de Piura - FONDECYT
Obra : "Evaluación experimental del uso de conchas de abanico como reemplazo de agregados pétreos en concreto hidráulico con cemento portland". Proyecto FONDECYT con convenio Nro. 094-2014-FONDECYT-DE
Ubicación : Piura
Muestreo realizado por : El solicitante
Identificación : Concha de abanico triturada con granulometría Fuller y Thompson
Descripción visual : Concha de abanico triturada en fracción gruesa
Procedencia : Sechura

RESULTADOS:

Parámetro	Norma	
Tamaño máximo nominal mm (pulg.)		3/4"
Densidad suelta (kg/m ³)	NTP 400.017 1999	842.000
Densidad compactada (kg/m ³)	NTP 400.017 1999	985.000
Peso específico (Sup. Sec. Sat.)	NTP 400.021 1979	2.62
Absorción (%)	NTP 400.021 1999	1.60
Humedad (%)	NTP 339.127 1998	0.344

Observaciones:

Realizó el ensayo : Téc. Wilfredo Lazo C.
Presenció el ensayo : ---




Shirley Carrillo Siancas
Ingeniero Civil
CIP 79168
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 CONSTRUCCION

ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO
Norma: MTC E-222 2000

Informe N° : 162473
Fecha de recepción : 05/11/16
Fecha de ensayo : 06/11/15
Fecha de emisión : 27/06/16

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: Universidad de Piura - FONDECYT "Evaluación experimental del uso de conchas de abanico como reemplazo de agregados pétreos en concreto hidráulico con cemento portland". Proyecto FONDECYT con convenio Nro. 094-2014-FONDECYT-DE		
Obra	: FONDACYT con convenio Nro. 094-2014-FONDECYT-DE		
Objetivo del ensayo	: Cálculo de vacíos de aire y la angularidad del agregado fino		
Muestreo realizado por	: El solicitante		
Muestra	: Concha de abanico		
Gravedad específica bruta (Gsb)	: 2.57 g/cm ³	Volumen del recipiente	: 99.4 cm ³

RESULTADOS:

Ensayo	Peso del agregado (g)	Contenido de vacíos de aire (%)
1	114.6	55.14
2	114.0	55.37
3	114.3	55.26
Promedio		55.26

Observaciones: .

Realizó el ensayo : Téc. Wilfredo Lazo C.
Presenció el ensayo: : ---


LEMC.
Shirley Castillo Siancas
Ingeniera Civil
CIP 7946
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

DETERMINACIÓN DE PARTÍCULAS CHATAS O ALARGADAS EN AGREGADO GRUESO
Norma: NTP 400.040 1999

Informe N° : 162474
Fecha de recepción : 05/11/2015
Fecha de ensayo : 06/11/2015
Fecha de emisión : 27/06/2016

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante : Universidad de Piura - FONDECYT
Obra : "Evaluación experimental del uso de conchas de abanico como reemplazo de agregados pétreos en concreto hidráulico con cemento portland". Proyecto FONDECYT con convenio Nro. 094-2014-FONDECYT-DE
Ubicación : Piura
Muestreo realizado por : El solicitante
Muestra : Conchas de abanico
Procedencia : Botadero Sechura

Abertura del tamiz (pulg)	Gradación de la muestra original (%)	Partículas chatas		Partículas alargadas		Partículas ni chatas ni alargadas	
		% en peso de la fracción	Promedio ponderado	% en peso de la fracción	Promedio ponderado	% en peso de la fracción	Promedio ponderado
1 1/2 - 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1 - 3/4	34.63	98.70	34.18	0.00	0.00	1.30	0.45
3/4 - 1/2	40.98	99.54	40.79	0.00	0.00	0.41	0.17
1/2 - 3/8	24.39	98.85	24.11	0.00	0.00	0.85	0.21
	100.00		99.1		0.0		0.8



Nota:
Razón dimensional empleada: 1:3
Realizó el ensayo : Téc. Wilfredo Lazo C.
Supervisó el ensayo : Ing. Shirley Carrillo S.
Presenció el ensayo : ---

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.

ANEXO C
DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DOSIFICACIÓN DE CONCRETO

Solicitante: UNIVERSIDAD DE PIURA - FONDECYT

Informe N°: 155700

Fecha de emisión: 11/11/2015

Tipo de diseño: Curva granulométrica ajustada a Fuller y Thompson con agregados pétreos.
: "Evaluación experimental del uso de conchas de abanico como reemplazo de

Obra: agregados pétreos en concreto hidráulico con cemento portland". Proyecto FONDECYT con convenio Nro. 094-2014-FONDECYT-DE

Ubicación: PIURA

PARÁMETROS FÍSICOS DE LOS AGREGADOS

	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
Módulo de fineza	-	2.31
TMN (pulg.)	1	-
Peso unitario suelto en stock(kg/m ³)	1450	1437
Peso unitario varillado en stock(kg/m ³)	1590	1543
Gravedad específica (SSS)	2.8	2.46
Capacidad de absorción (%)	1.30%	1.56%
Humedad total (%)	0.35%	0.85%

DOSIFICACIÓN

fc (especificada): 245 kg/cm²
Desviación estándar: No especificada
fcr (requerida): 330 kg/cm² (Calculada según tabla 5.3 del R.N.E. Norma E.060 Concreto Armado)
Edad especificada (días): 28

	Tipo	Procedencia	Cantidades en peso en SSS para 1m ³ de concreto	Unidades	Proporción de mezcla en volumen (estado suelto)
Cemento	Tipo MS	PACASMAYO	422	kg	1
Agregado fino	Arena		536	kg	1.33
Agregado grueso	Piedra Triturada		1184	kg	2.91
Agua	Potable	--	210	kg	--
Fibra		--	-	kg	--
Aditivo		--	-	kg	--
Relación agua cemento	--	--	0.50	--	--
Slump	--	--	80 a 100	mm	--
Factor cemento	--	--	9.92	bls/m ³	--

Observaciones:

Técnico encargado : Wilfredo Lazo C.
Supervisor : Ing. Gaby Ruiz Petrozzi

Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46912
Responsable



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DOSIFICACIÓN DE CONCRETO

Solicitante: UNIVERSIDAD DE PIURA - FONDECYT

Informe N°: 155701

Fecha de emisión: 11/11/2015

Tipo de diseño: Curva granulométrica natural Fuller y Thompson con conchas de abanico.

: "Evaluación experimental del uso de conchas de abanico como reemplazo de agregados pétreos en concreto hidráulico con cemento portland". Proyecto FONDECYT con convenio Nro. 094-2014-FONDECYT-DE

Ubicación: PIURA

PARÁMETROS FÍSICOS DE LOS AGREGADOS

	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
Módulo de fineza	-	3.44
TMN (pulg.)	1	-
Peso unitario suelto en stock(kg/m ³)	842	1185
Peso unitario varillado en stock(kg/m ³)	985	1450
Gravedad específica (SSS)	2.62	2.60
Capacidad de absorción (%)	1.60%	1.06%
Humedad total (%)	0.34%	0.33%

DOSIFICACIÓN

f_c (especificada): 245 kg/cm²
Desviación estándar: ---- No especificada
 f_{cr} (requerida): 330 kg/cm² (Calculada según tabla 5.3 del R.N.E. Norma E.060 Concreto Armado)
Edad especificada (días): 28

	Tipo	Procedencia	Cantidades en peso en SSS para 1m ³ de concreto	Unidades	Proporción de mezcla en volumen (estado suelto)
Cemento	Tipo MS	PACASMAYO	422	kg	1
Agregado fino	Concha		669	kg	2.01
Agregado grueso	Concha		1005	kg	4.25
Agua	Potable	--	210	kg	--
Fibra		--	-	kg	--
Aditivo		--	-	kg	--
Relación agua cemento	--	--	0.50	--	--
Slump	--	--	80 a 100	mm	--
Factor cemento	--	--	9.92	bls/m ³	--

Observaciones:

Técnico encargado : Wilfredo Lazo C.
Supervisor : Ing. Gaby Ruiz Petrozzi

UNIVERSIDAD DE PIURA
I.E.M.C.
Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46912
Responsable



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DOSIFICACIÓN DE CONCRETO

Solicitante: UNIVERSIDAD DE PIURA - FONDECYT

Informe N°: 155702

Fecha de emisión: 11/11/2015

Tipo de diseño: Curva granulométrica ajustada a Fuller y Thompson con conchas de abanico. (Diseño 1)

: "Evaluación experimental del uso de conchas de abanico como reemplazo de agregados pétreos en

Obra: concreto hidráulico con cemento portland". Proyecto FONDECYT con convenio Nro. 094-2014-FONDECYT-DE

Ubicación: PIURA

PARÁMETROS FÍSICOS DE LOS AGREGADOS

	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
Módulo de fineza	-	2.31
TMN (pulg.)	1	-
Peso unitario suelto en stock(kg/m ³)	864	1026
Peso unitario varillado en stock(kg/m ³)	1010	1273
Gravedad específica (SSS)	2.61	2.59
Capacidad de absorción (%)	1.50%	1.01%
Humedad total (%)	0.33%	0.42%

DOSIFICACIÓN

f _c (especificada):	245 kg/cm ²
Desviación estándar:	No especificada
f _{cr} (requerida):	330 kg/cm ² (Calculada según tabla 5.3 del R.N.E. Norma E.060 Concreto Armado)
Edad especificada (días):	28

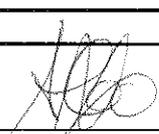
	Tipo	Procedencia	Cantidades en peso en SSS para 1m ³ de concreto	Unidades	Proporción de mezcla en volumen (estado suelto)
Cemento	Tipo MS	PACASMAYO	422	kg	1
Agregado fino	Concha		517	kg	1.79
Agregado grueso	Concha		1152	kg	4.74
Agua	Potable	--	210	kg	--
Fibra		--	-	kg	--
Aditivo		--	-	kg	--
Relación agua cemento	--	--	0.50	--	--
Slump	--	--	80 a 100	mm	--
Factor cemento	--	--	9.92	bls/m ³	--

Observaciones:

Técnico encargado : Wilfredo Lazo C.

Supervisor : Ing. Gaby Ruiz Petrozzi




Shirley Carrillo Siancas
Ingeniero Civil
CIP 79168
Responsable



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DOSIFICACIÓN DE CONCRETO

Solicitante: UNIVERSIDAD DE PIURA - FONDECYT

Informe N°: 162480

Fecha de emisión: 29/02/2016

Tipo de diseño: Curva granulométrica ajustada a Fuller y Thompson con conchas de abanico. (Diseño 2)
: "Evaluación experimental del uso de conchas de abanico como reemplazo de

Obra: agregados pétreos en concreto hidráulico con cemento portland". Proyecto FONDECYT con convenio Nro. 094-2014-FONDECYT-DE

Ubicación: PIURA

PARÁMETROS FÍSICOS DE LOS AGREGADOS

	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
Módulo de fineza	-	2.31
TMN (pulg.)	1	-
Peso unitario suelto en stock(kg/m ³)	864	1026
Peso unitario varillado en stock(kg/m ³)	1010	1273
Gravedad específica (SSS)	2.61	2.59
Capacidad de absorción (%)	1.50%	1.01%
Humedad total (%)	0.33%	0.42%

DOSIFICACIÓN

$f'c$ (especificada):	245 kg/cm²				
Desviación estándar:	----- No especificada				
$f'cr$ (requerida):	330 kg/cm² (Calculada según tabla 5.3 del R.N.E. Norma E.060 Concreto Armado)				
Edad especificada (días):	28				
	Tipo	Procedencia	Cantidades en peso en SSS para 1m ³ de concreto	Unidades	Proporción de mezcla en volumen (estado suelto)
Cemento	Tipo MS	PACASMAYO	548	kg	1
Agregado fino	Concha		434	kg	1.16
Agregado grueso	Concha		967	kg	3.06
Agua	Potable	--	273	kg	--
Fibra		--	-	kg	--
Aditivo		--	-	kg	--
Relación agua cemento	--	--	0.50	--	--
Slump	--	--	80 a 100	mm	--
Factor cemento	--	--	12.90	bls/m ³	--

Observaciones:

Técnico encargado : Wilfredo Lazo C.
Supervisor : Ing. Shirley Carrillo Siancas



Shirley Carrillo Siancas
Ingeniero Civil
CIP 79168
Responsable



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DOSIFICACIÓN DE CONCRETO

Solicitante: UNIVERSIDAD DE PIURA - FONDECYT

Informe N°: 162481

Fecha de emisión: 29/02/2016

Tipo de diseño: Curva granulométrica ajustada a Fuller y Thompson con conchas de abanico.(Diseño 3)
: "Evaluación experimental del uso de conchas de abanico como reemplazo de

Obra: agregados pétreos en concreto hidráulico con cemento portland". Proyecto FONDECYT con convenio Nro. 094-2014-FONDECYT-DE

Ubicación: PIURA

PARÁMETROS FÍSICOS DE LOS AGREGADOS

	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
Módulo de fineza	-	2.31
TMN (pulg.)	1	-
Peso unitario suelto en stock(kg/m ³)	864	1026
Peso unitario varillado en stock(kg/m ³)	1010	1273
Gravedad específica (SSS)	2.61	2.59
Capacidad de absorción (%)	1.50%	1.01%
Humedad total (%)	0.33%	0.42%

DOSIFICACIÓN

f _c (especificada):	245 kg/cm ²
Desviación estándar:	----- No especificada
f'cr (requerida):	330 kg/cm ² (Calculada según tabla 5.3 del R.N.E. Norma E.060 Concreto Armado)
Edad especificada (días):	28

	Tipo	Procedencia	Cantidades en peso en SSS para 1m ³ de concreto	Unidades	Proporción de mezcla en volumen (estado suelto)
Cemento	Tipo MS	PACASMAYO	604	kg	1
Agregado fino	Concha		399	kg	0.97
Agregado grueso	Concha		887	kg	2.55
Agua	Potable	--	301	kg	--
Fibra		--	-	kg	--
Aditivo		--	-	kg	--
Relación agua cemento	--	--	0.50	--	--
Siump	--	--	80 a 100	mm	--
Factor cemento	--	--	14.21	bls/m ³	--

Observaciones:

Técnico encargado : Wilfredo Lazo C.

Supervisor : Ing. Shirley Carrillo Siancas



Shirley Carrillo Siancas

Ingeniero Civil

Responsable

ANEXO D
RESULTADOS DE ENSAYOS DE CONCRETO FRESCO



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

RESULTADOS ENSAYOS CONCRETO FRESCO

Informe N° : 155697
Código : TL245-0 a
Fecha de recepción : 11/11/2015
Fecha de ensayo : 11/11/2015
Fecha de emisión : 25/11/2015

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: Universidad de Piura - FONDECYT
Obra	: "Evaluación experimental del uso de conchas de abanico como reemplazo de agregados pétreos en concreto hidráulico con cemento portland". Proyecto FONDECYT con convenio Nro. 094-2014-FONDECYT-DE
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia	: 245 Kg/cm ²
Reemplazo	: 0 %
Agregado Grueso	: Triturado
Tipo de Concha	: Limpia

RESULTADOS:

Parámetro	Norma	Valor
Slump (pulg.)	NTP 339.035 1999	4.00
Peso Unitario (kg/m ³)	NTP 339.046 1979	2390.08
Contenido de aire (%)	NTP 339.046 1979	1.20
Temperatura (°C)	NTP 339.184 2013	34.20

Observaciones:

Realizó el ensayo : Téc. Wilfredo Lazo C.
Presenció el ensayo : —

Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniera Civil
CIP 46947
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

RESULTADOS ENSAYOS CONCRETO FRESCO

Informe N° : 155698
Código : TL245-100 cf
Fecha de recepción : 11/11/2015
Fecha de ensayo : 11/11/2015
Fecha de emisión : 25/11/2015

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: Universidad de Piura - FONDECYT
Obra	: agregados pétreos en concreto hidráulico con cemento portland". Proyecto
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia	: 245 Kg/cm ²
Reemplazo	: 100 %
Agregado Grueso	: Triturado
Tipo de Concha	: Limpia

RESULTADOS:

Parámetro	Norma	Valor
Slump (pulg.)	NTP 339.035 1999	0.00
Peso Unitario (kg/m ³)	NTP 339.046 1979	1687.88
Contenido de aire (%)	NTP 339.046 1979	7.20
Temperatura (°C)	NTP 339.184 2013	31.60

Observaciones:

Realizó el ensayo : Téc. Wilfredo Lazo C.
Presenció el ensayo : ---


Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46912
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

RESULTADOS ENSAYOS CONCRETO FRESCO

Informe N° : 155699
Código : TL245-100 ca
Fecha de recepción : 11/11/2015
Fecha de ensayo : 11/11/2015
Fecha de emisión : 25/11/2015

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: Universidad de Piura - FONDECYT
Obra	: agregados pétreos en concreto hidráulico con cemento portland". Proyecto
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia	: 245 Kg/cm ²
Reemplazo	: 100 %
Agregado Grueso	: Triturado
Tipo de Concha	: Limpia

RESULTADOS:

Parámetro	Norma	Valor
Slump (pulg.)	NTP 339.035 1999	0.00
Peso Unitario (kg/m ³)	NTP 339.046 1979	1795.36
Contenido de aire (%)	NTP 339.046 1979	8.00
Temperatura (°C)	NTP 339.184 2013	39.00

Observaciones:

Realizó el ensayo : Téc. Wilfredo Lazo C.
Presenció el ensayo : —


Gaby Ruggero Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46947
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

RESULTADOS ENSAYOS CONCRETO FRESCO

Informe N° : 162482
Código : TL245-100 ca2

Fecha de recepción : 29/02/2015
Fecha de ensayo : 29/02/2015
Fecha de emisión : 27/06/2016

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: Universidad de Piura - FONDECYT
Obra	: "Evaluación experimental del uso de conchas de abanico como reemplazo de agregados pétreos en concreto hidráulico con cemento portland", Proyecto FONDECYT con convenio Nro. 094-2014-FONDECYT-DE
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia	: 245 Kg/cm ²
Reemplazo	: 100 %
Agregado Grueso	: Triturado
Tipo de Concha	: Limpia

RESULTADOS:

Parámetro	Norma	Valor
Slump (pulg.)	NTP 339.035 1999	0.75
Peso Unitario (kg/m ³)	NTP 339.046 1979	1760.00

Observaciones:

Realizó el ensayo : Téc. Wilfredo Lazo C.
Presenció el ensayo : —


Shirley Carrillo Siancas
Ingeniero Civil
CIP 79166
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

RESULTADOS ENSAYOS CONCRETO FRESCO

Informe N° : 162513
Código : TL245-100 ca3

Fecha de recepción : 29/02/2015
Fecha de ensayo : 29/02/2015
Fecha de emisión : 28/06/2016

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: Universidad de Piura - FONDECYT
Obra	: "Evaluación experimental del uso de conchas de abanico como reemplazo de agregados pétreos en concreto hidráulico con cemento portland". Proyecto FONDECYT con convenio Nro. 094-2014-FONDECYT-DE
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia	: 245 Kg/cm ²
Reemplazo	: 100 %
Agregado Grueso	: Triturado
Tipo de Concha	: Limpia

RESULTADOS:

Parámetro	Norma	Valor
Slump (pulg.)	NTP 339.035 1999	6.50
Peso Unitario (kg/m ³)	NTP 339.046 1979	1997.16
Contenido de aire (%)	NTP 339.046 1979	10.00
Temperatura (°C)	NTP 339.184 2013	30.90

Observaciones:

Realizó el ensayo : Téc. Wilfredo Lazo C.
Presenció el ensayo : --


Shirley Carrillo Siancas
Ingeniero Civil
CIP 7916
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.

ANEXO E

RESULTADOS DE ENSAYOS DE CONCRETO ENDURECIDO



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

Informe N° : 162478
Código N° : TAP
Fecha de recepción : 09/12/2015
Fecha de emisión : 27/06/2016

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: UNIVERSIDAD DE PIURA - FONDECYT
Obra	: "Evaluación experimental del uso de conchas de abanico como reemplazo de agregados pétreos en concreto hidráulico con cemento portland". Proyecto FONDECYT con convenio Nro. 094-2014-FONDECYT-DE
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia especificada	: 245 kg/cm ²
Reemplazo	: 100%
Agregado grueso	: Triturado
Tipo de concha	: Limpia
Fecha de moldeo	: Según lo detallado en cuadro de resultados

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)
TAP - 28d	11-11-15	09-12-15	28	15.2	49882	274.89	245
TAP - 28d	11-11-15	09-12-15	28	15.2	48272	266.02	245
TAP - 28d	11-11-15	09-12-15	28	15.2	49557	273.1	245
Promedio						271.34	245

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.
La identificación de los especímenes ha sido definida por el solicitante.

Realizó el ensayo : Téc. Wilfredo Lazo C.
Presenció el ensayo : —

Shiny Carrillo S.
Ingeiero Civil
CIP 168
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

Informe N° : 162514
Código N° : TCA
Fecha de recepción : 28/03/16
Fecha de emisión : 28/06/16

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: UNIVERSIDAD DE PIURA - FONDECYT
Obra	: "Evaluación experimental del uso de conchas de abanico como reemplazo de agregados pétreos en concreto hidráulico con cemento portland". Proyecto FONDECYT con convenio Nro. 094-2014-FONDECYT-DE
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia especificada	: 245 kg/cm ²
Reemplazo	: 100%
Agregado grueso	: Triturado
Tipo de concha	: Limpia
Fecha de moldeo	: Según lo detallado en cuadro de resultados

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)
TCA - 28d	29/02/16	28/03/16	28	15.2	31239	172.16	245
TCA - 28d	29/02/16	28/03/16	28	15.2	32629	179.82	245
TCA - 28d	29/02/16	28/03/16	28	15.2	30519	168.19	245
Promedio						173.39	

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.
La identificación de los especímenes ha sido definida por el solicitante.

Realizó el ensayo : Téc. Wilfredo Lazo C.
Presenció el ensayo : ---

UNIVERSIDAD DE PIURA
L.E.M.C.
Shirley Carrillo S.
Ingeniero Civil
CIP 79168
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.

