



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

VALORACIÓN DE RESIDUOS CRUSTÁCEOS PARA CONCRETOS DE BAJA RESISTENCIA

Douglas Nizama-Lazo

Piura, setiembre de 2014

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Civil

Nizama, D. (2014). *Valoración de residuos crustáceos para concretos de baja resistencia*. Tesis de pregrado no publicado 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



“Valoración de residuos crustáceos para concretos de baja resistencia”

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil

DOUGLAS RENATO NIZAMA LAZO

Asesor: Mgtr. Ing. Gaby Ruiz Petrozzi

Piura, setiembre 2014

El Señor Cautivo de Ayabaca;
A mis padres: Renato y Fredesvinda;
A mis hermanos: Patricia, Carlo y Ronald,

Prólogo

En la presente época, el ser humano está preocupado por el medio ambiente que lo rodea, pues con las actividades que realizamos, lo estamos llevando a la destrucción. El campo de la construcción no es ajeno a ello. Por tal motivo siempre se busca innovar en procedimientos y materiales de construcción, para mitigar en lo posible las acciones que perjudiquen nuestro medio. Uno de los problemas que se presenta actualmente en el rubro de la construcción es la sobreexplotación de canteras y nuestra región no es ajena a este problema.

El presente estudio explora la posibilidad de usar subproductos de conchas de abanico, como reemplazo de agregado grueso. Se optó por este molusco, porque en la provincia de Sechura existen altos niveles de contaminación por acumulación de estos residuos, especialmente camino a la playa Chuliyachi, pues las 15 empresas productoras utilizan este camino como botadero.

Por lo expuesto, con esta tesis se estaría dando una alternativa de solución a dos problemas que afectan nuestra región: el primero, la contaminación en Sechura y el segundo, la sobreexplotación de canteras.

Resumen

Este trabajo estudia el uso de las conchas de abanico como reemplazo parcial de los agregados en concreto. Bajo un diseño de 210Kg/cm^2 , se reemplazó una fracción del agregado grueso (20%, 40% y 60% en peso) por conchas de abanico trituradas, retenidas en los tamices de 1" y $\frac{3}{4}$ ", evaluando las propiedades del concreto fresco y endurecido.

Los resultados muestran que el mayor efecto del reemplazo del agregado por concha de abanico triturada se da en la trabajabilidad (de un slump de 17cm pasa a 2.50cm para el 60% de reemplazo) y en la resistencia a la compresión (de 289Kg/cm^2 a 195Kg/cm^2 para el 60% de reemplazo) a medida que se incrementa el porcentaje de reemplazo.

También se encontró una disminución del peso unitario del concreto fresco al incrementar el porcentaje de reemplazo, aunque la variación no es significativa (de 2.343gr/cm^3 a 2.328gr/cm^3 para el 60% de reemplazo).

Se concluye que es posible obtener un concreto de características mecánicas aceptables al reemplazar parte del agregado grueso por conchas de abanico trituradas, en tamaños menores a 1" en proporciones máximas del 40%. Más allá de este porcentaje de reemplazo la trabajabilidad disminuye considerablemente y no se logra la resistencia especificada.

Índice general

	Pág.
Introducción	1
Capítulo 1: Uso de agregados para la fabricación de concreto	3
1.1. Clasificación de los agregados	3
1.1.1. Clasificación según su composición granulométrica	3
1.1.2. Clasificación según su peso específico	4
1.1.3. Clasificación por la forma de las partículas del agregado	5
1.1.4. Clasificación por la textura	5
1.2. Propiedades físicas de los agregados	6
1.2.1. Gradación del agregado	6
1.2.2. Densidad del agregado	7
1.2.3. Peso unitario del agregado	8
1.2.4. Porosidad y absorción del agregado	8
1.3. Propiedades mecánicas de los agregados	9
1.3.1. Resistencia del agregado	9
1.3.2. Tenacidad	10
1.3.3. Adherencia	10
1.3.4. Dureza	10
1.3.5. Resistencia al intemperismo	10
1.4. Reacción álcali-agregado	10
1.4.1. Reacción álcali-sílice	11
1.4.2. Reacción álcali-carbonato	12
1.5. Influencia de los agregados pétreos en las propiedades del concreto fresco	12
1.5.1. Influencia de la absorción de los agregados	13
1.5.2. Influencia de la forma de los agregados	13
1.5.3. Influencia de la granulometría de los agregados	14
1.6. Influencia de los agregados pétreos en las propiedades del concreto endurecido	15

1.6.1. Influencia de la textura superficial de los agregados	15
1.6.2. Influencia del tamaño máximo de los agregados	15
1.6.3. Influencia de la cantidad de agregado	15
1.6.4. Influencia de la capacidad de absorción de los agregados	16
1.6.5. Influencia de la densidad de los agregados	16
1.7. Naturaleza calcárea de la concha triturada y su efecto en el comportamiento del concreto	16
1.8. Residuos de concha de abanico como agregado	17
1.8.1. Investigaciones previas del uso de material crustáceo como agregado para concreto	17
1.8.2. Características de las conchas de abanico como agregado según las Normas Técnicas Peruana	19
Capítulo 2: Caracterización de materiales	23
2.1. Cemento Portland Tipo MS	23
2.2. Agregado grueso	23
2.3. Agregado fino	25
2.4. Residuos de concha de abanico	27
2.4.1. Botadero de Sechura	28
2.4.2. Análisis de las partículas obtenidas a partir de las conchas de abanico.	32
2.4.2.1. Partículas retenidas en el tamiz de 1”	33
2.4.2.2. Partículas retenidas en el tamiz de 3/4”	35
2.5. Propiedades de la concha de abanico triturada como agregado para el concreto	37
2.6. Comportamiento esperado en el concreto	38
Capítulo 3: Programa experimental	39
3.1. Diseño de mezcla	39
3.2. Parámetros de diseño	40
3.3. Selección del slump	40
3.4. Diseño patrón	40
3.5. Disposición de materiales para el reemplazo	41
3.6. Análisis del concreto	42
3.6.1. Trabajabilidad (NTP 339.045)	43
3.6.2. Peso unitario y rendimiento (NTP N° 339.046)	43
3.6.3. Temperatura (NTP 339.184)	43
3.6.4. Resistencia a la compresión (NTP 339.034)	43
Capítulo 4: Resultados	45
4.1. Resultados en el concreto fresco	45
4.1.1. Peso unitario y rendimiento (NTP N° 339.046)	45
4.1.2. Temperatura (NTP 339.184)	47
4.1.3. Trabajabilidad (NTP 339.045)	49
4.2. Resultados en el concreto endurecido	51
4.2.1. Resistencia del concreto a diferentes edades de curado (NTP 339.034)	51

4.2.2. Patrones de falla de las probetas de concreto sometidas a compresión	52
4.3. Relación entre las propiedades del concreto fresco sobre la resistencia a la compresión.	56
Conclusiones y recomendaciones	60
Bibliografía	57
Anexos	67

Introducción

El concreto es el material más usado en todo el mundo en la industria de la construcción, debido a sus características de economía, durabilidad y versatilidad; lo cual genera un elevado impacto ambiental que debe ser mitigado desde el diseño del material, su producción y hasta su aplicación en las construcciones. Muchos países en el mundo comienzan a incluir prácticas que sean amigables al medio ambiente, en búsqueda de mejoras continuas que ayuden a reducir los impactos ambientales y en este aspecto la industria de la construcción no es ajena.

En la actualidad existen altas tecnologías y procedimientos constructivos muy bien detallados que nos permiten lograr concretos de alta resistencia a la compresión para estructuras importantes. Sin embargo existe una gran cantidad de estructuras de concreto que no necesitan concretos de elevada resistencia a la compresión, muy especialmente en aplicaciones económicas para obras de interés social. Podemos identificar en nuestra región su uso en estructuras como: veredas, canales de irrigación, losas deportivas, losas de parques de recreación y plazuelas, todos con requisitos estructurales no tan exigentes (*Fuente: Municipalidad de Piura, Gerencia de Obras*). Sabiendo que el uso de conchas de abanico trituradas reducirá la resistencia a la compresión, para la presente investigación se usará una resistencia especificada de $f'c=210\text{Kg/cm}^2$, esperando cubrir los requerimiento antes mencionados.

Ante la problemática que enfrenta actualmente el medio ambiente, de una elevada explotación de canteras, se presenta la posibilidad de usar otras opciones de agregado para el concreto. Esta tesis busca explorar la posibilidad de reemplazar parte del agregado del concreto por residuos crustáceos, específicamente residuos de concha de abanico.

Se ha optado por analizar éste crustáceo porque en Sechura, provincia Piura se produce el 80% de la concha de abanico a nivel nacional y el 50% a nivel de Sudamérica, lo que implica que existe gran cantidad de residuos de concha de abanico que se almacenan en botaderos no autorizados, los cuales no son reusados ni tratados. En Sechura actualmente se están acumulando alrededor de 100 000 toneladas métricas de residuos de concha de

abanico por año. Su uso como agregado estaría contribuyendo a reducir la explotación de canteras y se le daría uso a estos botaderos de conchas, reduciendo al mismo tiempo la contaminación ambiental en las costas de Piura.

Capítulo 1

Uso de agregados para la fabricación de concreto

Se llama agregado a las rocas y al material fino empleado como material de construcción, este es un conjunto de partículas de origen natural o artificial, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la NTP 400.011, llamados también áridos.

1.1. Clasificación de los agregados

1.1.1. Clasificación según su composición granulométrica

Desde el punto de vista de su granulometría, los agregados se dividen en dos grupos: los agregados finos y los agregados gruesos. En la tabla 1.1 se presenta un esquema de ésta clasificación.

Tabla 1.1: Clasificación de los agregados según su tamaño.

Tamaño de la partícula (mm)	Denominación Común	Clasificación
Pasante del tamiz #200 en inferior a 0.002mm	Arcilla	Fracción fina o finos
Entre 0.002 – 0.074mm	Limo	
Pasante del tamiz #4 y retenido en el #200	Arena	Agregado fino
Retenido en el tamiz #4	Gravilla	Agregado grueso
Entre #4 y ¾"	Grava	
Entre ¾" y 2"	Piedra	
Entre 2" y 6"	Rajón, piedra bola	
Superior a 6"		

Fuente: Livia Gutiérrez de López (2003)

- **Agregado fino**

El agregado fino consiste en arenas naturales, manufacturadas o ambas, con tamaños de partícula que van desde 4.75mm (Tamiz #4) hasta 75µm (Tamiz #200). La arena natural consiste en arena de río, de mar o arena de tajo. La arena manufacturada consiste de polvo de piedra en su condición natural o lavada que se ajusta a los requisitos de la calidad especificados (ITINTEC 400.002).

- **Agregado grueso**

El agregado grueso consiste en canto rodado o grava obtenida a partir de la trituración de rocas, cuyas partículas son mayores a 4.75mm (ITINTEC 400.002).

1.1.2. Clasificación según su peso específico

De acuerdo a su peso específico, los agregados se dividen en livianos y pesados; estas diferencias los hacen aptos para producir concreto con cierta variedad en el peso unitario, el cual es una característica básica del material.

Los requisitos que deben cumplir los agregados livianos y pesados se establecen en las normas, en la Tabla 1.2 se muestra la clasificación propuesta por la NTP 400.011.

Tabla 1.2: Clasificación de los agregados según su densidad.

Agregados	Clasificación
AGREGADO LIVIANO	Uso en concreto aislante térmico • Grupo I: Agregados resultantes de productos expandidos, tales como perlitas o vermiculitas. • Grupo II: Agregados resultantes de productos expandidos, calcinados o sintetizados, tales como escoria de alto horno, arcillas, diatomitas, esquistos o pizarras y agregados preparados del procesamiento de materiales naturales, tales como pumitas, escorias o tufos.
	Uso en concreto estructural • Tipo I: Agregados resultantes de productos expandidos, paletizados o sintetizados; tales como escoria de alto horno, arcillas diatomitas, esquistos o pizarras. • Tipo II: Agregados resultantes del procesamiento de materiales naturales, tales como pumitas, escorias o tufos. Agregado que cumple con los requisitos ASTM C331 con una densidad de masa menor de 1120 Kg/m ³ para el agregado fino y menor de 880 Kg/m ³ para el agregado grueso.
	Uso en unidades de albañilería • Tipo I: Agregados resultantes de productos expandidos, paletizados o sintetizados, tales como escoria de altos hornos, arcillas diatomitas, esquistos o pizarras. • Tipo II: Agregados resultantes del procesamiento de materiales naturales, tales como pumitas, escorias o tufos. • Tipo III: Agregados resultantes de la combustión final de productos de carbón o coque. Agregado que cumple con los requisitos ASTM C331 con una densidad de masa menor de 1120 Kg/m ³ para el agregado fino y menor de 880 Kg/m ³ para el agregado grueso.

AGREGADO PESADO (Concretos para protección radiactiva)	1. Agregados minerales naturales de alta densidad o alto contenido de agua: Barita, magnetita, hematina, ilmenita y serpentina.
	2. Agregados sintéticos: acero, hierro, ferro fosforosos, fritas de boro y otros compuestos de boro.
	3. Agregados finos consistentes de arena natural o manufacturada incluyendo minerales de alta densidad. El agregado grueso puede consistir de mineral triturado, piedra chancada, productos sintéticos y combinaciones o mezclas de estos.

Fuente: NTP 400.011

1.1.3. Clasificación por la forma de las partículas del agregado

La NTP 400.011, describe y clasifica la forma de las partículas, como a continuación se detalla:

- **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 plana. Ejemplo: Rocas trituradas de todos tipos, escoria triturada.
- **Alargada:** Material angular en el que la longitud es considerablemente mayor que las otras dos direcciones.

1.1.4. Clasificación por la textura

La textura es una propiedad derivada directamente de la roca madre y es la responsable de la adherencia del agregado con la pasta y de la fluidez de las mezclas del concreto. Según la textura, el agregado se puede clasificar de la siguiente manera (Fuente: NTP 400.011):

- **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, gabro, gneis.
- **Panal de abeja:** Con cavidades y poros visibles. Ejemplo: Ladrillo, pómez, escoria espumosa y barro expandido.

1.2. Propiedades físicas de los agregados

Dentro de las propiedades físicas de los agregados se tiene: Gradación, forma (ver apartado 1.1.3.), textura (ver apartado 1.1.4.), densidad, peso unitario, porosidad y absorción.

1.2.1. Gradación del agregado

La granulometría de los agregados juega un papel primordial en su comportamiento y durabilidad. Una buena gradación implica una mejor disposición de las partículas y una mayor resistencia a los esfuerzos de flexión y compresión. Esto ha llevado a recomendar el uso de determinadas gradaciones según el uso y tipo de estructura.

Para una mejor visualización de la distribución del agregado, los resultados del análisis granulométrico se grafican mediante una curva granulométrica, llevando en abscisas los logaritmos de las aberturas de los tamices y en las ordenadas los porcentajes que pasan o sus complementos a 100, que son los retenidos acumulados.

Una curva tendida indica un material bien gradado y corresponde a una gradación densa o cerrada, es decir, los espacios entre partículas son mínimos, no existe ni exceso ni defecto de un tamaño determinado. En cambio una curva casi vertical indica un material mal gradado, en el que predominan solo unos pocos y existe una gran cantidad de espacios vacíos. De un análisis granulométrico se obtienen los parámetros: Tamaño máximo, tamaño máximo nominal, módulo de finura, distribución de tamaños del agregado y porcentaje de finos (NTP 400.012).

- **Tamaño máximo**

La menor abertura del tamiz que permite el paso de la totalidad de la muestra. Indica la dimensión de la partícula más grande que hay en la muestra.

- **Tamaño máximo nominal**

La abertura de tamiz inmediatamente superior a aquél cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15% o más. Indica el tamaño promedio de partículas más grandes que hay dentro de una masa de agregado.

- **Módulo de fineza**

Es un valor empírico que permite estimar el grosor o finura de un material, se define como la centésima parte del porcentaje total del material acumulado retenido en los tamices empleados para efectuar el análisis granulométrico: #100, #50, #30, #16, #8, #4, 3/8", 3/4", 1 1/2" y mayores, según la especificación para cada tipo de agregado.

El uso del módulo de fineza se ha restringido al agregado fino y según este módulo las arenas se clasifican en:

- Arenas finas: Módulo de fineza entre 0.5-1.5
- Arenas medias: Módulo de fineza entre 1.5-2.5
- Arenas gruesas: Módulo de fineza entre 2.5 - 3.5

Cuando la arena está mezclada con grava se obtienen módulos de fineza mayores y a mayor proporción de grava en la arena mayor es el módulo de fineza, en este caso la clasificación se hace así:

- Arenas finas Módulo de fineza entre 2.2 - 2.6
- Arenas medias Módulo de fineza entre 2.6-2.9
- Arenas gruesas Módulo de fineza entre >2.9

- **Porcentaje de finos**

Se define como el porcentaje que pasa el tamiz N°200.

1.2.2. Densidad del agregado

La densidad se define como la relación de peso a volumen de una masa determinada, esta propiedad depende directamente de la roca que dio origen al agregado. Pero como las partículas del agregado están compuestas por minerales y poros que pueden estar vacíos, parcialmente saturados o llenos de agua según la permeabilidad, es necesario hacer diferenciación entre los distintos tipos de densidad.

- **Densidad Relativa (Gravedad específica)**

Es la relación entre la masa (o peso en el aire) de una unidad de volumen de un material y la masa del mismo volumen de agua a igual temperatura.

Los valores son adimensionales y se usa en el diseño de mezcla para estimar los volúmenes ocupados por el agregado, por lo que sería interesante poder comparar éste parámetro entre las partículas de concha de abanico y el agregado grueso.

1.2.3. Peso unitario del agregado

Se define como la relación entre el peso de una muestra de agregado compuesta de varias partículas y el volumen que ocupan estas partículas agrupadas dentro de un recipiente de volumen conocido. Es decir, el material dentro del recipiente sufre un acomodo de las partículas dejando el menor espacio posible entre ellas; el mayor peso unitario se obtendrá cuando se tenga mayor cantidad de material en un mismo volumen, lo que depende naturalmente de la granulometría, tamaño, forma y textura del agregado.

Existen dos tipos de peso unitario:

- **Peso unitario compactado**

Se define como el peso del material compactado dividido entre el volumen que ocupa, este valor se utiliza para determinar el volumen absoluto de agregado grueso en las mezclas de concreto.

- **Peso unitario suelto**

Es la relación que existe entre el peso del agregado suelto o en estado normal de reposo y el volumen que ocupa, este valor es menor que el peso unitario compactado porque el material en estado suelto ocupa un volumen mayor.

El peso unitario de los agregados se determinará según lo indicado en la NTP 400.017.

1.2.4. Porosidad y absorción del agregado

La porosidad del agregado es una cualidad muy importante, directamente relacionada con la adherencia y resistencia a la compresión y flexión de las partículas, así como a su comportamiento frente a problemas de congelamiento, deshielo e intemperismo.

La porosidad está asociada a la capacidad de absorción de agua u otro líquido que tienen los agregados, capacidad que depende de la cantidad y tamaño de los poros, así como de la continuidad de los mismos. Según su contenido de humedad, las partículas que conforman un agregado pueden estar en los estados que se muestra en la figura 1.1.

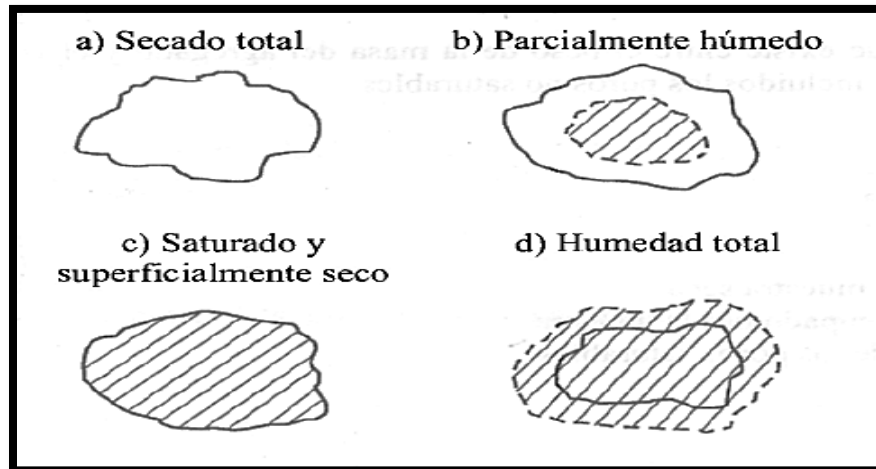


Figura 1.1: Estados de humedad de los agregados.

Fuente: Livia Gutiérrez de López (2003)

En el primer caso, el material está seco, es decir, no tiene ni agua de absorción ni agua libre, estado que se obtiene solo cuando el material ha estado en el horno a una temperatura de 110 °C durante 24 horas o hasta que tenga peso constante.

En el segundo caso el material tiene alguna humedad, es decir los poros tienen agua absorbida; es el caso del material al medio ambiente.

En el tercer caso el material tiene todos los poros saturados pero está superficialmente seco. Este estado se logra cuando el material ha sido sumergido mínimo 24 horas y se seca superficialmente.

En el cuarto caso, el material está saturado y posee agua libre que da a las partículas una película brillante.

Para determinar el peso específico, la capacidad de absorción del agregado fino y grueso, se sigue lo especificado en la NTP 400.022 y NTP 400.021 respectivamente.

1.3. Propiedades mecánicas de los agregados

Dentro de las propiedades mecánicas de los agregados se tiene: Resistencia, tenacidad, adherencia, dureza y resistencia al intemperismo.

1.3.1. Resistencia del agregado

La resistencia del agregado no es usualmente el principal factor que afecte la resistencia del concreto normal, porque la partícula del agregado suele ser mucho más resistente que la matriz y la zona de transición. Además, se puede relacionar esta resistencia con la composición mineralógica de los agregados. Chan et al (2003) asegura que en especímenes de concreto preparados con agregados calizos de la Península de Yucatán, México, es común observar que la falla se presente principalmente en los agregados,

especialmente para relaciones agua/cemento bajas (menores a 0.5). Por lo tanto, podría considerarse que los agregados calcáreos podrían influir en la resistencia a la compresión del concreto.

Otras características del agregado, distintas a la resistencia, tales como tamaño, forma, textura de superficie y mineralógica también pueden afectar la resistencia del concreto en grados distintos.

1.3.2. Tenacidad

La tenacidad es la resistencia que ofrece el agregado al impacto, y tiene mucho que ver con el manejo de los agregados, porque si estos son débiles al impacto pueden alterar su granulometría durante su manipulación o las operaciones de fabricación y colocación del concreto, influyendo a su vez en la calidad de la obra.

1.3.3. Adherencia

La adherencia se debe a fuerzas de origen físico-químico que ligan las partículas del agregado con la masa de concreto. Depende de la forma, textura y tamaño de las partículas. La adherencia juega un papel muy importante dentro de la masa del concreto, debido a que cuando esta interacción es lograda a través de una buena traba entre los agregados y la pasta de cemento, la resistencia del concreto es mayor.

1.3.4. Dureza

Cuando el concreto va a estar sometido a desgaste por abrasión (pisos y carreteras), los agregados que se utilicen en su fabricación deben ser duros. La dureza es una propiedad que depende de la constitución mineralógica, la estructura y la procedencia de los agregados.

1.3.5. Resistencia al intemperismo

La capacidad del agregado para soportar los cambios de condiciones ambientales depende de su procedencia, granulometría, forma, textura y porosidad. Una baja resistencia del agregado al intemperismo compromete la durabilidad de la obra, que no solo afecta su aspecto superficial (descascaramiento) sino su estabilidad por agrietamientos internos.

1.4. Reacción álcali – agregado

La reacción álcali agregado es un proceso físico-químico en el que intervienen preponderantemente los minerales que constituyen la roca usada como agregado y los hidróxidos alcalinos liberados durante el proceso de hidratación del cemento.

La NTP 334.001 define a reacción álcali-agregado como una reacción química, sea en el mortero o concreto, entre los álcalis (sodio y potasio) del cemento portland u otras fuentes y ciertos constituyentes de algunos agregados, bajo ciertas condiciones, pueden dar como resultado expansiones perjudiciales en el concreto o mortero.

Existen otros agentes que pueden generar algún tipo de reactividad álcali-agregado, tales como:

- **Condiciones ambientales:** Las condiciones necesarias para que ocurra la reacción álcali-agregado son una elevada humedad de ambiente o el humedecimiento y secado cíclico del concreto. En un concreto que permanezca seco no se presentarán fisuras. Ello es debido a que una vez se presenta la reacción inicial con formación de un gel de silicato de sodio, la expansión subsiguiente es el resultado de la absorción de agua por el gel.
- **Temperatura:** La temperatura tiene un efecto considerable sobre la reacción álcali-agregado. A temperaturas muy bajas la reacción es demasiado lenta para que ocurra daño alguno durante la vida de la estructura. A temperatura elevada la velocidad de la reacción es mucho más rápida y aumenta también la producción del gel de silicato de sodio, pero su viscosidad disminuye con la temperatura y esto reduce la presión de expansión generada por el gel y, en consecuencia, disminuye la magnitud del daño al concreto; debe, considerarse que a temperaturas elevadas es menos probable que pueda contarse con la de humedad adecuada para que la reacción tenga lugar.
- **Fuentes externas de álcalis:** Las principales fuentes externas de álcalis son las sales presentes en el agua del mar o en la brisa marina. Los álcalis derivados de tales fuentes pueden acumularse en el fluido de los poros del concreto aumentando su alcalinidad y la posibilidad de reacción con los agregados.

Estas reacciones calificadas como álcali-agregados, pueden dividirse en dos tipos de reacciones: La reacción álcali-sílice y la reacción álcali-carbonato.

1.4.1. Reacción álcali-sílice

Se incluyen las reacciones que pueden producirse entre los álcalis aportados por el cemento a la fase líquida del concreto y ciertas formas de dióxido de silicio, presentes en la naturaleza, que por estar parcialmente hidratado, criptocristalinizado, o intensamente fracturado, o con tensiones, ya sea como sílice o como silicatos en vidrios naturales o artificiales pueden, en determinadas circunstancias, cuando forman parte de los áridos gruesos o finos, producir expansiones.

Los álcalis del cemento portland son el óxido de sodio (Na_2O) y el óxido de potasio (K_2O), los cuales generalmente no causan problemas excepto cuando ciertos agregados reaccionan con ellos para formar un gel expansivo, que genera grietas en el concreto endurecido.

Los agregados considerados como reactivos tienen presencia de sílice o cuarzo en su forma criptocristalina, como el caso de las rocas sedimentarias (chert o lidita y el ópalo calcedonial), y menos comúnmente de cuarzo grueso granular, fracturado y deformado tectónicamente, como en las rocas plutónicas y metamórficas (cuarzo ondulatorio rico en sílice). La reactividad de los agregados está afectada por sus propiedades físicas, en

particular por el tamaño de las partículas; un agregado de una misma especie mineral puede causar mayor deterioro cuando menor sea el tamaño de partícula.

Las conchas de abanico no presentan en su composición sílice o cuarzo, por lo que no estimularán la reacción álcali-sílice, como sí lo podría producir el agregado que proviene de cantera.

1.4.2. Reacción álcali-carbonato

Se define como la reacción entre los álcalis (sodio y potasio) del cemento portland y ciertas rocas de carbonato, particularmente dolomita cálcica y calizas dolomíticas, presentes en algunos agregados; los productos de la reacción pueden causar expansión anormal y rajadura del concreto (NTP 334.001). Este segundo caso, menos frecuente que el primero, está limitado a específicos rangos de composición de la roca.

La dolomita cálcica es un mineral compuesto de carbonato de calcio y magnesio; las calizas dolomíticas son un carbonato doble de magnesio y calcio ($\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$), y que contiene un 46% de carbonato de magnesio, recibe el nombre de cal rica en calcio, cal magnesiana y cal dolomítica.

Es probable que se produzca la reacción álcali-carbonato cuando se realice el remplazo de agregado grueso por material crustáceo, pues las conchas de abanico están constituidas por carbonato de calcio, el cual podría generar ésta reacción. Sin embargo el reemplazo se realizará en el agregado grueso, por lo que se reduciría la probabilidad de que ésta reacción ocurra, pues las reacciones álcali-agregado ocurren con mayor facilidad cuando las partículas tienen menor tamaño (Pacheco C. et al., 2010).

1.5. Influencia de los agregados pétreos en las propiedades del concreto fresco

El concreto es un material compuesto, con una gran variabilidad en las características de sus componentes, especialmente en los agregados pétreos. Siendo éstas de carácter físico y químico, producen diferentes efectos, tanto en la trabajabilidad del concreto como en su comportamiento en estado endurecido, el cual regirá su vida de servicio.

El esfuerzo que el concreto puede resistir como material compuesto está determinado principalmente, por las características del mortero (mezcla de cemento, arena y agua), de los agregados gruesos y de la interface entre estos dos componentes. Por ello, para una misma dosificación, pastas con diferentes calidades y agregados gruesos con diferentes características (forma, textura, mineralogía, resistencia, etc.), pueden producir concretos de distintas resistencias.

Dentro de las principales propiedades de los agregados que influyen en el comportamiento del concreto a corto y largo plazo, se tiene la absorción, la forma y la granulometría

1.5.1. Influencia de la absorción de los agregados

La absorción es quizás la propiedad del agregado que más influye en el concreto, puesto que las partículas absorben agua directamente de la mezcladora, disminuyendo la trabajabilidad de la mezcla. Si dos tipos de agregados tienen absorción similar, otros factores secundarios serán de importancia en la consistencia de la mezcla, tales como forma, tamaño y gradación; ya que mientras mayor superficie del agregado sea necesario cubrir con pasta, se tendrá menos fluidez. Una buena resistencia y trabajabilidad de la mezcla se obtiene con la combinación de índices bajos de absorción y un buen coeficiente de forma, en donde las partículas son aproximadamente redondas.

1.5.2. Influencia de la forma de los agregados

La forma de los agregados tiene incidencia sobre la trabajabilidad y colocación del concreto en estado fresco. Las formas básicas de estos fueron explicada en el apartado 1.1.3., de todas éstas, la que mayor problema puede ocasionar para la trabajabilidad es aquella de tipo tabular que además está alargada (conocidas como piezas planas y alargadas). Estas piezas pueden provocar disminución en la trabajabilidad ya que muy fácilmente pueden orientarse de manera preferencial en un solo plano, dificultando la presencia de pasta entre ellas. Además, las gravas con esta forma ocasionan mayores requerimientos de pasta de cemento, y eso hace necesario un incremento en el volumen de agua para la mezcla. Es deseable, entonces, que los agregados, particularmente los gruesos, tengan una forma un tanto angular y cúbica.

Los agregados se pueden calificar por su forma, en base a su grado de redondez y esfericidad, obteniéndose una medida relativa de carácter comparativo y descriptivo. La manera como esta característica puede influir en el concreto fresco es variable, logrando producir, por ejemplo, a mayor grado de redondeamiento, menor relación de vacíos; pero, por otra parte, un menor valor de este parámetro reduce la adherencia agregado-pasta y la resistencia a la compresión.

El requerimiento de pasta de cemento de la mezcla de concreto está asociado a la superficie específica de los agregados. **Las partículas con una superficie específica menor como las de forma cúbica o redondeada requieren menos pasta de cemento** para alcanzar la misma trabajabilidad que una mezcla de concreto producida con agregados de mayor superficie específica como aquellos que contienen partículas alargadas y aplanadas (Shilstone, 1999).

Adicionalmente, las partículas chatas, alargadas, angulares y rugosas al acomodarse tienen un alto contenido de vacíos, que hacen que la mezcla requiera de más arena para proporcionar un concreto manejable. Cuando esto sucede, la finura de la mezcla de agregados es mayor, es decir que tiene una superficie específica mayor, y por ende el requerimiento de pasta incrementa (Legg, 1998). Además de tener un efecto directo sobre la trabajabilidad de la mezcla, las partículas aplanadas, alargadas, angulares y rugosas producen mezclas que dificultan el acabado superficial del concreto, así como su compactación.

Es posible que las partículas obtenidas a partir de la trituración de las conchas de abanico, presenten esta forma chata y alargada, por lo que ésta sería una de las razones que disminuirían la trabajabilidad del concreto en estado fresco.

Aunque la textura superficial afecta la trabajabilidad, su influencia no es tan representativa como la que tiene la gradación y la forma de los agregados (Galloway, 1994). La demanda de agua en una mezcla de concreto también está influenciada por la forma y textura de los agregados. Una demanda mayor de agua para obtener una trabajabilidad dada, reduce la resistencia y aumenta la exudación del concreto.

1.5.3. Influencia de la granulometría de los agregados

- **Granulometría del agregado grueso**

La granulometría y el tamaño máximo del agregado (TMA) para las gravas, afectan las porciones relativas de los agregados, así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, la economía y la durabilidad del concreto. Cuando los agregados son muy gruesos, pueden producir mezclas rígidas; mientras que aquellos agregados que no poseen una gran deficiencia o exceso de algún tamaño y tienen una curva granulométrica suave, producirán resultados más satisfactorios en las propiedades del concreto fresco.

- **Granulometría del agregado fino**

En el agregado fino hay dos elementos que deben ser considerados, por un lado el módulo de finura (MF), y por el otro la continuidad en los tamaños, ya que algunas arenas pueden tener módulos de finuras aceptables (entre 2.2 y 3.1) y carecer de alguna clase granulométrica.

Si se considera únicamente el módulo de finura, pueden obtenerse dos condiciones desfavorables: una de ellas existe cuando el módulo de finura es mayor a 3.1 (arena gruesa), en donde puede ocurrir que las mezclas sean poco trabajables, faltando cohesión entre sus componentes y requiriendo mayores consumos de cemento para mejorar su trabajabilidad. La otra condición es cuando el módulo de finura es menor a 2.2 (arena fina); en este caso puede ocurrir que los concretos sean pastosos y que haya mayores consumos de cemento y agua para una resistencia determinada, y también una mayor probabilidad que ocurran agrietamientos de tipo contracción por secado.

- **Presencia de finos en el agregado grueso**

Por último, en el agregado grueso un contenido excesivo de materiales finos puede provocar problemas similares en el concreto a los que suele causar una arena con un módulo de finura menor a 2.2.

1.6. Influencia de los agregados pétreos en las propiedades del concreto endurecido

Frecuentemente la variación de la resistencia del concreto puede explicarse con el cambio de la relación agua/cemento, no obstante, no siempre es el caso. Además, por consideraciones teóricas, independientemente de la relación agua/cemento, las características de las partículas del agregado tales como el tamaño, la forma, la textura de la superficie y el tipo de mineral, influyen en las características de la zona de transición, y por lo tanto, afectan la resistencia del concreto.

1.6.1. Influencia de la textura superficial de los agregados

En cuanto a la interrelación mecánica entre la matriz y el agregado grueso, la textura superficial de este es principalmente responsable de la adherencia. La roca triturada produce una adherencia superior comparado con la grava de canto rodado; aunque en la adherencia también tiene influencia la relación a/c que afecta tanto física como químicamente la zona de interface.

Özturan y Çeçen (1997) encontraron que concretos fabricados con agregados triturados resistieron más que los de canto rodado; el esfuerzo de compresión a los 28 días para los concretos hechos con agregados gruesos de grava redonda estuvo entre el 10% y 20% más bajos que los concretos preparados con agregados triturados. Lo anterior puede ser atribuido tanto a la superficie lisa de los agregados de canto rodado, como a su posible menor resistencia, en relación a los agregados triturados, que fueron de basalto y caliza.

1.6.2. Influencia del tamaño máximo de los agregados

El efecto del tamaño máximo del agregado en la resistencia también es conocido. La tendencia observada indica que mientras que el TMA disminuye, la resistencia decrece. Este fenómeno se ha observado para gravas de 75.0, 37.5, 19.0 y 9.5mm (3", 1½", ¾", y ⅜") (Sleiman, 2000). En contraste, no sucede lo mismo para el concreto hecho usando un TMA de 4.75mm. (No. 4). Esto es atribuido al tamaño pequeño del agregado y al hecho de que esta mezcla representa, básicamente, mortero o micro concreto.

1.6.3. Influencia de la cantidad de agregado

Aunque de manera simplista pudiera pensarse que el agregado grueso actúa principalmente como un relleno para reducir el contenido de la pasta de cemento y moderar el esfuerzo en la matriz, sus contribuciones parecen ser más que eso. Un porcentaje máximo en volumen de agregados, sobre todo gruesos, tiene un efecto positivo tanto en su resistencia, como en sus características de flujo plástico, contracción por secado y permeabilidad, hecho que se presenta debido a que la pasta de cemento endurecido constituye el elemento más débil en lo que se refiere a las propiedades antes citadas.

Se ha observado que concretos con bajos contenidos de agregados resisten altos esfuerzos a la edad de un día, excepto los hechos con grava triturada. En contraparte, los concretos con altos contenidos de agregados presentan bajas resistencias de compresión a edades tempranas, fallando probablemente por la concentración de esfuerzos alrededor de los

agregados, ya que en éstos sus propiedades físicas no varían con el tiempo, mientras que la resistencia y el módulo de elasticidad de la pasta de cemento están todavía por debajo de su valor final.

En caso que el material crustáceo presente menor densidad en comparación con el agregado pétreo, y que el reemplazo se realice en peso sería necesario mayor volumen de conchas para lograr el mismo peso en material pétreo, por lo que el volumen de agregado grueso se incrementaría, y se tendría una disminución en la trabajabilidad y la resistencia a la compresión.

1.6.4. Influencia de la capacidad de absorción de los agregados

La capacidad de absorción de un material incide directamente sobre el grado de alteración que este mismo puede sufrir; la cantidad de espacios vacíos como los poros y fisuras, y la permeabilidad, son factores que influyen sobre la durabilidad de cualquier estructura de concreto. Un ejemplo típico de esto son los concretos que se encuentran en sitios donde el proceso de congelamiento y deshielo es común, ya que el agua puede expandirse hasta un 9% al congelarse. Este cambio volumétrico puede alterar fuertemente la estructura interna del concreto.

Por otro lado la demanda de agua de los agregados determina el contenido de cemento y pasta para una determinada resistencia del concreto. Debido a que la pasta es la principal fuente de variación volumétrica en el concreto, los agregados con bajas demandas de agua producirían concretos menos propensos a variaciones volumétricas.

Se podría plantear una comparación entre la absorción de los agregados pétreos y el material crustáceo, para determinar si esta propiedad sería determinante en la trabajabilidad del concreto en estado fresco.

1.6.5. Influencia de la densidad de los agregados

Una propiedad de los agregados que resulta ser de vital importancia es la densidad. El volumen que ocupa un agregado según su peso es un indicador de las características del mismo en cuanto a ligereza, porosidad y permeabilidad, propiedades que pueden afectar al concreto en un mayor requerimiento de cemento para una resistencia específica y con esto una influencia directa sobre la economía de la mezcla. Además, si se emplea un material con alta densidad, el concreto resultante podría ser mayor o igualmente denso, lo cual tendrá una influencia directa sobre la densidad y la resistencia a la compresión del mismo. En el caso de las conchas podría tratarse de un agregado liviano y producir un concreto con menor densidad, por lo que es necesario evaluar este parámetro.

1.7. Naturaleza calcárea de la concha triturada y su efecto en el comportamiento del concreto

Si bien la concha triturada no corresponde exactamente con la roca calcárea, se podría relacionar con ella por la naturaleza calcárea de ambas.

La piedra caliza es la más abundante de las rocas de carbonato; va del rango de la roca caliza pura, que consiste en el mineral calcita (carbonato cálcico), a la dolomita pura, que consiste en el mineral dolomita (carbonato cálcico magnésico). Generalmente todas contienen además, en diferentes proporciones y cantidades, impurezas no carbonatadas, como son la arcilla y la arena. En el caso de la concha triturada, está exenta de estos dos últimos componentes.

En el caso de la piedra caliza, ésta reacciona con la pasta de cemento hasta producir una gran cantidad de poros en la matriz de concreto, lo que resulta en una reducción en la fuerza de adherencia a edades tempranas; sin embargo, a mayores edades, estos poros se llenan con productos de reacción posteriores, incrementando la fuerza de adherencia.

A pesar de esta ventaja en la adherencia, la baja resistencia mecánica de los agregados de roca caliza provoca una práctica de sobredosificación en cemento con miras a alcanzar concretos que cumplan con los esfuerzos de diseño. Puesto que los agregados de piedra caliza proporcionan buena adherencia con la pasta de cemento, las resistencias obtenidas pueden aumentarse usando en la producción de los concretos piedra caliza más densa, con bajos coeficientes de desgaste (prueba de los ángeles), que agregaría el efecto de usar un agregado resistente a su buena adherencia con la pasta. Este podría ser el caso de las conchas, por lo que se evaluará su densidad y su resistencia al desgaste.

1.8. Residuos de concha de abanico como agregado

1.8.1. Investigaciones previas del uso de material crustáceo como agregado para concreto

El uso de productos crustáceos como reemplazo de agregados en concreto ya ha sido explorado por otros investigadores. Yang et al (2009) reemplazó parte del agregado fino por ostras trituradas. Se utilizó agregado grueso con tamaño máximo 25mm y agregado fino con módulo de finura 2.98. Además de evaluar la resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad, la retracción por secado y el creep, realizó pruebas de congelamiento y descongelamiento, ataque químico y permeabilidad.

Yang et al (2009) concluyó que se logra producir concreto con características mecánicas y durabilidad adecuadas, aunque este reemplazo tiene un límite. Más allá de un 20% de sustitución, la presencia de concha triturada genera una disminución de la resistencia a la compresión a largo plazo y disminuye el módulo de elasticidad, aunque no se encontró una influencia negativa sobre el congelamiento y descongelamiento. En cuanto a la retracción por secado Yang et al (2009) encontró una contracción del 7% para un 10% de reemplazo, y del 28% para el 20%, siendo la contracción del concreto patrón de 0%. El análisis del creep no dio resultados concluyentes. Finalmente, determinó que el reemplazo del agregado por la concha parece no tener influencia en los fenómenos de carbonatación ni en el ataque químico, pero no precisa más datos.

Robillard (2012) estudió el concreto en estado fresco y endurecido, así como a nivel micro-estructural con tres tipos de conchas diferentes: ostras, escallop y slipper. Cada una de ellas fue lavada, limpiada, triturada y tamizada para obtener las fracciones de evaluación: 0/0.063mm, 0.063/2mm, 4.2mm, 4/6.3mm, 6.3/10mm, 10/14mm. **Lo más valioso de este trabajo es que realiza un análisis micro-estructural para verificar que no se forma ningún material adicional con el reemplazo del material crustáceo, confirmando que éste cumple únicamente un papel de material de relleno.** De este modo, se confirma que las conchas pueden ser usadas como material de reemplazo, adición y/o agregado en el concreto. Otros resultados importantes sobre la incorporación de conchas en el concreto fueron su efecto reductor en la trabajabilidad y la resistencia a la compresión del concreto.

Recientemente Nguyen et al (2013) exploró la posibilidad de incluir los restos crustáceos en la fabricación de concreto poroso. En su trabajo reemplazó parte del agregado fino y grueso por subproductos de caracol de *Crepidula* para producir concreto permeable. Si bien evalúa diversos aspectos de la performance del concreto (resistencia a la compresión, a la tracción, agrietamiento, densidad, etc.) su enfoque principal está en la permeabilidad y el efecto del método de compactación en ella (una elevada compactación puede reducir los espacios del concreto permeable, resultando en una baja permeabilidad, pero una inadecuada compactación da como resultado una matriz blanda, menos duradera y con más probabilidades de ser separada).

Nguyen precisa el método de llenado y compactado más adecuado para garantizar un concreto poroso y distintos tamaños de partícula de concha (entre 2mm y 6.3mm) y proporciones de reemplazo basados en los trabajos de Robillard (2012) y Yang et al (2009) (40% y 20% en peso, respectivamente).

En todos los trabajos citados la sustitución de agregado por crustáceos admite un límite de reemplazo, dependiendo del tamaño de trituración y reduce la resistencia a la compresión y la trabajabilidad.

La presente investigación tomará como referencia las anteriores, sin embargo se estudiarán únicamente aquellas propiedades que permitan caracterizar un concreto de uso común en nuestro medio. Si bien es cierto en las investigaciones antes mencionadas no se ha prestado atención a los patrones de falla en los cilindros de concreto en el ensayo de resistencia a la compresión, en esta investigación se tratará de observar alguna relación entre los modos de rotura de las probetas y las características del concreto en estado fresco y endurecido. Además, se incluye una medida de la temperatura del concreto en estado fresco, para explorar si existe un impacto de la presencia de concha en la temperatura de mezcla.

1.8.2. Características de las conchas de abanico como agregado según las Normas Técnicas Peruanas

Las conchas de abanico están conformadas por caparazones de carbonato cálcico. Existe la probabilidad de ser usada como agregado por ser un material no nocivo para el concreto, además por ser inorgánico y con características similares a los agregados convencionalmente usados, las cuales se explicarán a detalle en el siguiente capítulo. A continuación se analizarán según las Normas Técnicas Peruanas, las características comúnmente evaluadas en los agregados del concreto.

- **Forma**

En cuanto a la forma de los caparazones de concha de abanico, consta de partículas laminares e irregulares, pues el espesor de los caparazones varía entre 1.50mm y 3.00mm, como muestra en la Figura 1.2.



Figura 1.2: Caparazón de concha de abanico

La presencia de partículas laminares en el concreto fresco disminuyen la trabajabilidad y la resistencia en el concreto endurecido. Por ello, se espera que la presencia de las partículas de concha de abanico disminuya la trabajabilidad, debido a que éstas podrían ubicarse paralelas en un mismo plano, dificultando que la pasta de cemento se acomode entre ellas, para cubrir cada partícula.

- **Textura**

La textura que presenta cada caparazón es de dos tipos, tiene un lado bastante rugoso y un lado totalmente liso, como se muestra en la figura 1.3.



Figura 1.3: Caparazón de concha de abanico

Como se puede apreciar en el lado derecho de la figura 1.3, las rugosidades son bien marcadas, conformadas por pliegues dispuestos en forma radial. A pesar de las rugosidades presentadas, la superficie de contacto sigue siendo lisa, como se aprecia en el lado izquierdo de la figura 1.3 por lo que es de esperar que las fallas inicien por adherencia con la matriz en esta superficie de las partículas.

- **Humedad y capacidad de absorción**

La humedad y la capacidad de absorción son dos parámetros que influirán en la trabajabilidad del concreto fresco. En caso la concha triturada absorba mayor cantidad de agua en comparación con los agregados convencionales, la trabajabilidad disminuirá, a lo que se suma la forma de las partículas, por lo que será necesario evaluarlos con ensayos de slump en el laboratorio.

- **Resistencia a la abrasión**

Una referencia sobre la resistencia al desgaste que presentan los caparazones de conchas de abanico sería interesante, dependiendo de su uso. A priori se puede ver que es un material menos resistente que los agregados convencionales, pero se tendría que realizar este ensayo y analizar los resultados. Si bien es cierto la abrasión no es un factor muy importante en edificaciones, lo es para pavimentos de concreto, canales, entre otros.

- **Resistencia a los sulfatos**

Para tener una mejor idea del comportamiento del concreto, sería adecuado analizar la resistencia de los agregados a la desintegración por medio de soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio, según lo especificado en la NTP 400.016. El ensayo suministra información útil para juzgar la alterabilidad de los agregados sometidos a la acción de la intemperie, particularmente cuando no se dispone de información adecuada del comportamiento del material expuesto a condiciones atmosféricas reales.

La NTP 400.016 especifica el uso de aberturas normalizados según NTP 350.001, en el caso del agregado grueso se usarán los especificados en la tabla 1.3.

Tabla 1.3: Tamices normalizados para ensayo de inalterabilidad.

ABERTURA SERIE GRUESA
TAMIZ NORMALIZADO
2 1/2" a 1 1/2"
1 1/2" a 3/4"
3/4" a 3/8"
3/8" a #4

Fuente NTP 400.016

Las conchas de abanico serán trituradas buscando obtener tamaños de partícula retenidos en los tamices de 1" y 3/4", por lo que no se evaluará su granulometría con los tamaños especificados en la norma para agregados convencionales.

Capítulo 2

Caracterización de materiales

2.1 Cemento Portland Tipo MS

El cemento usado es “Cemento Pacasmayo Tipo MS”, el cual combina 60% de clinker, 5% de yeso y 30% de escoria, según las especificaciones del proveedor (Cementos Pacasmayo). Esta escoria es un material no metálico consistente en silicatos y alúmino-silicatos de calcio con impurezas de hierro, subproducto del proceso de fusión del mineral de hierro de altos hornos de SIDERPERÚ. Su composición química se indica en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Composición química del Cemento Portland Tipo MS.

Material	Simbología	Cantidad
Óxido de magnesio	MgO	10%
Óxido de aluminio	Al ₂ O ₃	11%
Dióxido de silicio	SiO ₂	37%
Óxido de calcio	CaO	36%
Otros		6%

Fuente: Cemento y sus aplicaciones, Cementos Pacasmayo SAA. (2012).

El nombre comercial de este cemento es: “Antisalitre con Fortimax 3”, el cual es un cemento de resistencia moderada a los sulfatos (componente MS), con moderado calor de hidratación (componente MH) y resistente a los agregados álcali-reactivos (componente R).

Se recomienda para fabricar concreto con exposición moderada a los sulfatos, como estructuras en contacto con ambientes y suelos húmedos-salinosos o en ambiente marino, clima cálido o concreto masivo, con agregados reactivos, pavimentos y losas.

2.2 Agregado grueso

Se utilizó agregado grueso de la cantera de Sojo, ubicada a 15 Km de Sullana, y 55 Km de Piura, en la carretera Sullana – Paíta, tiene una capacidad estimada de 35,000 m³. Esta cantera pertenece a la Municipalidad Distrital de Miguel Checa, la ruta se muestra en la figura 2.1.



Figura 2.1: Ubicación de cantera Sojo para agregado grueso.
Fuente: Google Earth.

El acceso a la cantera se ubica a una distancia de 2 Km del eje de la vía, encontrándose en buen estado de transitabilidad. Esta cantera está conformada depósitos de origen aluvial. Este material pertenece al periodo Cuaternario en el Pleistoceno. Litológicamente están constituidos por material conglomerado inconsolidado, con cantos rodados de cuarcitas, volcánicos y rocas intrusivas, provenientes de la Cordillera de Los Andes.

El agregado usado corresponde a un canto rodado, sin arcillas ni materia orgánica como se muestra en la figura 2.2 y cuya curva granulométrica se presenta en la figura 2.3.



Figura 2.2: Agregado grueso de cantera Sojo.

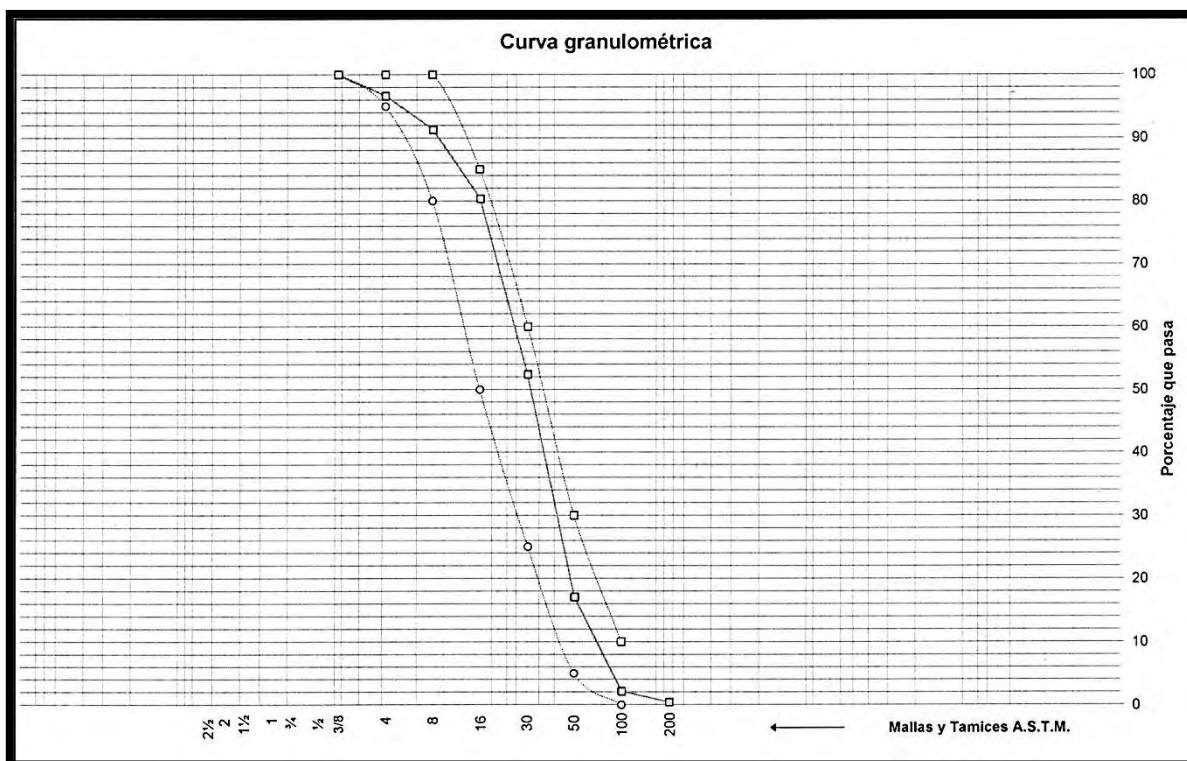


Figura 2.3. Curva granulométrica del agregado grueso, procedente de la cantera Sojo (Fuente: Informe del LEMC de la Universidad de Piura).

Los parámetros físicos básicos de este agregado se presentan en la tabla 2.2. Los certificados de los ensayos emitidos por el laboratorio de la UDEP se ubican en los anexos.

Tabla 2.2 Caracterización del agregado grueso.

PROPIEDAD	ABREV.	VALOR
Tamaño máximo nominal	TMN	1"
Peso unitario varillado Stock	PU _{varillado}	1.67 gr/cm ³
Peso unitario suelto Stock	PU _{suelto}	1.53 gr/cm ³
Peso unitario varillado (OD: Seco al horno)	PU _{varillado OD}	1.66 gr/cm ³
Humedad total	HT	0.57%
Gravedad específica (SSS: Saturado superficie seca)	GS _{SSS}	2.68
Capacidad de absorción	CA	1.50%
Índice de espesor		17%
Inalterabilidad (Porcentaje de pérdida)		3%
Porcentaje de abrasión		18,4%

Fuente: Ensayos LEMC UDEP 2014 (Ver anexos A y D)

2.3 Agregado fino

Se utilizó arena gruesa de la cantera de Chulucanas, ubicada a 1 Km de la ciudad de Chulucanas y 61 Km de la ciudad de Piura. Su ubicación de detalla en la figura 2.4.

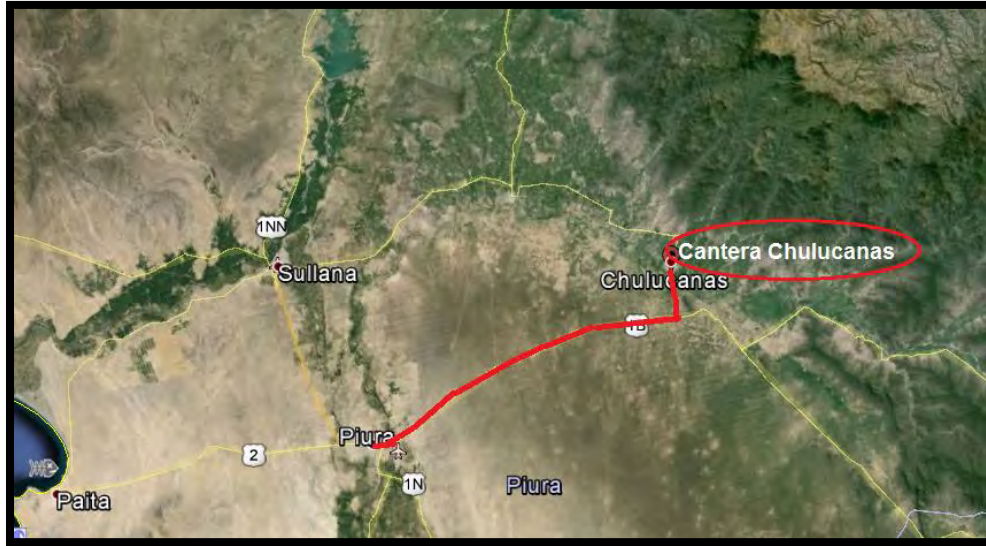


Figura 2.4: Ubicación de cantera Chulucanas, para el agregado fino.
Fuente: Google Earth.

Su origen de formación corresponde al periodo Paleozoico en el afloramiento Río Seco (Pi-rs), el cual se encuentra bien expuesto en el caserío Río Seco (Carretera Morropón-Huancabamba). Desde allí, los afloramientos se extienden a los valles del curso superior del río Piura y a sus tributarios, cubriendo gran parte de las áreas de Morropón, Chulucanas y Olmos.

Esta arena es de origen aluvial. Litológicamente, las rocas de origen consisten en bancos de 3 a 4 metros de cuarcitas, gris oscuras a negras, bastante recrystalizadas, con abundantes segregaciones de cuarzo lechoso relleno de fracturas. Intercalados con los paquetes de cuarcitas se hallan lustrosas gris-blancuecinas a blanco-amarillentas, así como pizarras filitas lustrosas.

El agregado fino usado se muestra en la figura 2.5 y su curva granulométrica en la figura 2.6, el certificado emitido se encuentra en el Anexo B.



Figura 2.5: Agregado fino de cantera Chulucanas.

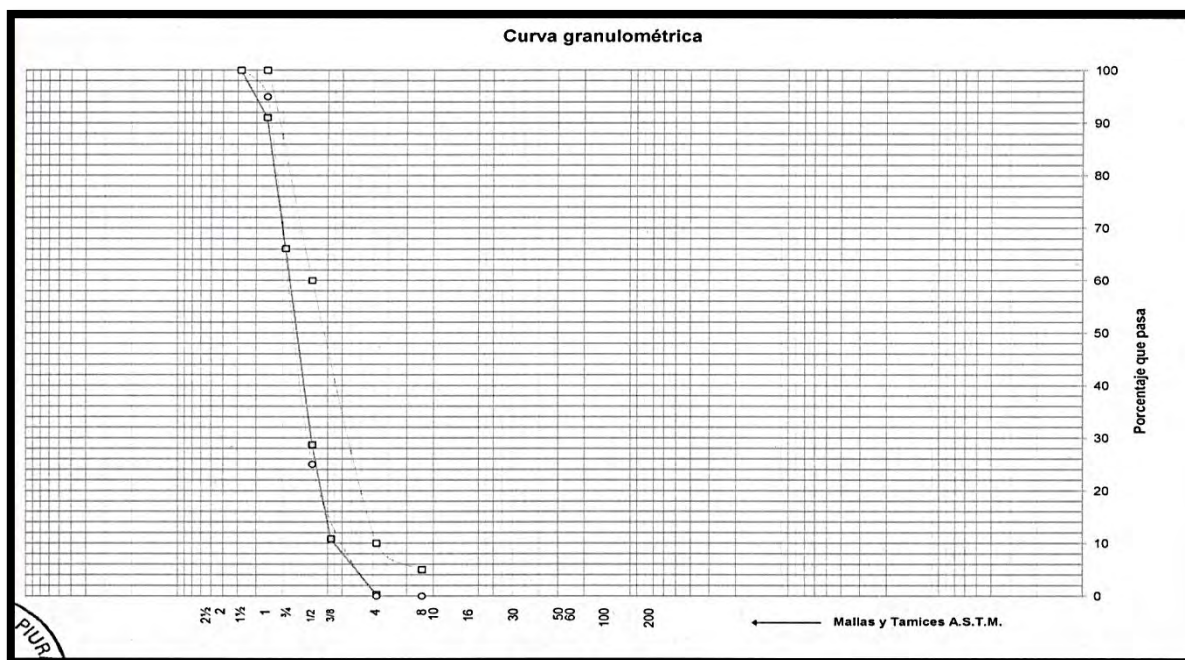


Figura 2.6. Curva granulométrica del agregado fino, procedente de la cantera Chulucanas (Fuente: Informe del LEMC de la Universidad de Piura).

Los parámetros físicos de la arena gruesa se muestran en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Caracterización del agregado fino de la cantera de Chulucanas.

PROPIEDAD	ABREV.	VALOR
Módulo de fineza	MF	2.6
Peso unitario varillado Stock	PU _{varillado}	1.64 gr/cm ³
Peso unitario suelto Stock	PU _{suelto}	1.53 gr/cm ³
Peso unitario varillado (OD: Seco al horno)	PU _{varillado OD}	1.63 gr/cm ³
Peso específico	P _{esp}	2.58 gr/cm ³
Humedad total	HT	0.48%
Gravedad específica (SSS: Saturado superficie seca)	GS _{SSS}	2.58%
Capacidad de absorción	CA	1.47%
Inalterabilidad (Porcentaje de pérdida)		3%

Fuente: Ensayos LEMC UDEP 2014 (Ver Anexos B y D)

2.4 Residuos de concha de abanico

La concha de abanico es un molusco filtrador de dos caparazones, conformado por carbonato cálcico, conocida científicamente como *Argopecten Purpuratus*, perteneciente a la familia *Pectinidae*, la misma que engloba un gran número de especies conocidas internacionalmente como ‘Vieiras’.

Los residuos de las conchas fueron obtenidos directamente de la fábrica “Productos de Norte”, ubicada en la zona industrial de Sechura (Figura 2.8). Estos residuos son productos de deshecho y tienen adheridas algunos residuos de la materia orgánica de las valvas. Esto obliga a pasar estos residuos por un proceso de lavado y limpieza para retirar el residuo

orgánico que pueda alterar su incorporación en la mezcla de concreto. En la figura 2.7 se aprecia las conchas con presencia de materia orgánica en proceso de desintegración, tal como se halló en la fábrica.



Figura 2.7: Conchas de abanico con restos de materia orgánica.

2.4.1. Botadero de Sechura

En Sechura existen dos botaderos, el primero se encuentra a 2 Km aproximadamente de la ciudad y está actualmente sin uso, dado que ha superado la cantidad de desechos esperada por año. Actualmente se usa un segundo botadero ubicado a 3.5 Km de la ciudad en la misma dirección, camino a la playa Chulliyachi. En la figura 2.8 se muestra el plano de ubicación de los botaderos y la fábrica “Productos del Norte”.



Figura 2.8: Ubicación de los botaderos 1 y 2, Fábrica “Productos del Norte” y playa Chulliyachi.

En la figura 2.9. se muestra el primer botadero, el cual tiene un área aproximada de 35000m^2 , actualmente sin uso, se puede apreciar el material intemperizado. No existe un dato exacto del tiempo que lleva depositado este material, sin embargo se aprecia que en el material más antiguo la materia orgánica prácticamente ha desaparecido en su totalidad debido a los procesos biológicos de descomposición.

Este material estuvo sometido por largo tiempo a procesos de calentamiento y enfriamiento constante, con grandes diferencias de temperatura entre el día y la noche como es propio en la costa de Piura, por lo que presenta mayor fragilidad en comparación con el material obtenido directamente de la fábrica.

Debido a que en el material crustáceo que fue obtenido de la fábrica no estuvo sometido al intemperismo por tiempo prolongado, ni a procesos de desintegración biológica de la materia orgánica, puesto que se siguió un proceso de lavado manual para retirar la parte orgánica y el secado se realizó al aire libre durante 7 días para su posterior triturado.



Figura 2.9: Botadero #01 de conchas de abanico de Sechura.

En la imagen 2.10 se muestra el segundo botadero, el cual tiene una extensión de 90000m^2 , actualmente en uso. En la zona existe un olor nauseabundo, abundantes moscas por el material orgánico en descomposición y presencia de material plástico. Este material se encuentra en condiciones similares a las del material obtenido directamente en la fábrica,

tal es así que existen personas inescrupulosas que recogen la parte orgánica de las conchas que no es retirada por completo en las fábricas para venderlas luego al mercado.



Figura 2.10: Botadero #02 de conchas de abanico de Sechura.

Las conchas recogidas tienen una forma casi redonda, con valvas desiguales, siendo una más convexa que la otra. Asimismo, presenta costillas radiales en número variable de 23 a 26 por valva. Cada valva posee prolongaciones, llamadas orejas desiguales, siendo una de mayor tamaño que la otra. La coloración externa varía del rosado a púrpura oscuro, pasando por el color anaranjado. En las figuras 2.11 y 2.12 se presentan las valvas, comparando los tamaños más grandes con los más pequeños.

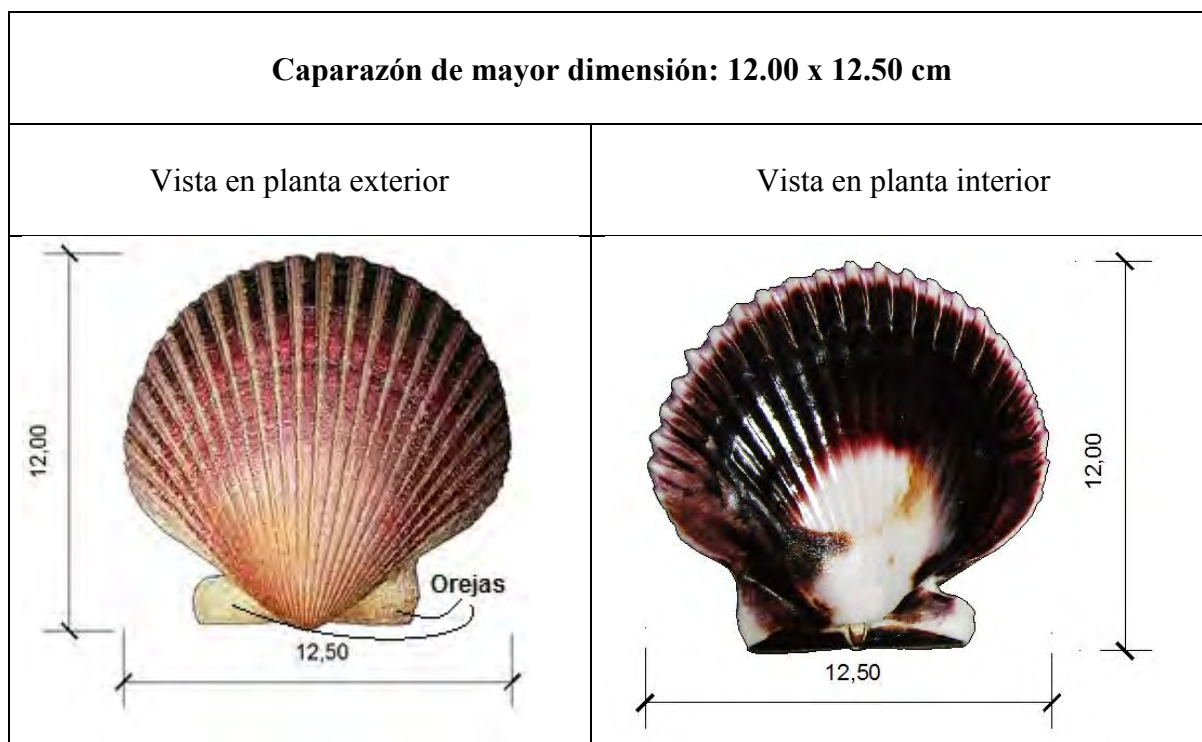


Figura 2.11 Características físicas de la concha de abanico de mayor dimensión.

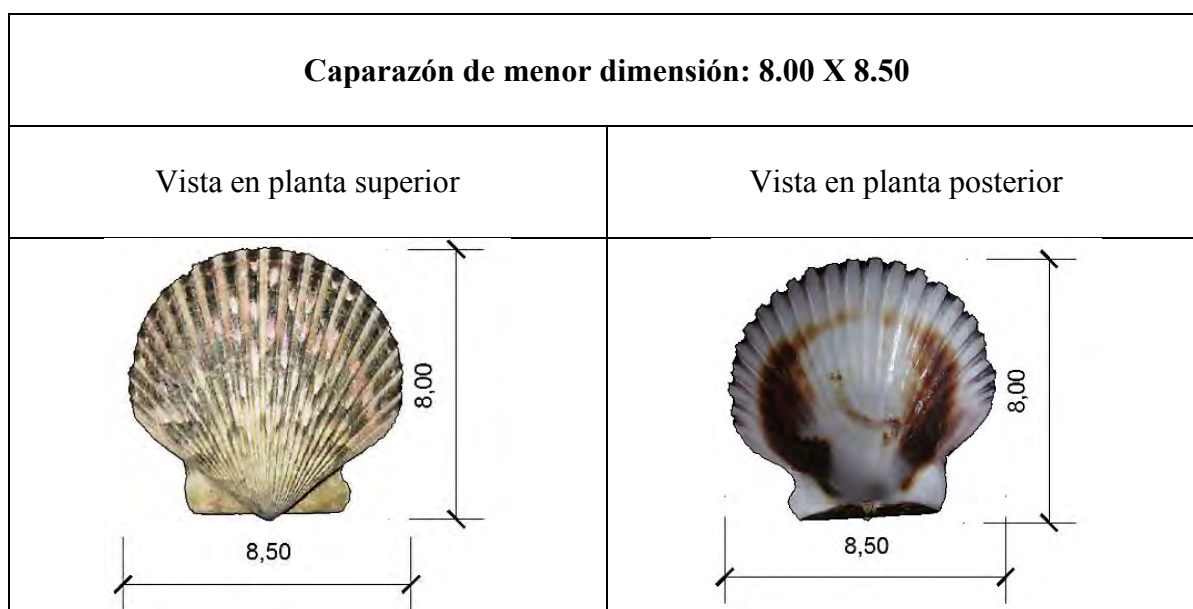


Figura 2.12 Características físicas de la concha de abanico de menor dimensión.

Las conchas de abanico se sometieron a un procedimiento de lavado y secado para eliminar la parte orgánica. Posteriormente fueron trituradas de manera manual puesto que las chancadoras convencionales no dieron buenos resultados. La forma achatada de la concha hace que se deslice en la chancadora, pasando por las aberturas fácilmente sin ningún efecto de trituración. Esto exige el diseño de una trituradora o la implementación de un procedimiento especial para su procesamiento industrial.

Luego de tamizadas, se obtuvieron los tamaños de partículas, de 1" y 3/4", según se muestra en la figura 2.13.



Figura 2.13 Tamaños de partícula de las conchas de abanico.

Las conchas de abanico presentan un peso específico en condición saturada superficie seca de 2.51 gr/cm^3 y una capacidad de absorción de 1.5%.

2.4.2. Análisis de las partículas obtenidas a partir de las conchas de abanico.

Después de triturar las conchas, se realizó la separación de partículas por tamaño, a través de los tamices de 1 1/2", 1", 3/4" y el fondo.

El método de triturado del material crustáceo fue manual (Ver Figura 2.14) por ello se podría decir que se aplicó el esfuerzo de rotura controlado, pues se buscó que la mayor parte de los tamaños obtenidos fueran entre 1" y 3/4". De este modo se obtuvo un porcentaje de partículas de 1" del 25%, de 3/4", 57% y las que quedan por debajo de 3/4", por el orden del 18%.



Figura 2.14. Proceso de triturado y tamizado

Como se explicó en el apartado 1.5.2, los agregados se pueden calificar por su forma, en base a su grado de redondez y esfericidad, obteniéndose una medida relativa de carácter comparativo y descriptivo. La manera como esta característica puede influir en el concreto fresco es variable, logrando producir, por ejemplo, a mayor grado de redondeamiento, menor relación de vacíos; pero, por otra parte, un menor valor de este parámetro reduce la adherencia agregado-pasta y la resistencia a la compresión.

Dado que son partículas de tipo laminar y además alargadas, estas piezas pueden provocar disminución en la trabajabilidad ya que muy fácilmente pueden orientarse de manera preferencial en un solo plano, de manera que el agua y el espacio poroso pueden acumularse debajo de ellas. Por ello, se espera que disminuya la trabajabilidad del concreto en estado fresco, a medida que se incremente el porcentaje de reemplazo, tal como ha sido observado por otros investigadores como Robillard C. (2012) al usar subproductos de conchas y ostras marinas.

Nguyen et al (2013) reemplazó parte del agregado fino y grueso por subproductos de conchas de *Crepidula* hasta un 40% en peso para fabricar concreto poroso, evaluando diferentes métodos de compactación. La evaluación del producto final en estado fresco y endurecido le permitió concluir que con el reemplazo de agregados por subproductos de caracoles marinos es posible producir un concreto poroso con características mecánicas aceptables. Aunque **más allá del 40% de reemplazo influye negativamente** en la resistencia a la compresión y **la trabajabilidad**, debido a que la forma chata requiere más pasta de cemento y agua adicional. En el caso del concreto poroso, la presencia de los subproductos de caracol disminuye la permeabilidad.

Debido a que en las investigaciones antes mencionadas se utilizaron otras especies de conchas marinas y en nuestra región no hay referencias a algún estudio de éste tipo se optó por utilizar los tamaños de concha triturada que requieran un **mínimo de esfuerzo de trituración**, por ello se optó por los tamaños máximos nominales más usados en la producción de concretos locales. Finalmente, se reemplazarán las partículas retenidas en los tamices de 1" y 3/4". Esto no limita la posibilidad de explorar el comportamiento del concreto usando otros tamaños de trituración.

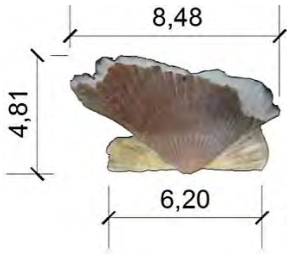
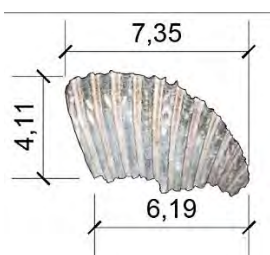
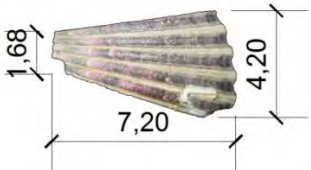
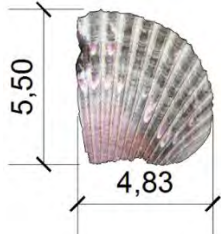
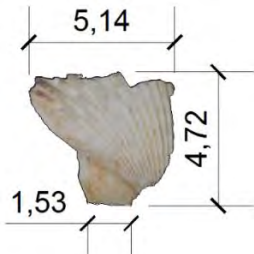
2.4.2.1. Partículas retenidas en el tamiz de 1"

Este tamaño de partícula tiene un peso unitario suelto de 0.50 gr/cm^3 . No se calculó el peso unitario varillado según la Norma Técnica Peruana 400.017, debido a que los golpes hechos con la barra de acero podrían cambiar el tamaño de las partículas y generaría error en el peso unitario. Por tal motivo se calculó un "peso compactado", acomodando manualmente las partículas para que se compacten de la mejor manera. Finalmente, el peso unitario "compactado" obtenido con este procedimiento fue de 0.59 gr/cm^3 .

Estas partículas presentan forma irregular, laminar, angular y alargada, con un lado rugoso y el otro bastante liso. El espesor de las partículas varía entre 1.50 mm y 3.00 mm por lo que siempre se tratará de partículas chatas, esta característica es vital debido a la importancia que tiene en la trabajabilidad, según las investigaciones citadas en 2.4.2.

La irregularidad de las partículas motivó a evaluar una relación entre sus dimensiones mayor y menor (Tabla 2.4), porque estas propiedades tendrán consecuencias en la adherencia, según lo explicado en el apartado 1.3.3.

Tabla 2.4: Tamaños de partículas representativas de las conchas trituradas retenidas en el tamiz de 1".

Medidas	Largo representativo (cm)	Ancho representativo (cm)	Relación (Largo/Ancho)
	8.48	4.81	1.76
	7.35	4.11	1.78
	7.20	4.20	1.71
	5.50	4.83	1.14
	5.14	4.74	1.08

La distribución aproximada de las partículas con las distintas relaciones se muestra en la figura 2.14. Se obtuvo que el 30% presenta una relación largo/ancho entre 1.00 - 1.10, el 50% presenta entre 1.10 - 1.50 y el 35% restante presenta 1.50 - 2.50.

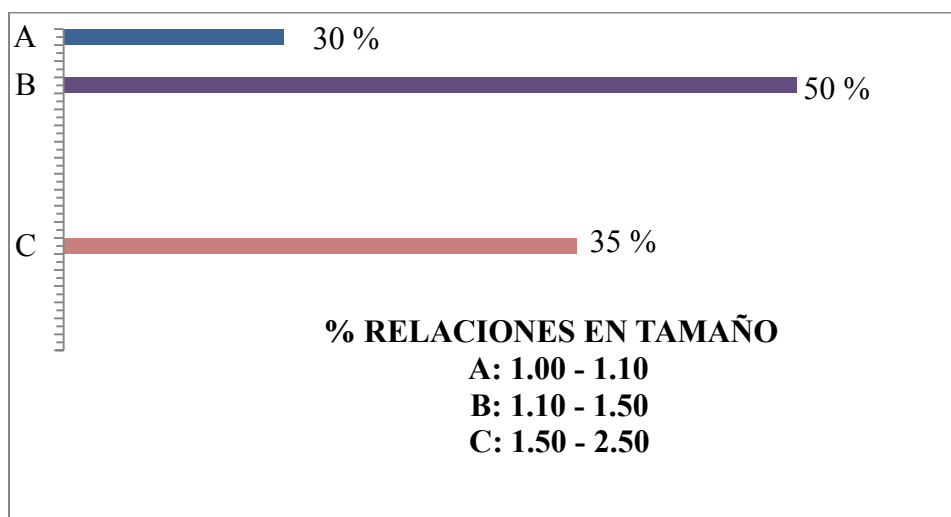


Figura 2.15: Relaciones en tamaño de las partículas de 1”.

Se puede apreciar que en su mayoría se trata de partículas alargadas, pues solo un 30% califican como chatas no alargadas. En la Figura 2.15 se aprecia la distribución de tamaños de una muestra representativa de partículas de 1”. Las proporciones de las conchas trituradas entre su longitud mayor y menor van desde 1 a 2.50.

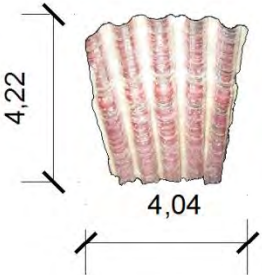
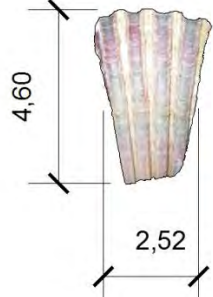
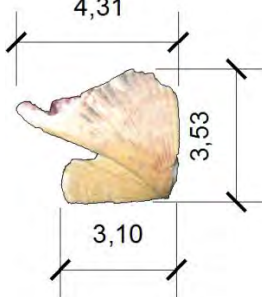
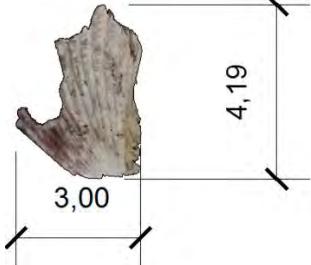
2.4.2.2. Partículas retenidas en el tamiz de 3/4”

Este tamaño de partícula tiene un peso unitario suelto de 0.53gr/cm^3 . El peso unitario varillado no se puede realizar en este material según la Norma Técnica Peruana 400.017, por lo explicado anteriormente, finalmente “el peso unitario compactado” fue de 0.68gr/cm^3 .

Estas partículas presentan forma irregular, laminar, angular y alargada, con un lado rugoso y el otro bastante liso. Al igual que en las partículas de 1” el espesor de las partículas varía entre 1.50 mm y 3.00 mm por lo que siempre se tratará de partículas chatas, lo cual traerá consecuencias en la trabajabilidad.

La irregularidad de las partículas motivó a evaluar una relación entre sus dimensiones mayor y menor (Tabla 2.5), debido a la importancia que tiene en la adherencia según lo explicado en el apartado 1.3.3.

Tabla 2.5: Tamaños de partículas representativas de las conchas trituradas retenidas en el tamiz de 3/4".

Medidas	Largo representativo (cm)	Ancho representativo (cm)	Relación (Largo/Ancho)
	4.22	4.04	1.04
	4.60	2.52	1.83
	4.31	3.53	1.22
	4.19	3.00	1.39

Por el peso unitario obtenido califica como un agregado del tipo ligero, con partículas de forma irregular, laminar, angular y alargada, con un lado rugoso y otro bastante liso. En cuanto a los factores de relación L_{max}/L_{min} , el 5% presenta entre 1.00 - 1.10, el 35% presenta entre 1.10 - 1.50 y el 65% restante presenta 1.50 – 2.50. Esto se muestra en la figura 2.16.

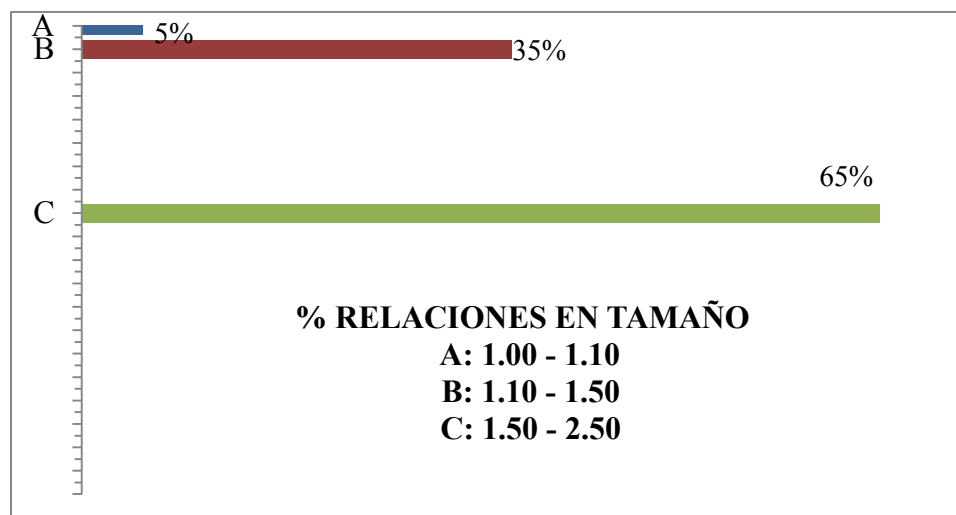


Figura 2.16: Relaciones en tamaño de las partículas de 3/4".

De la figura 2.16 se aprecia que casi en su totalidad se trata de partículas laminares alargadas, pues solo un 5% califican como cuadradas. En la siguiente figura se aprecia la distribución de tamaños de una muestra representativa de partículas de 3/4".

2.5. Propiedades de la concha de abanico triturada como agregado para el concreto

Según las propiedades analizadas anteriormente existe la posibilidad de usarlo como agregado para el concreto. En los acápites 2.4.2.1 y 2.4.2.2 se caracterizó su peso unitario, forma y textura. En la Tabla 2.6 se muestra un resumen de las propiedades para las partículas de conchas de abanico de 1" y 3/4".

Tabla 2.6 Caracterización de la concha triturada.

PROPIEDAD	ABREVIATURA	Concha triturada	
		1"	3/4"
Peso unitario varillado Stock	PU _{varillado} (gr/cm ³)	0.59	0.68
Peso unitario suelto Stock	PU _{suelto} (gr/cm ³)	0.50	0.53
Peso unitario varillado (OD: Seco al horno)	PU _{varillado OD} (gr/cm ³)	0.588	0.678
Humedad total	HT	0.32%	0.32%
Gravedad específica (SSS: Saturado superficie seca)	GS _{SSS}	2.51	2.51
Capacidad de absorción	CA	1.50%	1.50%

Fuente: Ensayos LEMC UDEP 2014.

El certificado del ensayo de peso específico y la absorción del material crustáceo se muestra en el Anexo C.

2.6. Comportamiento esperado en el concreto

Dado que las conchas tienen un espesor de los caparazones varía entre 1.50 mm y 3.00 mm, la forma de las partículas de las conchas con tamaños mayores a 3/4" siempre será achatada y por ello, disminuirán la trabajabilidad del concreto.

Cuando las partículas de los agregados son duras y resistentes, la resistencia mecánica del concreto tiende a ser gobernada por la resistencia de la pasta de cemento y/o por la adherencia de esta con los agregados. Por lo contrario si los agregados son débiles, la resistencia intrínseca de estos se convierte en una limitación para la obtención de altas resistencias. Por ello, debido a que las conchas son más frágiles en comparación con el agregado grueso, se presume que la resistencia a la compresión también disminuirá. A esto se añade la posibilidad de que durante los procesos de mezcla y manipulación del concreto se pueda romper aún más las partículas de conchas, modificando la granulometría y alterando la granulometría prevista en los diseños de mezcla.

En el ensayo a compresión, se puede esperar que la falla se presente en el plano liso de las partículas de concha, por una deficiente adherencia con la pasta de cemento. De tal manera que la resistencia a la compresión del concreto producido estaría influida por la capacidad de adherencia entre las partículas de concha y el mortero.

En relación al peso unitario de las partículas de concha de abanico, las de 1" tienen un peso unitario suelto de 500Kg/cm³ y las de 3/4" 530Kg/cm³, por lo que entran en la clasificación de agregados ligeros y con su uso se podrían esperar concretos ligeros, con un peso unitario del concreto mucho menor al convencional. Sin embargo, debido a que solo se va a reemplazar una parte del agregado grueso por partículas de conchas es probable que el peso unitario del concreto producido no cambie significativamente.

Capítulo 3

Programa experimental

3.1 Diseño de mezcla

El plan experimental se basa en establecer un diseño de mezcla patrón, que corresponda con un diseño de mezcla convencional. Éste constituye el punto de referencia para evaluar el comportamiento del concreto al variar las diferentes proporciones de agregado grueso reemplazado por conchas de abanico trituradas.

El método que se usó para el diseño de mezcla es el recomendado por el comité ACI 211.1, teniendo en cuenta las consideraciones de la norma E060. El proceso tiene tres etapas:

- Primero se establecen algunos parámetros como: propiedades de los agregados, tamaño máximo del agregado, slump, relación agua/cemento (w/c).
- Luego se realiza el cálculo de la mezcla en peso.
- Finalmente se realizan los ajustes necesarios para lograr las características deseadas en la mezcla.

Sabiendo que el uso de concha de abanico en el concreto disminuirá la resistencia a la compresión en el concreto endurecido, así como la trabajabilidad y densidad en el fresco, se optó por utilizar una resistencia especificada de mayor uso en la región en estructuras con requisitos estructurales no tan exigentes. La resistencia especificada se definió como $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ y la requerida f'_{cr} , según lo especificado en el método, fue de 295 kg/cm^2 (Tabla 3.1). Por lo tanto el diseño se realizará con un $f'_{cr} = 295 \text{ Kg/cm}^2$.

Tabla 3.1 Resistencia a la compresión promedio requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra.

Resistencia especificada a la compresión, [MPa]	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$
$21 < f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8.5$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1.1 f'_c + 5.0$

Fuente: Comité ACI 211.1.

3.2 Parámetros de diseño

Antes de empezar el diseño es necesario tener en cuenta información sobre los materiales y la obra a realizar. Las propiedades de los materiales deberán incluir:

- Análisis granulométrico.
- Peso unitario varillado del agregado grueso (OD).
- Gravedad específica (GSB_{SSS}) de ambos agregados.
- Contenido de humedad y capacidad de absorción de ambos agregados.

Estas propiedades se muestran en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Propiedades de los agregados.

	Ag. Grueso	Ag. Fino
Cantera	Cantera Sojo	Cantera Chulucanas
Tamaño Máximo	1"	-
Módulo de Fineza	-	2.6
PU suelto stock (kg/m ³)	1525	1531
PU varillado stock (kg/m ³)	1667	1638
PU varillado OD (kg/m ³)	1658	1630
Gravedad específica (SSS)	2.68	2.58
Capacidad de Absorción	1.50%	1.47%
Humedad Total	0.57%	0.48%

3.3 Selección del slump

Teniendo en cuenta que la forma chata de las partículas de las conchas disminuiría la trabajabilidad del concreto y su fragilidad, así como su resistencia a la compresión, se seleccionó un diseño de mezcla que considerara una fluidez suficiente para evaluar la disminución en el caso de elevados porcentajes de reemplazo.

El slump es especificado para cada obra tomando en cuenta los métodos que serán utilizados para la manipulación y colocación del concreto. Si no se especifica, se debe escoger algún valor recomendado, siempre que el concreto sea consolidado por vibración. El presente método aclara que se deberá escoger el slump más bajo que permita una adecuada colocación.

El comité ACI propone una tabla para la selección del slump. Sin embargo, para este estudio se ha planteado un slump de 7 pulgadas con el objetivo de tener un mayor rango para cuantificar la disminución para cada muestra, pues se está planteando un alto porcentaje de reemplazo lo que con llevará a una elevada disminución del slump.

3.4 Diseño patrón

El diseño final es el que se muestra a continuación, en cantidades en peso, con una relación agua/cemento de 0.52, para un slump de 6 – 7 pulg.

Tabla 3.3 Diseño de mezcla en peso (Stock)

MATERIAL	UND.	CANTIDAD
Agua	Kg.	228
Cemento	Kg.	408
Ag. Grueso	Kg.	1150
Ag. Fino	Kg.	538
Aire	%	1.5%
PU	Kg/m ³	2323

Con el diseño de mezcla establecido, se procedió a calcular las cantidades de reemplazo, en peso, para cada proporción. Para poder producir la suficiente cantidad de material por tanda se utilizó una mezcladora de 2 pie³. Primero se produjo la mezcla patrón (MP) y se verificó el slump y densidad en estado fresco. Posteriormente se confeccionaron 3 pares de probetas para el ensayo de compresión a 7, 14 y 28 días de edad; el mismo procedimiento se siguió para las muestras con las diferentes proporciones de reemplazo. Toda la producción se hizo el mismo día para garantizar la misma calidad y edad de todas las muestras.

3.5 Disposición de materiales para el reemplazo

El reemplazo de agregados se llevó a cabo para las partículas retenidas en los tamices 1" y 3/4". El reemplazo consiste en sacar un porcentaje en peso del material retenido en cada tamiz y reemplazar la misma cantidad por conchas de abanico trituradas retenidas en el mismo tamiz.

Para ello se tamizó el agregado grueso y se separaron los tamaños retenidos en los tamices 1", 3/4" y lo que pasa el tamiz de 3/4". Del mismo modo se separaron las partículas retenidas en el tamiz de 1" y 3/4" de la concha triturada. En la figura 3.1 se muestra una muestra de cada tamaño de material separado.

Con el diseño de mezcla establecido y conociendo las cantidades de los materiales, se calculó, en peso, la cantidad de cada material a utilizar para cada tamaño de partícula, los cuales se muestran en la tabla 3.4.

Para establecer los porcentajes de reemplazo se tomó como referencia las investigaciones previas, explicadas en el apartado 1.8.1. Según los resultados de Robillard (2012) y Yang et al (2009), pareciera que cuanto mayor es el tamaño de trituración, menor es el límite en el porcentaje de reemplazo para no tener efectos en las propiedades del concreto. Sin embargo, teniendo en cuenta que se utilizaron otras especies de moluscos y en climas diferentes, se optó por explorar un rango mayor de porcentajes de reemplazo a los ya evaluados: un 20%, según Yang et al (2009); un 40% según Robillard (2012; y un 60% como extrapolación. Las cantidades de cada material se muestran en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Cantidades en peso para cada tanda siguiendo con las proporciones dadas por el diseño de mezcla.

ID	Agua	Cemento	Agregado fino	Agregado grueso			Material de reemplazo (Concha de abanico)	
				Retenido en tamiz de 1"	Retenido en tamiz de 3/4"	Pasa 3/4"	Retenida en tamiz de 1"	Retenida en tamiz de 3/4"
MP	10485	18754	24774	4762	13228	34921	-	-
PR20	10485	18754	24774	3810	10582	34921	952	2646
PR40	10485	18754	24774	2857	7937	34921	1905	5291
PR60	10485	18754	24774	1905	5291	34921	2857	7937

MP: Muestra Patrón, PR20: Muestra con 20% de reemplazo, PR40: Muestra con 40% de reemplazo, PR60: Muestra con 60% de reemplazo.

Las cantidades mostradas en la tabla 3.4, mantienen el diseño para un $f'c=210\text{Kg/cm}^2$, una relación agua/cemento de 0.52 y un porcentaje de aire de 1.5%, según lo propuesto por las tablas del ACI.

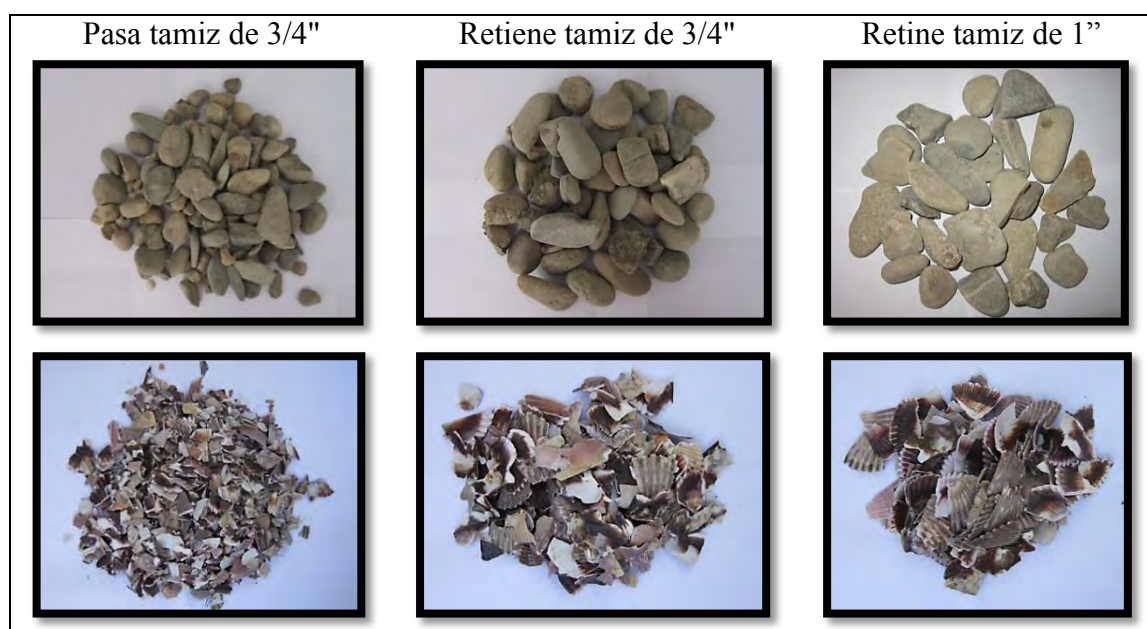


Figura 3.1: Agregado grueso retenido separado en los diferentes tamaños y el material de reemplazo seleccionado de la concha triturada.

En la Figura 3.1 se muestran el agregado grueso y las partículas de concha de abanico trituradas, separados según el material retenido en cada tamiz, para su posterior reemplazo, se puede apreciar la correspondencia entre los tamaños.

3.6. Análisis del concreto

Finalmente para cada proporción de reemplazo se analizarán los aspectos que a continuación se mencionan:

3.6.1. Trabajabilidad (NTP 339.045)

La principal propiedad del concreto en estado fresco es la que se designa como “trabajabilidad” y que de acuerdo con el Comité ACI 116, es “aquella propiedad del mortero o del concreto recién mezclado que determina la facilidad y homogeneidad con que puede ser mezclado, transportado, colocado, compactado y acabado”. Ante la vaguedad de esta definición, y el hecho de que el concepto es muy amplio e involucra aspectos del concreto fresco relacionado con todas las operaciones que se realizan con este, no se ha llegado a establecer un procedimiento único y confiable para medir la trabajabilidad de las mezclas de concreto.

Por ello se analizó el revenimiento o “slump”, que es una característica propia de cada mezcla de concreto, que se evalúa directamente, con relativa facilidad y exactitud, y que permite juzgar su capacidad para comenzar a fluir exclusivamente por fuerzas de gravedad.

3.6.2. Peso unitario y rendimiento (NTP N° 339.046)

Consiste en determinar el volumen del concreto producido, con el fin de verificar la correcta dosificación y rendimiento de los materiales. Es una base para determinar el rendimiento de la mezcla, el contenido de cemento, así como el contenido de aire.

El peso unitario del concreto fresco nos permite formar un juicio inmediato de la calidad de la composición granulométrica y de la compactación del concreto, siendo un importante medio de control del concreto. Esto nos permitirá concluir si el concreto producido con reemplazo de agregado cumple con los requerimientos mínimos de peso unitario del concreto convencional.

3.6.3. Temperatura (NTP 339.184)

La temperatura del concreto depende del aporte calorífico de cada uno de sus componentes, además del calor liberado por la hidratación del cemento, la energía de mezclado y el medio ambiente. En este estudio se analiza la existencia de alguna relación entre el porcentaje de agregado reemplazado por conchas y la temperatura, dada su naturaleza calcárea. Sin embargo, este parámetro será usado de modo referencial, pues no se han evaluado las propiedades térmicas de los agregados ni de la concha triturada.

El procedimiento de análisis será según en especificado en la NTP 339.184.

3.6.4. Resistencia a la compresión (NTP 339.034)

La resistencia mecánica del concreto endurecido ha sido tradicionalmente la propiedad más identificada con su comportamiento como material de construcción. En términos generales, la resistencia mecánica, que potencialmente puede desarrollar el concreto, depende de la resistencia individual de los agregados y de la pasta de cemento endurecida, así como, de la adherencia que se produce en ambos materiales. En la práctica, habría que añadir a estos factores el grado de densificación logrado en la mezcla ya que, como ocurre con otros materiales, la proporción de vacíos en el concreto endurecido tiene un efecto decisivo en su resistencia.

Cuando las partículas de los agregados son duras y resistentes, la resistencia mecánica del concreto tiende a ser gobernada por la resistencia de la pasta de cemento y/o por la adherencia de esta con los agregados. Por lo contrario si los agregados son débiles, la resistencia intrínseca de estos se convierte en una limitación para la obtención de altas resistencias, lo cual no quiere decir que el concreto no pueda ser más resistente que las partículas individuales de los agregados. La adquisición de la resistencia mecánica de la pasta de cemento conforme endurece es una consecuencia inmediata del proceso de hidratación de los granos de cemento.

Considerando el trabajo conjunto de los agregados y la pasta de cemento en el concreto endurecido puede suponerse que, si las resistencias individuales de los agregados y de la pasta no son restrictivas, la resistencia última del concreto debe depender sensiblemente de la adherencia entre ambos componentes. Sin embargo ésta es una situación cambiante con la edad, pues aunque tanto la resistencia de la pasta como la adherencia progresan con la hidratación del cemento, su evolución no necesariamente es igual, y así, hay evidencia de que en el concreto a edad temprana la resistencia por adherencia suele ser menor que la resistencia de la pasta, en tanto que a edades avanzadas tiende a ocurrir lo contrario.

Capítulo 4

Resultados

4.1. Resultados en el concreto fresco

A continuación se muestran los resultados de los ensayos evaluados en el concreto fresco, se muestra slump, peso unitario del concreto, rendimiento y temperatura.

4.1.1. Peso unitario y rendimiento (NTP 339.046)

El peso unitario del concreto convencional debería estar entre 2240Kg/m^3 a 2460Kg/m^3 . El peso unitario teórico de esta investigación es 2312Kg/m^3 , a continuación se muestra la Tabla 4.1 con los valores de peso unitario y rendimiento obtenidos para las diferentes proporciones de reemplazo.

Tabla 4.1 Propiedades de peso unitario y rendimiento para las diferentes dosificaciones de concreto analizadas.

Tanda	Peso total (gr.)	Pu (gr/cm^3)	Volumen Producido (m^3)	Rendimiento Relativo	Factor de Rendimiento Relativo
MP	106923	2.363	0.0452	0.983	1.017
PR20	106923	2.361	0.0453	0.985	1.016
PR40	106923	2.355	0.0454	0.987	1.013
PR60	106923	2.328	0.0459	0.998	1.002

**El volumen teórico fue de 0.046 m^3 .*

En la Figura 4.1 se muestra la variación del peso unitario en relación a los porcentajes de reemplazo de agregado grueso por concha de abanico triturada.

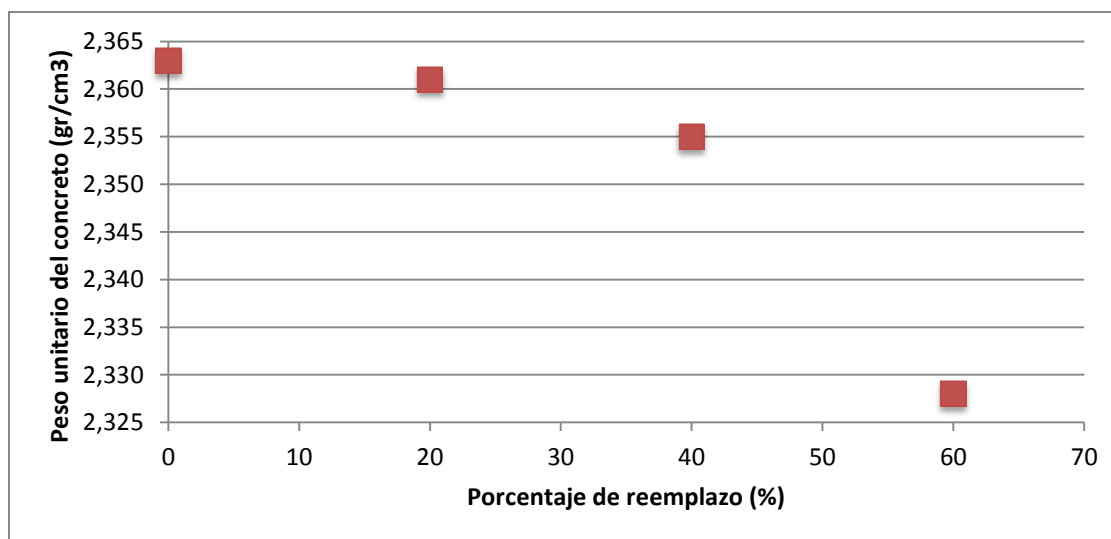


Figura 4.1 Peso unitario para las diferentes proporciones de reemplazo de agregado grueso por concha de abanico triturada.

Se observa que el peso unitario del concreto disminuye a medida que incrementa el porcentaje de reemplazo de agregado grueso por conchas de abanico. Esto es previsible debido al bajo peso unitario de las partículas de 1" (500 Kg/m^3) y las de 3/4" (530 Kg/m^3), ambas menores a 600 kg/m^3 , en comparación con el agregado grueso, cuyas partículas tienen pesos por encima de los 1500 kg/m^3 (las de 1" pesa 1550 Kg/m^3 y las de 3/4", 1560 Kg/m^3). Sin embargo, los pesos no disminuyen significativamente y sigue siendo un concreto convencional, con pesos mayores a 2200 kg/m^3 .

A continuación se muestra la figura 4.2 con el rendimiento del concreto para las diferentes proporciones de reemplazo.

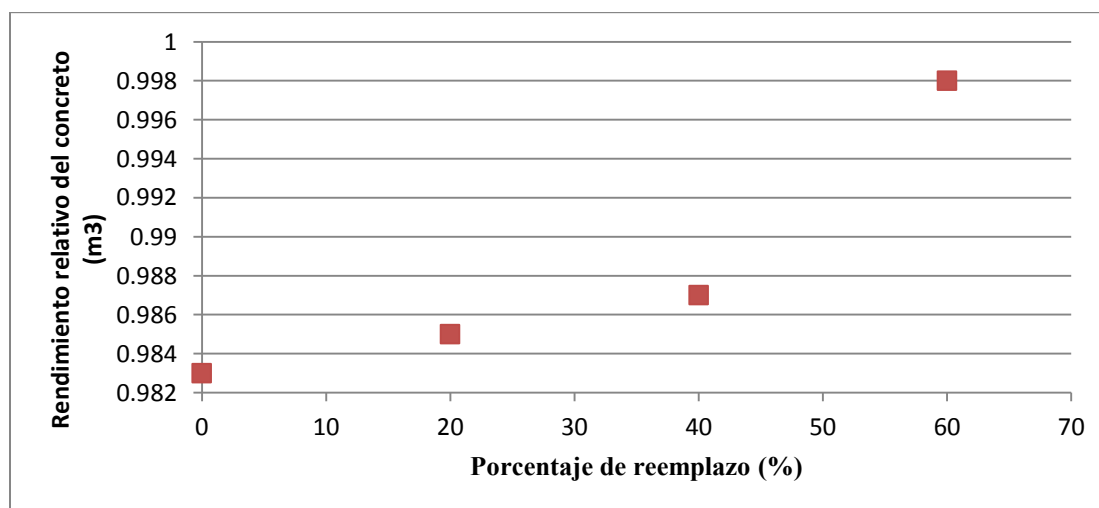


Figura 4.2 Rendimiento del concreto para producir 0.046 m^3 de concreto, para las diferentes proporciones de reemplazo.

Se observa que a medida que se incrementa el porcentaje de reemplazo, el rendimiento aumenta, es decir el volumen de concreto obtenido es mayor. Como el reemplazo de agregado se realizó en peso y dado que el peso unitario de las conchas de abanico trituradas es menor en comparación con el agregado grueso a reemplazar, se necesitará un mayor volumen de mezcla para lograr el mismo peso.

Los ensayos demostraron que para las partículas de 1" de agregado grueso y de concha de abanico, el volumen de estas últimas equivale a 3.1 veces el volumen del primero, en condición suelta. Del mismo modo, para las partículas de 3/4" el volumen de partículas de conchas equivale a 2.94 veces el volumen del agregado grueso del mismo tamaño, en condición suelta. Esto también explica la disminución del peso del concreto para un mismo volumen.

4.1.2. Temperatura (NTP 339.184)

Las características térmicas de los agregados influyen en la temperatura de mezcla. Si bien se descarta que haya reacciones de los residuos crustáceos con los productos del cemento (Robillard C., 2012), eso no condiciona la posibilidad de variaciones en la temperatura de mezcla por efecto de las propiedades de absorción térmica de las conchas. Por ello, se vio conveniente evaluar la temperatura de mezcla.

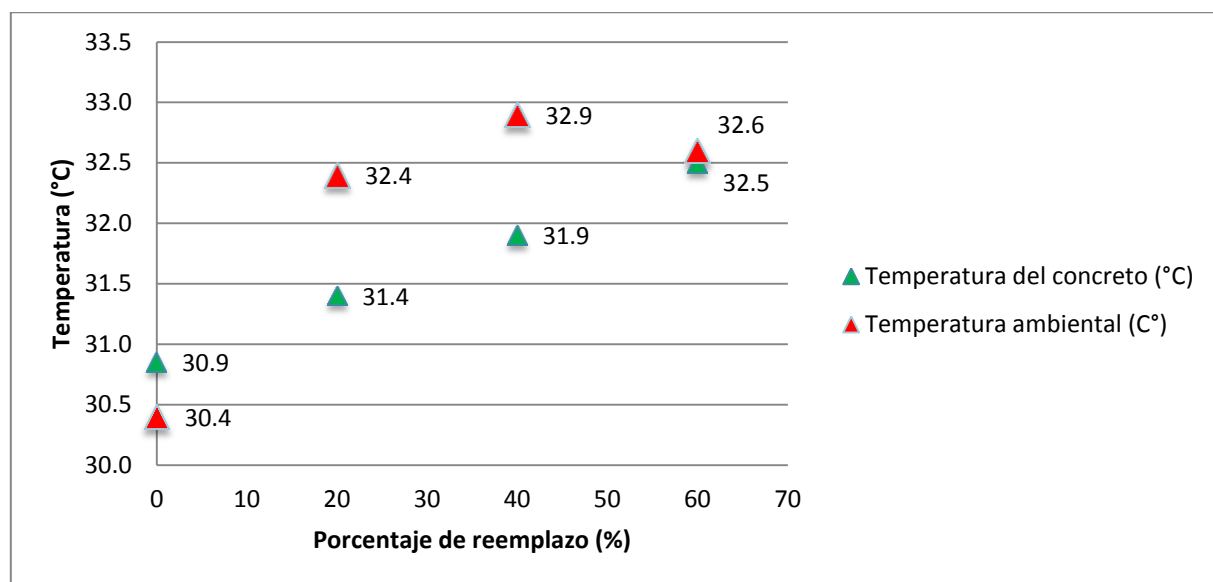


Figura 4.3 Temperatura ambiental (fuente: Radar de la Universidad de Piura) y del concreto fresco para las diferentes proporciones de reemplazo.

En la Figura 4.3 se observa que la temperatura incrementó proporcionalmente al porcentaje de reemplazo. Sin embargo, este incremento de temperatura no se puede atribuir exclusivamente a los productos involucrados en la mezcla, porque también cumple un papel importante la temperatura ambiental al momento de la producción del concreto.

La mayor temperatura registrada en el concreto fresco fue en la muestra PR60 con 1.6 °C por encima de la temperatura de la muestra patrón. En esta muestra en estado fresco se pudo apreciar que había un gran volumen de material crustáceo (Figura 4.4).



Figura 4.4. Concreto fresco de la muestra PR60.

La hidratación del cemento siempre es acompañada por la generación de calor, que resulta en un incremento de la temperatura del concreto. La magnitud de este incremento depende de varios factores como el contenido de cemento en la mezcla, el tipo de cemento, las propiedades térmicas de los agregados, la temperatura de los ingredientes al momento de la preparación y la temperatura ambiental al momento de la producción.

Es probable que al incremento de la temperatura ambiental, se sumen las propiedades térmicas del material crustáceo para producir el incremento de la temperatura de mezcla. La forma achatada de la concha triturada supone una menor masa por unidad de partícula. Por lo tanto, es probable que la capacidad de absorción del calor de las partículas de las conchas difiera de la del agregado pétreo. La figura 4.5 muestra de forma comparativa la forma en que se podría transmitir el calor de la pasta en proceso de hidratación tanto a las partículas de concha de abanico como al material pétreo.



Figura 4.5. Esquema comparativo del modo de transmisión de calor desde la pasta de cemento hacia las partículas de concha de abanico y al material pétreo.

Basados en lo anterior es posible suponer que el calor de hidratación liberado por el cemento puede ser absorbido por el material crustáceo de modo diferente a como lo hace el material pétreo. Por tener menos masa disponible para la absorción, las partículas de concha absorben poco calor, de modo que queda libre una gran energía térmica, de la cual una parte se disipa en el ambiente y otra queda en el interior de la mezcla hasta disiparse lentamente hacia el exterior. En la medida que las partículas de agregado tienen mayor masa, hay más posibilidad de que absorban calor hacia su interior, dejando poca energía térmica libre para disiparse en el ambiente. De este modo, cuanto mayor es la cantidad de partículas de concha, hay una menor capacidad de absorción dentro del concreto y una mayor cantidad de calor libre para ser disipado en el ambiente.

En cualquier caso, los datos de esta investigación son insuficientes para poder ofrecer una explicación concluyente y se requiere mayor investigación al respecto.

4.1.3. Trabajabilidad (NTP 339.045)

La trabajabilidad se evaluó directamente con el slump, ya que permite juzgar la capacidad del concreto para comenzar a fluir exclusivamente por fuerzas de gravedad. En la figura 4.6 se ha graficado la variación del slump obtenido para las diferentes mezclas de concreto evaluadas, en función al porcentaje de reemplazo del agregado grueso por concha triturada.

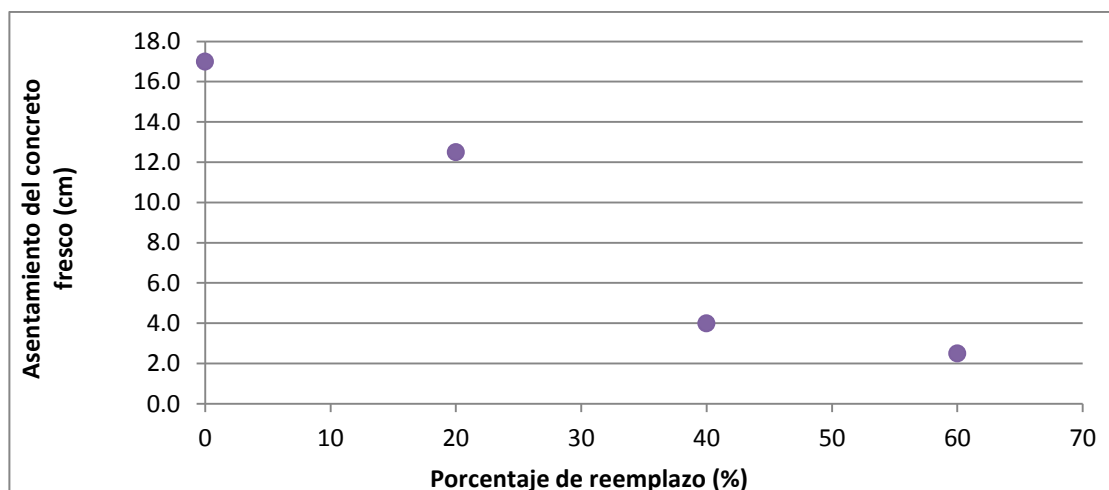


Figura 4.6: Valores de Slump obtenidos para las diferentes proporciones de reemplazo de agregado grueso por concha de abanico.

Se puede observar que a medida que se incrementa el porcentaje de reemplazo de agregado por conchas de abanico, el slump disminuye (Tabla 4.2.).

Tabla 4.2: Ensayo de Cono de Abrams para determinar el asentamiento en los concretos de prueba.

MP	PR20	PR40	PR60
17cm	12.5cm	4cm	2.5cm

El agregado grueso presenta una capacidad de absorción de 1.50% y una humedad muy similares que las conchas de abanico, por lo que las conchas de reemplazo no absorberán mayor cantidad de agua en comparación al agregado grueso.

En términos generales la forma de agregado que mayor problema puede ocasionar para la trabajabilidad es aquella de tipo chata que además está alargada, como la que presenta el agregado de material crustáceo. Estas piezas pueden provocar disminución en la trabajabilidad ya que muy fácilmente pueden orientarse de manera preferencial en un solo plano, de manera que el agua y el espacio poroso pueden acumularse debajo de ellas. Además, su forma alargada ocasionan mayores requerimientos de arena, y eso hace necesario un incremento en el volumen de agua para la mezcla y mayor cantidad de pasta de cemento.

4.2. Resultados en el concreto endurecido

4.2.1 Resistencia del concreto a diferentes edades de curado (NTP 339.034)

Cuando las partículas de los agregados son duras y resistentes, la resistencia mecánica del concreto tiende a ser gobernada por la resistencia de la pasta de cemento y/o por la adherencia con los agregados. Por lo contrario si los agregados son débiles, la resistencia intrínseca de estos se convierte en una limitación para la obtención de altas resistencias, lo cual no quiere decir que el concreto no pueda ser más resistente que las partículas individuales de los agregados.

Las partículas de las conchas son más frágiles en comparación a las del agregado grueso, por lo que se esperaba menores resistencias. A esto se sumó el hecho que, debido a la baja densidad de las conchas, ocupan un mayor volumen al reemplazarlo por la misma masa de agregado, lo que hace necesario mayor cantidad de pasta.

En la tabla 4.3 se han consolidado los resultados de la resistencia a la compresión para cada proporción de reemplazo de agregado por las conchas trituradas, además se muestra el porcentaje obtenido de las resistencias respecto a la mezcla patrón a diferentes edades de curado.

Tabla 4.3 Propiedades del concreto endurecido

ID	7 días		14 días		28 días	
	Resistencia a la compresión Kg/cm ²	Porcentaje obtenido respecto a MP	Resistencia a la compresión Kg/cm ²	Porcentaje obtenido respecto a MP	Resistencia a la compresión Kg/cm ²	Porcentaje obtenido respecto a MP
MP	208	100%	250	100%	289	100%
PR20	207	99.52%	237	94.80%	257	88.93%
PR40	199	95.67%	223	89.20%	241	83.39%
PR60	139	66.83%	158	63.20%	195	67.47%

Los resultados muestran que las muestras con reemplazo se comportaron como un concreto sin reemplazo, pues su resistencia se incrementó conforme lo hizo su edad de curado. Se observa que para las diferentes edades de curado con el reemplazo de conchas de abanico por agregado grueso la resistencia a la compresión disminuye, siendo la mayor disminución de resistencia a la compresión respecto a la muestra MP cuando el porcentaje de reemplazo es del 60%, siendo esta alrededor del 30% a los 28 días de curado.

Además, en la figura 4.7 se muestra la variación de la resistencia a la compresión en el tiempo, para los diferentes porcentajes de reemplazo del agregado grueso, usando probetas cilíndricas curadas por inmersión durante todo el tiempo.

Los certificados de las resistencias de cada probeta para las diferentes edades se muestran en el Anexo E, en éste se puede observar no existen considerables discrepancias entre los resultados de las probetas hermanas, aun cuando el porcentaje de reemplazo se incrementa.

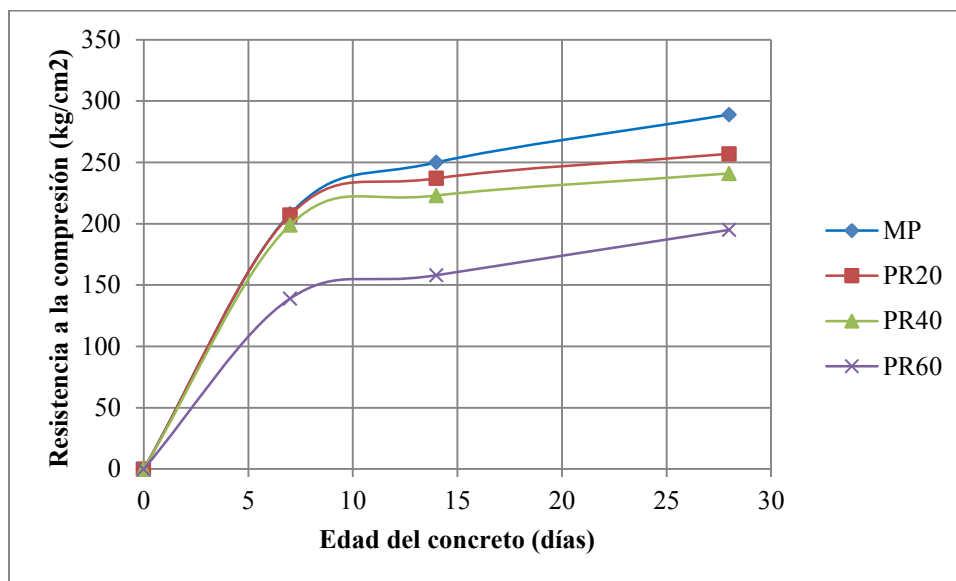


Figura 4.7: Resistencia a la compresión en Kg/cm² a diferentes edades para los concreto analizados, para un f'c de 210Kg/cm².

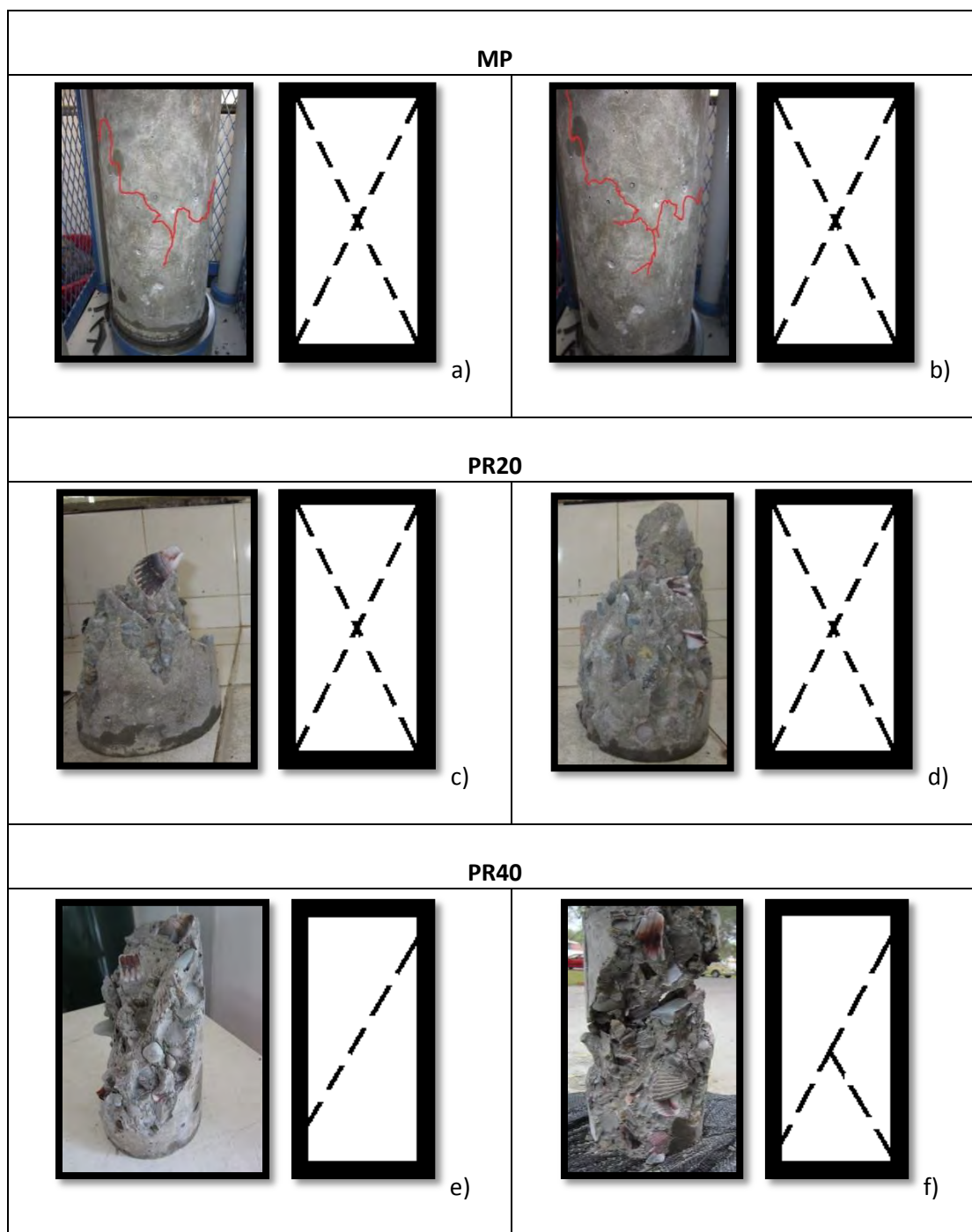
A los 28 días de curado, se obtuvieron las diferentes resistencias que el concreto es capaz de resistir, teniendo como referencia la muestra patrón (MP) se obtuvo que con los reemplazos de 20%, 40% y 60%, la resistencia disminuye hasta el 10%, 15% y 30% respectivamente, de la resistencia obtenida sin reemplazo. Se puede decir que la resistencia a la compresión baja a medida que se incrementa el porcentaje de reemplazo. Sin embargo, esta reducción se hace más notoria cuando el porcentaje de reemplazo es mayor al 40%.

Ante el curado se comportó como un concreto convencional, incrementando la resistencia a medida que aumentó su edad de curado, independientemente del porcentaje de reemplazo del agregado por la concha triturada. Al parecer, la presencia de la concha no altera significativamente las reacciones de fragua y endurecimiento de la pasta de cemento y la evolución de la resistencia es muy similar a la de un concreto convencional. Estos resultados permiten concluir que es posible obtener concreto con características mecánicas adecuadas al reemplazar parte del agregado por la concha triturada, hasta un porcentaje máximo del 40%, pues más allá de este valor la resistencia disminuye significativamente.

4.2.2. Patrones de falla de las probetas de concreto sometidas a compresión

Durante la falla (figura 4.6), se observó diversos patrones de rotura de las probetas. Las probetas de la MP (vistas a) y b)) tienden a fisurarse en forma de cono. Esto corresponde con el comportamiento de un concreto convencional, con correcta compactación y buena

adherencia entre los agregados y la pasta de cemento. En las probetas en las que se reemplazó parte del agregado pétreo por conchas de abanico los patrones fueron variables. Algunas rompían con una falla por cortante a 45° pero otras, tenían una falla en un plano totalmente horizontal; en otras se combinaban la falla por corte y de cono. Sin embargo, en todos los casos se nota el deslizamiento entre la pasta y la superficie de la concha.



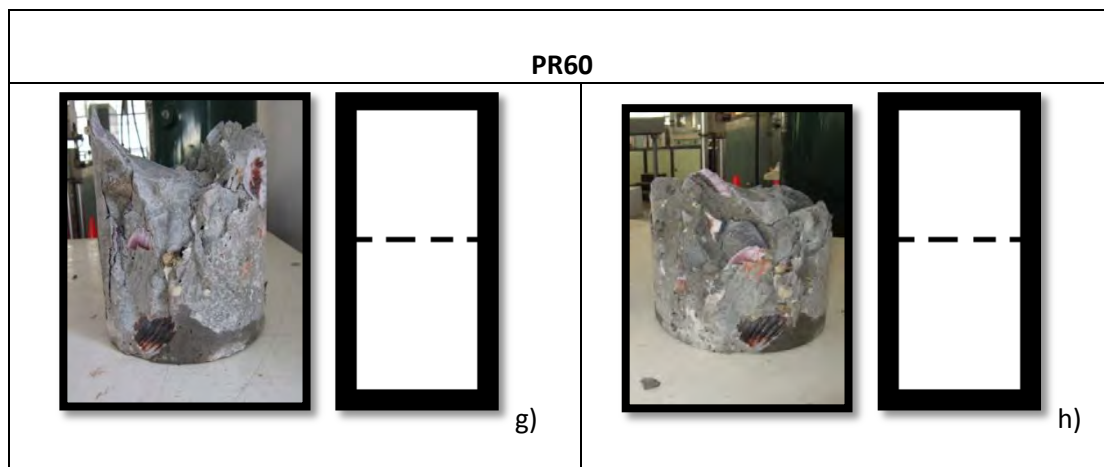


Figura 4.8: Patrones de falla de las probetas de concreto para cada proporción de reemplazo.

Las probetas con PR20 (vistas c) y d) de la figura 4.8) rompieron en forma de cono al igual que las probetas de la MP, esta es una falla normal en un cilindro bajo compresión, muestra correcta compactación y buena adherencia entre los agregados y la pasta de cemento. Lo que significa que la pasta de cemento logró recubrir tanto el material pétreo como las conchas de abanico. Además no se aprecia la disposición en paralelo de las partículas de las conchas.

Las probetas con PR40 presentaron falla por corte (vista e) de la figura 4.8) y por combinación de cono y corte (vista f) de la figura 4.8). La falla por corte se explica por una compactación pobre, debida la poca trabajabilidad de la mezcla. Además, se limitó la energía durante la mezcla para no romper excesivamente las partículas de concha. También se puede atribuir la falla por corte a una disminución de la adherencia por la mayor cantidad de material crustáceo, pues el lado liso no logra una buena adherencia con la pasta de cemento.

Las probetas con PR60 (vista g) y h) de la figura 4.8) presentaron fallas horizontales. Esta falla es generalmente causada por una compactación pobre entre capas, lo que genera poca adherencia entre una capa y otra. Esta muestra presentó una trabajabilidad muy baja, ya que la compactación fue muy difícil de llevar a cabo. Además la pasta de cemento no logró cubrir todas las partículas usadas como agregado, por lo que la adherencia se vio mermada sustancialmente, lo que se demostró con su baja resistencia a la compresión.

Dado que las conchas de abanico son partículas que presentan dos tipos de superficie, una muy rugosa y la otra totalmente lisa, la adherencia entre estas partículas y la pasta de cemento es débil en uno de sus planos. Esto podría explicar la poca adherencia y la falla observada en las probetas. Cuanto más grandes son las partículas de concha triturada o cuanta mayor cantidad de partículas hay en la mezcla de concreto, el efecto sobre la adherencia se hace más evidente, disminuyendo significativamente la resistencia a la compresión.

Por otro lado, debido al bajo peso unitario de las partículas de conchas de abanico en comparación con el peso unitario de los agregados pétreos, se necesitaba un mayor volumen de mortero para lograr las propiedades mecánicas deseadas.

En la figura 4.9 se muestran las imágenes de las matrices de concreto para cada de las proporciones de reemplazo.

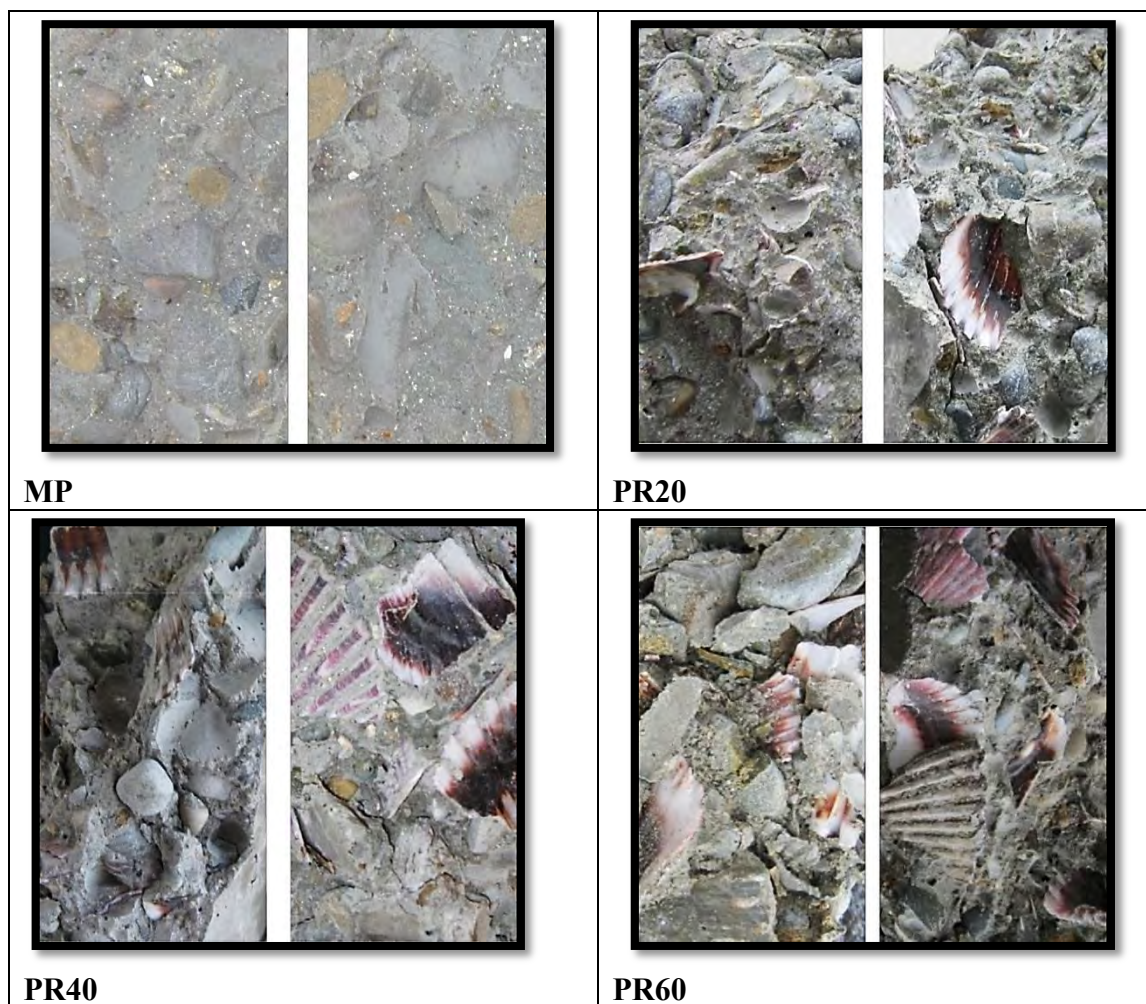


Figura 4.9: Vistas de la matriz de concreto obtenidas en cada uno de los concretos analizados.

Se puede observar que la muestra patrón tiene una distribución bastante uniforme y densa. En los casos de 20% y 40% de reemplazo, la distribución de la pasta sigue siendo más o menos uniforme y logra envolver las partículas de agregado en su totalidad.

Sin embargo, en el caso del 60% de reemplazo, se nota que la pasta no llega a recubrir completamente las partículas, tanto los agregados pétreos como las partículas de concha. Se observan espacios vacíos, con lo cual se puede explicar la baja resistencia a la compresión tanto por la falta de adherencia como por la falta de densidad de la mezcla. Esto se relaciona con la disminución de la trabajabilidad y el hecho de que una mayor cantidad de

concha triturada requiere una mayor cantidad de pasta, no solo para mejorar la trabajabilidad, sino también para mejorar la densidad y lograr recubrir todas las partículas del concreto. Podría esperarse una mejora en el comportamiento mecánico incrementando la cantidad de pasta al trabajar con porcentajes de reemplazo mayores al 40%.

4.3. Relación entre las propiedades del concreto fresco sobre la resistencia a la compresión

En la Tabla 4.4 se muestra un cuadro resumen de los resultados obtenidos en esta investigación.

Tabla 4.4 Cuadro resumen de resultados

Muestra Indicador	Und.	MP	PR20	PR40	PR60								
CONCRETO FRESCO													
Slump	cm	17.00	12.50	4.00	2.50								
Peso Unitario	gr/cm ³	2.363	2.361	2.355	2.328								
Rendimiento Relativo		0.983	0.985	0.987	0.988								
Temperatura del concreto	°C	30.90	31.40	31.90	32.50								
Temperatura ambiental	°C	29.30	31.90	32.60	32.90								
CONCRETO ENDURECIDO													
Resistencia a la compresión	Días	7	14	28	7	14	28	7	14	28	7	14	28
	Kg/cm ²	208	250	289	207	237	257	199	223	241	139	158	195
Patrones de falla		- Cono		- Cono		- Corte - Cono y corte		- Horizontal					

En la Tabla 4.4 se observan las propiedades del concreto fresco y endurecido. En el concreto fresco se aprecia claramente la influencia del reemplazo de material crustáceo en la disminución de del slump y peso unitario, así como en el incremento del rendimiento; por lo mencionado en el apartado 4.1.2 no se podría atribuir el aumento de la temperatura a dicho reemplazo.

En el concreto endurecido se observa que todas las muestras se comportan como el concreto de la muestra patrón, ya que el incremento de la resistencia a la compresión es proporcional a las edades de curado. El patrón de falla en forma de cono se hace recurrente

en la Muestra Patrón, en la Muestra PR20, y en la Muestra PR40 en combinación con corte; lo que demuestra una correcta adherencia entre los agregados y la pasta de cemento (MP y PR20); sin embargo para la Muestra PR60 el modo de falla horizontal podría ser generado por la mala adherencia entre capas, como consecuencia de la dificultad para compactar un concreto con bajo slump.

Después de observar por separado las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, se puede decir que la trabajabilidad, la temperatura y el peso unitario, tienen influencia sobre la resistencia a la compresión. Lo cual será analizado a continuación:

En la Figura 4.10 se observa la relación entre el slump y la resistencia a la compresión a los 28 días de curado para cada muestra.

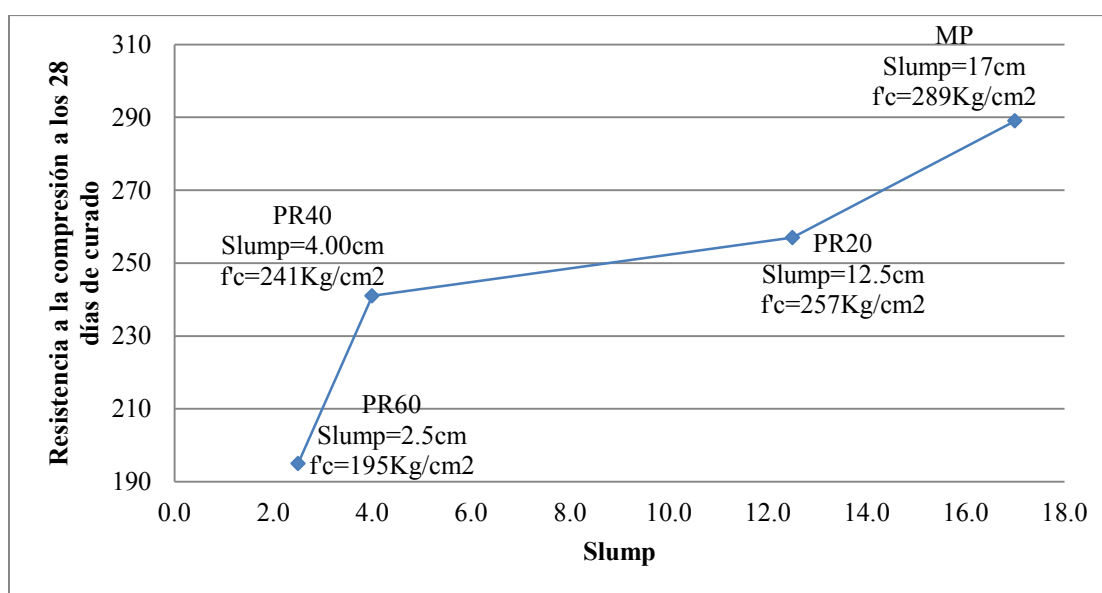


Figura 4.10: Resistencia a la compresión a los 28 días de curado vs. Slump

La disminución del slump se debe al incremento del porcentaje de reemplazo de material crustáceo por material pétreo. Por lo que deberíamos destacar que la variación del slump por sí solo no influye directamente en la resistencia a la compresión del concreto, sino que el incremento de las proporciones de reemplazo es lo que trae como consecuencia la disminución de las resistencias.

Otro factor a evaluar es el peso unitario del concreto fresco, en la Figura 4.11 se observa la relación entre el peso unitario y la resistencia a la compresión a los 28 días de curado para cada muestra.

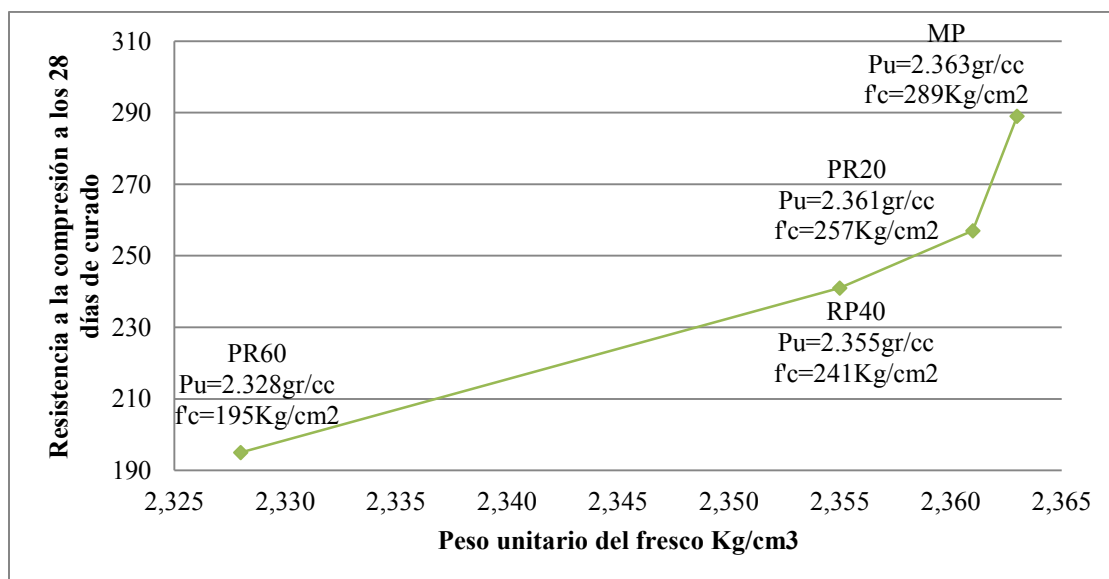


Figura 4.11: Resistencia a la compresión a los 28 días de curado vs. Peso unitario

Se puede observar que el incremento del peso unitario es proporcional a la resistencia a la compresión, lo cual es acorde con lo que se esperaría de un concreto convencional. A lo largo de todas las edades de curado se presentó la misma relación entre las resistencias y el peso unitario.

El único factor que pudo tener influencia sobre el peso unitario del concreto es la cantidad y la densidad del material crustáceo usado como reemplazo; debido a que las otras características como la cantidad de aire atrapado, cantidad de agregado fino y la cantidad de agua y cemento se mantuvieron constantes.

Un último aspecto a analizar es la influencia de la temperatura. En la Figura 4.12 se observa la relación entre la temperatura y la resistencia a la compresión a los 28 días de curado para cada muestra.

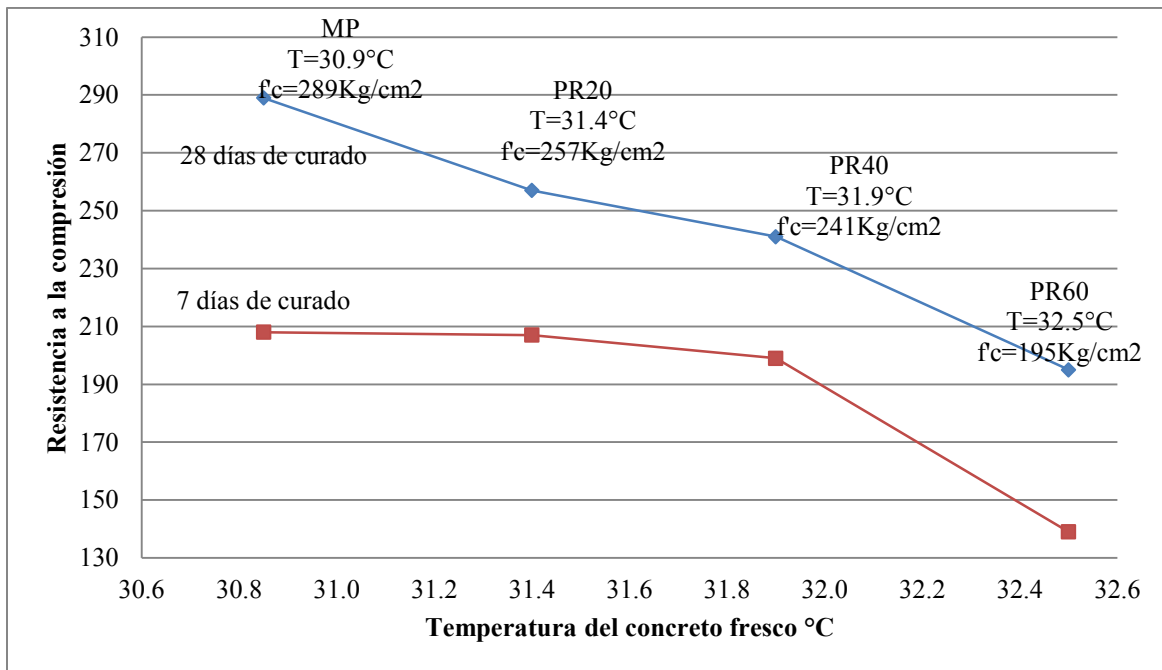


Figura 4.10: Resistencia a la compresión a los 7 y 28 días de curado vs. Temperatura

Esta relación se presentó a lo largo de todas las edades de curado. Es probable que la temperatura de la mezcla de concreto haya tenido influencia sobre la resistencia a la compresión del concreto.

Hermann K. (2001) afirma que altas temperaturas suelen traer las siguientes consecuencias: slump reducido, tiempos de fraguado más cortos, porosidad más elevada y mayor tendencia a la formación de fisuras por contracción. Debido a que en el momento de la hidratación del cemento, se forman en la superficie de sus granos cristales microscópicos que crecen entrelazándose y después se engranan como los "dientes" de un cierre. Mientras más perdura la reacción, más cristales se forman. De allí resulta la pasta de cemento endurecida, la cual recubre los agregados. Sin embargo cuanto más elevada es la temperatura durante este proceso de endurecimiento, más rápida es la formación de cristales, lo que, al principio es positivo para el desarrollo de la resistencia a la compresión. Pero debido a que los productos reaccionantes tienen una estructura poco ordenada, la pasta de cemento se vuelve más porosa y lo que trae como consecuencia la disminución de la resistencia a la compresión.

Conclusiones y recomendaciones

1. Es posible obtener un concreto con características mecánicas adecuadas al reemplazar el agregado grueso por conchas de abanico trituradas en tamaños menores a 1", en proporciones máximas del 40%. Con más del 40% de reemplazo la trabajabilidad disminuye demasiado y además no se logra la resistencia especificada.
2. Con porcentajes de reemplazo menores al 40% el efecto en la trabajabilidad no es significativo y es posible lograr un concreto con comportamiento en estado fresco y endurecido muy similar a un concreto convencional, aunque con una resistencia hasta un 20% menos de la que se lograría sin reemplazo de agregados.
3. Dado que las conchas de abanico son partículas chatas, con dos superficies, una muy rugosa y la otra totalmente lisa, la adherencia entre estas partículas y la pasta de cemento es débil en uno de sus planos. Esto produce una falla del concreto por deslizamiento entre la pasta y la superficie de la concha.
4. En las muestras la densidad del concreto fresco varía entre 2363Kg/m^3 y 2328Kg/m^3 , según la NTP 339.046 el peso unitario normalmente está entre 2240Kg/cm^3 y 2460Kg/cm^3 , por lo que se concluye que el concreto producido es adecuado al cumplir con los límites establecidos.
5. En el análisis de la disminución de la resistencia explicada en el apartado 4.2 se plantearon los diferentes patrones de rotura. En las muestra en las que se realizó el reemplazo por material crustáceo, la mayoría de fallas ocurrieron en la cara lisa de las conchas trituradas; a medida que se incrementa el porcentaje de reemplazo la distribución de esfuerzos se hizo irregular por lo que las formas de falla variaron entre corte y horizontales, estas últimas debido a la poca trabajabilidad presentada por la muestra con mayor porcentaje de reemplazo, que dificultó su compactación.
6. El uso de concha triturada supone incrementar una mayor cantidad de pasta en la mezcla de concreto, tanto por la forma chata de las partículas como por el menor peso unitario que representan. Esto podría controlarse si se usara tamaños de trituración más pequeños, favoreciendo la trabajabilidad y una menor disminución de la resistencia final. Sin embargo, se requiere mayor investigación para verificarlo.
7. En estado fresco, el mayor efecto del reemplazo de los agregados por concha triturada es la disminución en la trabajabilidad de la muestra, debido principalmente a la forma chata de las partículas y la tendencia a acomodarse en planos, con la consecuente acumulación de agua y espacios vacíos debajo de ellas. Esta reducción es proporcional al aumento del reemplazo de agregado por concha. La disminución varía entre un 25%

y un 85% respecto a la muestra patrón. Esto podría superarse con el uso de aditivos plastificantes, lo que plantea mayor investigación al respecto.

8. En vista de los resultados obtenidos, basados en el análisis del tamaño de las partículas de las conchas de abanico después de la trituración del apartado 2.4.2. y mostrados en las Tablas 2.4. y 2.5, se confirma que estas partículas planas e irregulares, traen como consecuencia la disminución del slump en el concreto fresco, por un posible acomodo de las partículas en el mismo plano; y la disminución de resistencia en el concreto endurecido, generado por la poca adherencia conseguida entre la pasta de cemento y las conchas de abanico trituradas, y por la forma irregular que presenta el material de reemplazo, pues en una misma partícula se podrían presentar zonas más frágiles que otras.

Recomendaciones

1. Dada la forma achatada de la concha, se recomienda una mayor investigación con tamaños de trituración más pequeños. Con menores tamaños, es posible lograr partículas más cúbicas y podría esperarse un menor efecto reductor en las propiedades del concreto.
2. Se recomienda mayor investigación sobre la interacción de las partículas de concha de abanico con la pasta de cemento y su influencia en el incremento de la temperatura en la mezcla en estado fresco. Sería interesante comparar las propiedades térmicas (calor específico, capacidad calorífica, etc.) de las partículas de las conchas de abanico con el material pétreo usadas en la investigación para reforzar las hipótesis propuestas.
3. Se recomienda implementar medios para completar la caracterización de la concha triturada presentada aquí, evaluando otras propiedades como la abrasión, la inalterabilidad de los agregados, la reacción álcali-agregado, porosidad, propiedades térmicas, entre otros.
4. Para poder hacer una estimación de los costos de producción es de vital importancia establecer el método de trituración de los caparazones de las conchas de abanico. En esta investigación se usó en primera instancia una chancadora de mandíbulas sin embargo, la forma achatada de las partículas hizo que se deslice por la abertura sin ser triturada, por lo que se optó por un método manual. Por ello se recomienda el diseño de una trituradora especial o la propuesta de algún otro método de trituración para su procesamiento industrial.

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.
- ASTM C138 / C138M - 2008 Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete.
- BASF Construction Chemicals (2004). *Actualizaciones Tecnológicas, lo que todo Gerente de Control de Calidad debe saber sobre el ensayo de Resistencia a la Compresión.*
- Carrasco, F., (2009). *Roca y agregados para hormigones.* Universidad Tecnológica Nacional.
- Chan Yam, JL., Solís Carcaño, R. & Moreno EI., (2003). *Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto*”. Universidad Autónoma de Yucatán , Ingeniería, 7, 39-46.
- Consorcio Sullana (2003). *Estudio Definitivo de Mantenimiento Periódico de la Red Vial Nacional, Sector: Sullana - Aguas Verdes.*
- Diario “El Comercio”. *Exportaciones de conchas de abanico se incrementaron en 24.5%.* En línea internet consultada el 05 de marzo del 2014. Disponible en: <http://elcomercio.pe/economia/peru/exportaciones-conchas-abanico-se-incrementaron-245-noticia-1723623>.

- Dosificación de Mezclas de Hormigón Métodos, ACI 211.1, Weymouth, Fuller, Bolomey, Faury. 1999.
- Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero (FONDEPES), Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI), Proyecto de Apoyo al desarrollo del sector pesca y acuícola del Perú (PADESPA). *Manual de cultivo suspendido de concha de abanico*. Edición exclusiva, Julio 2004.
- Galloway J. (1994), "*Grading, Shape, and Surface Properties*". ASTM Special Technical Publication No. 169C, Philadelphia, pp. 401-410.
- Gutiérrez de López, L., (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*, pp. 619-659. Colombia: Centro de publicaciones Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.
- Hermann K., (2001). *Colocado del concreto a altas temperaturas*". Consultado el 03 de Diciembre del 2014. En línea Internet, accesible en: <http://www.imcyc.com/revista/2001/abril2001/colado.htm>
- INDECOPI (2002) 400.022 – AGREGADOS: Método de ensayo para determinar el peso específico y absorción del agregado fino.
- INDECOPI (1999). NTP 400.016 - AGREGADOS: Determinación de la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.
- INDECOPI (2001). NTP 334.001 - CEMENTOS: Definición y nomenclatura.
- INDECOPI (2001). NTP 334.090 - CEMENTOS: Requisitos de Cementos Portland Adicionados.
- INDECOPI (2002). NTP 339.184 – CONCRETO: Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de concreto.
- INDECOPI (2002). NTP 339.185 – AGREGADOS: Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.
- 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.
- INDECOPI (2001). NTP 400.012 – AGREGADOS: Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.
- INDECOPI (2002). NTP 400.021 – AGREGADOS: Método de ensayo para la determinación del peso específico y la absorción del agregado grueso.
- INDECOPI (1999). NTP 400.017 – AGREGADOS: Método normalizado para determinar el peso unitario del agregado.
- INDECOPI (1999). NTP 400.039 – AGREGADOS: Índice de alargamiento del agregado grueso.
- INDECOPI (1999). NTP 400.040 – AGREGADOS: Partículas chatas o alargadas en el agregado grueso.
- INDECOPI (1999). NTP 400.041 – AGREGADOS: Índice de espesor del agregado grueso.
- Instituto Nacional de Desarrollo Urbano (2010). *Mapa de Peligros de Usos del Suelo y Plan de Mitigación ante Desastres de la Ciudad de Chulucanas*. En Internet, accesible en: http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios_CS/Region_Piura/morropon/chulucanas.pdf.
- ITINTEC (1968) 400.002 - MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN: Términos y definiciones.
- ITINTEC (1968) 334.008 – CEMENTO PORTLAND: Clasificación y nomenclatura.
- ITINTEC (1977). NTP 400.020 – AGREGADOS: Determinación de la resistencia al desgaste de agregados gruesos de gran tamaño por medio de la máquina “Los Ángeles”.
- Kuo, WT., Yung, H., Shu, CY. & Su, DS., (2013). Engineering properties of controlled low-strength materials containing waste oyster shells.. *Construction and Building Materials*, 46, 128 – 133.

- Legg F. (1998), *"Aggregates: Chapter 2" Concrete Construction Handbook*. Cuarta edición, Editado por McGraw-Hill: New York, NY, USA.
- León MP. & Ramirez F., 1999. Consultado 03 de Agosto del 2014. *Caracterización Morfológica de agregados para concreto mediante análisis de imágenes*. En línea Internet. Accesible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-50732010000200003&script=sci_arttext
- Municipalidad de Piura, Gerencia de Obras, Visitado en Mayo del 2014, Piura.
- Nguyen, D., Boutouil, M., Sebaibi, N., Leleyter, L. & Baraud, F., (2013). *"Valorization of seashell by-products in pervious concrete pavers"*. Construction and Building Materials, 49, 151-160.
- Osorio, JD., (2013). Consultado el 08 de Agosto del 2014. *Reacción álcali agregado, un ensayo importante en la tecnología del concreto*. En línea Internet. Accesible en: <http://360gradosblog.com/index.php/reaccion-alkali-agregado-un-ensayo-importante-en-la-tecnologia-del-concreto/>.
- Özturan T., Çeçen C. (1997). *"Effect coarse aggregate type on mechanical properties of concretes with different strengths, Cement and concrete research"*. (U.S.A.), 27 (2), p. 165.
- Pacheco C., Barragán B., Meneses JM., Ávila JM., (2010). *"Hormigones Autocompactantes. Influencia de áridos y filler de naturaleza dolomítica en la reacción álcali-carbonato"*. 2º Congreso Ibérico sobre hormigón autocompactante, Portugal.
- Provias Nacional (2002). *Evaluación de la vulnerabilidad física natural futura y media de adaptación en áreas de interés en la cuenta del Rio Piura*.
- Robillard, C. (2012). *"Etude de valorisation des coproduits marins coquilliers sous forme d'additions et de granulats dans les matériaux cimentaires"*. Ph D thesis. University of Caen-Basse Normandie, 246p.
- Shilstone J. (1999), *"The Aggregate: The Most Important Value-Adding Component in Concrete"*. International Center for Aggregates Research; Memorias del Simposio Internacional Austin, Texas.
- Sleiman A., Md S., Mahmoud A., Alfred A., Mohsen A., (2000). *"Specimen and aggregate size effect on concrete compressive strength"*. American Society for Testing and Materials, USA. p. 103-115.

- Universidad de Piura (2013). *Apuntes del Curso Tecnología del Concreto, Capítulo I: El concreto.*
- Vásquez, AR., (2012). *Cemento y sus aplicaciones.* Cementos Pacasmayo SAA.
- Viso, JR., Carmona, JR. & Ruiz, G., 2007. Influencia de la forma y del tamaño de la probeta en la resistencia a compresión de hormigones de alta resistencia. 2, 527 – 532.
- Veronelli, JE. (1978). *Durabilidad de los hormigones.* España: Editorial del Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja.
- Yang, EI., Kim, MY., Park, HG. & Yi, ST., (2010). “*Effect of partial replacement of sand with dry oyster shell on the long-term performance of concrete*”. Construction and Building Materials, 24, 758-765.