

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“INFLUENCIA DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO EN LA RESISTENCIA Y COSTO DEL CONCRETO, TENIENDO EN CUENTA 3 MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS.”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO CIVIL



Autor:

Piero Emanuel Taico Lezama

Asesor:

Ing. Mg. Gabriel Cachi Cerna

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

La ciencia es la progresiva aproximación del hombre al mundo real (Max Planck) y cada esfuerzo humano por entender las mecánicas del mundo que nos rodea son totalmente reconocidas, aunque representen una simple gota dentro del infinito océano del conocimiento.

Dedico este trabajo de investigación y sobre todo el aporte de sus conclusiones a toda persona ligada al ámbito del diseño de concreto esperando que le sea una herramienta útil para aplicarla y compartirla.

AGRADECIMIENTO

A Dios todopoderoso creador del cielo y la tierra que por su infinita gracia me permite gozar de la vida de mis padres quienes con amor, trabajo y disciplina me educaron, guiaron, aconsejaron y formaron para cumplir las metas que hoy estoy alcanzado.

A mis amigos Luis Eduardo Cabanillas Hualpa, Rona Miranda Salazar y Verner Marín Vigo por el apoyo físico y moral durante los trabajos más pesados y la predisposición a ayudarme siempre.

A los buenos maestros por su enseñanza y por fortalecer las capacidades, habilidades y aptitudes que me permitirán desenvolverme en adelante en mi carrera profesional.

Tabla de contenido

| | |
|--|-----------|
| DEDICATORIA | 2 |
| AGRADECIMIENTO..... | 3 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 5 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 6 |
| RESUMEN | 7 |
| CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN | 8 |
| 1.1. Realidad problemática | 8 |
| 1.2. Formulación del problema | 14 |
| 1.3. Objetivos..... | 14 |
| 1.3.1. Objetivo general..... | 14 |
| 1.3.2. Objetivos específicos..... | 15 |
| 1.4. Hipótesis | 15 |
| CAPÍTULO II. METODOLOGÍA | 16 |
| 2.1. Tipo de investigación | 16 |
| 2.2. Materiales, instrumentos y métodos..... | 17 |
| CAPÍTULO III. RESULTADOS | 37 |
| 3.1. Ensayos de agregados (fino y grueso)..... | 37 |
| 3.2. Diseño de mezcla. | 38 |
| 3.3. Ensayos para aceptación de las probetas cilíndricas | 41 |
| 3.4. Resistencia a la compresión de los testigos cilíndricos. | 43 |
| 3.5. Análisis de falla de las probetas cilíndricas | 47 |
| 3.6. Análisis de costos por materiales y rendimiento. | 49 |
| CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES..... | 52 |
| 4.1. Discusión | 52 |
| 4.2. Conclusiones | 57 |
| REFERENCIAS | 59 |
| ANEXOS | 62 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. <i>Ensayos y referencias normativas.</i> | 21 |
| Tabla 2. <i>Cantidades mínimas aproximadas para la extracción de muestras de campo.</i> | 23 |
| Tabla 3. <i>Tamices usados para ensayo de Análisis granulométrico.</i> | 26 |
| Tabla 4. <i>Tamices usados para ensayo de Análisis granulométrico.</i> | 29 |
| Tabla 5. <i>Pesos mínimos de muestra para ensayo de granulometría de agregado grueso.</i> .. | 30 |
| Tabla 6. <i>Pesos mínimos de muestra para ensayo de Peso específico.</i> | 32 |
| Tabla 7. <i>Pesos mínimos de muestra para ensayo de Contenido de humedad.</i> | 33 |
| Tabla 8. <i>Resultados de los ensayos para el agregado grueso.</i> | 37 |
| Tabla 9. <i>Resultados de los ensayos para el agregado fino</i> | 38 |
| Tabla 10. <i>Resultados de los diseños de mezclas.</i> | 39 |
| Tabla 11. <i>Proporción en peso de las mezclas de concreto.</i> | 39 |
| Tabla 12. <i>Resultados del ensayo de asentamiento de concreto.</i> | 41 |
| Tabla 13. <i>Prueba de temperatura de la mezcla de concreto en estado fresco.</i> | 42 |
| Tabla 14. <i>Esfuerzos de los de ensayos de compresión para TMN de 3/4"</i> | 44 |
| Tabla 15. <i>Esfuerzos de los de ensayos de compresión para TMN de 1/2"</i> | 45 |
| Tabla 16. <i>Esfuerzos de los de ensayos de compresión para TMN de 3/8"</i> | 46 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| <i>Figura 1.</i> Cantidad total de probetas realizadas | 17 |
| <i>Figura 2.</i> Ubicación de la cantera “Jesús La Nonga” | 20 |
| <i>Figura 3.</i> Cuarteo de material por el método C de la norma MTC E103..... | 24 |
| <i>Figura 4.</i> Porcentaje de grueso y fino para diseño con TMN de 3/4" | 40 |
| <i>Figura 5.</i> Porcentaje de grueso y fino para diseño con TMN de 1/2" | 40 |
| <i>Figura 6.</i> Porcentaje de grueso y fino para diseño con TMN de 3/8" | 41 |
| <i>Figura 7.</i> Perpendicularidad de testigos cilíndricos | 42 |
| <i>Figura 8.</i> Variabilidad dimensional de testigos cilíndricos..... | 43 |
| <i>Figura 9.</i> Resultados del ensayo a compresión para agregado grueso con TMN de 3/4" ... | 44 |
| <i>Figura 10.</i> Resultados del ensayo a compresión para agregado grueso con TMN de 1/2". | 45 |
| <i>Figura 11.</i> Resultados del ensayo a compresión para agregado grueso con TMN de 3/8". | 46 |
| <i>Figura 12.</i> Resumen de esfuerzos promedios alcanzados | 47 |
| <i>Figura 13.</i> Tipo de falla de las probetas cilíndricas | 48 |
| <i>Figura 14.</i> Unión Pasta - Agregado después del ensayo a compresión | 49 |
| <i>Figura 15.</i> Porcentaje promedio de los materiales que conforman al concreto | 49 |
| <i>Figura 16.</i> Incidencia de los materiales por su costo | 50 |
| <i>Figura 17.</i> Rendimiento de las mezclas de concreto..... | 51 |
| <i>Figura 18.</i> Peso unitario de diseño y real..... | 51 |
| <i>Figura 19.</i> Demanda de cemento según TMN de agregado grueso | 53 |
| <i>Figura 20.</i> Relación cemento vs resistencia a compresión. | 56 |
| <i>Figura 21.</i> Esquema de los patrones de tipos de fracturas | 57 |

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo determinar la influencia del tamaño máximo nominal del agregado grueso con la aplicación de tres métodos de diseño de mezclas, en la resistencia de un concreto de 210kg/cm^2 y su impacto económico. Para el estudio se usaron agregados con tamaño máximo nominal de $3/4''$, $1/2''$ y $3/8''$ y los métodos ACI, Walker y Módulo de Fineza de la Combinación de los Agregados. Se ensayaron 07 probetas para cada combinación de agregado grueso y método de diseño obteniendo en total 63 probetas, se realizaron ensayos de compresión para determinar la resistencia del concreto y el análisis económico se calculó con las dosificaciones de mezclas. Al aumentar el tamaño del agregado grueso la resistencia y el costo de producción del concreto disminuye. La dosificación calculada con el método Walker y agregado de $3/8''$ alcanzó una resistencia de 433.97kg/cm^2 , el método ACI con agregado de $1/2''$ 398.93kg/cm^2 y el método Walker con agregado de $3/4''$ 339.90kg/cm^2 . El cemento es el insumo con mayor incidencia en el costo del concreto representando 84% del precio, las mezclas con agregado de $3/4''$ demandan 13.24% menor cantidad de cemento que las de $3/8''$ y el rendimiento aumenta con agregados de mayor tamaño.

Palabras clave: Diseño de mezclas, tamaño máximo nominal, resistencia a la compresión.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El concreto es el material compuesto más usado en el mundo de la construcción, solo en el 2016 se estima que se llegó a usar 13,000 millones de m³ según un reporte del ingeniero Ceballos Martín para la revista Construcción y Tecnología; la versatilidad de su producción y aplicación sitúa al concreto como la mejor alternativa tecnológica en el mundo moderno para construir obras de infraestructura de gran importancia. La Portland Cement Association (PCA) en su libro Design and Control of Concrete Mixtures (1988, p.01) divide al concreto en una mezcla de 02 componentes, agregados y pasta, además agrega que “La pasta, compuesta por cemento Portland y agua, une a los agregados (usualmente arena y grava o piedra chancada) en una masa similar a una roca debido a una reacción química del cemento con el agua”.

En una unidad cúbica de concreto entre el 65% y 80% está compuesta por agregado fino y grueso, 7% y 15% por cemento, 14% y 21% por agua y adicionalmente existe un pequeño porcentaje de aire que ronda entre el 1% y 8%. Para determinar la proporción exacta de cada material se realiza un diseño de mezclas, entre los métodos más usados destacan el del American Concrete Institute (ACI), Walker, Módulo de Fineza de la Combinación de los Agregados, Füller y métodos experimentales, sus resultados están en función de las condiciones iniciales que se puedan presentar.

En su estado endurecido, el concreto presenta varias propiedades, entre las principales están: resistencia mecánica, durabilidad, cambios volumétricos, resistencia al desgaste, entre otros; para que el concreto pueda obtener y mantener sus propiedades

según se ha establecido en el diseño, es necesario hacer uso de los materiales correctos en conjunto de sus cantidades necesarias.

Chan, Solís y Moreno (2003) Mencionan que las características del agregado como forma, tamaño, textura, superficie y minerales que lo constituye, influyen directamente en la capacidad resistente del concreto; se entiende por agregado, como el conjunto de partículas inorgánicas que pueden ser clasificadas como agregado fino (arena) y agregado grueso (grava), de este último se centra el propósito conclusivo de la investigación, evaluar la influencia del tamaño máximo nominal (TMN) del agregado grueso en la resistencia del concreto aplicando 03 métodos de diseño de mezclas. Sleiman (2000) muestra en sus estudios que al disminuir el tamaño del agregado la resistencia del concreto decrecía, esto para diámetros de 3", 1 1/2", 3/4" y 3/8" hasta un tamaño de 4.75 mm (tamiz n°04) donde la resistencia empezaba a subir, por otra parte, Rivva (2012, p.70) indica que para la selección de "las proporciones de concretos cuya resistencia en compresión de diseño especificada sea igual o mayor a 350kg/cm², podrá obtenerse mejores resultados utilizando agregados de tamaño máximo nominal menor, los cuales permiten obtener resistencias más altas para una relación agua/cemento dada".

El método de diseño escogido para el cálculo de los materiales del concreto debe proporcionar una buena relación finos-grueso en el agregado, según las condiciones de tamaño, forma, textura, superficie, etc.

Los 03 métodos abordados para el estudio de la investigación son: American Concrete Institute (ACI), Walker y Módulo de Fineza de la Combinación de los Agregados; el modelo de diseño del ACI fue desarrollado por su comité 211, Rivva (2012, p.129) menciona que es un "procedimiento de diseño de mezclas bastante

simple, el cual basándose en algunas tablas (...) permite obtener valores de los diferentes materiales que integran la unidad cúbica de concreto.”, así mismo, señala que “(...) es aplicable a concretos de peso normal y a las condiciones que para cada una de las tablas se indican en ellas.”, unos años después de que el comité presentara su método y modificatorias por la década de los 70, grupos de investigadores cuestionaron la forma en que el comité 211 calculaba la cantidad de agregado grueso, según el método, el aporte de este material se mantendría sin importar las condiciones iniciales que se puedan presentar por resistencia, contenido de cemento o características del agregado fino.

Stanton Walker lideró un equipo de investigadores en la Universidad de Maryland, con la finalidad de optimizar la forma en la que se calculaba la cantidad de agregado grueso por el método ACI, creando el método de diseño de mezclas Walker, Rivva (2012) comenta que el equipo de investigación desarrolló una tabla para estimar el porcentaje de agregado fino que debía contener el volumen absoluto del agregado considerando en la relación fino-grueso el contenido de la pasta, perfil y tamaño máximo nominal del agregado grueso y módulo de fineza del agregado fino, mediante este método se garantiza una mejor relación fino-grueso del agregado en la mezcla de concreto, cabe mencionar que la tabla realizada por el profesor Walker corresponde a concretos sin aire incorporado.

Años después, con el fin de buscar un método que relacione mejor al agregado fino con el grueso, surgió el modelo del Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados, desarrollado, así como el método anterior, en la Universidad de Maryland por el profesor Stanton Walker, Rivva (2012, p.159) señala que en modelo “los porcentajes de agregado fino y grueso se modifican en función de sus propios módulos

de fineza (...), el contenido de los agregados finos y grueso varían para las diferentes resistencias, siendo esta variación función de la relación w/c y del contenido total de agua, expresados a través del contenido de cemento en la mezcla”, este método tiene limitaciones en cuanto al agregado, por las condiciones de aplicación de la tabla él agregado debe ser angular y graduado con un contenido de vacíos del orden del 35%, sin embargo, es posible aplicar el diseño bajo otras condiciones, pero se debe seguir un proceso de corrección de valores en la tabla del método.

Por lo expuesto, ante la importancia que representa obtener un concreto con sus propiedades mecánicas mejores o iguales a las planteadas para la dosificación y al no conocer con certeza un método de diseño que se ajuste mejor a la condición inicial de TMN del agregado se justifica el propósito de la investigación, el cual es, determinar la influencia del tamaño máximo nominal del agregado grueso en la aplicación de 3 métodos de diseño de mezclas en la resistencia de un concreto de 210 kg/cm² y su impacto económico. La aplicación correcta de un modelo según las condiciones iniciales de los materiales no solo arrojará mejores resultados en cuanto a sus propiedades, sino que también permitirá ahorrar tiempo y dinero.

La metodología de la investigación consiste en evaluar los 03 métodos de diseño anteriormente mencionados utilizando para cada uno de ellos el mismo agregado grueso pero con 03 tamaños nominales distintos, a fin de determinar con qué modelo y tamaño de agregado grueso se puede alcanzar una mayor resistencia a la compresión y cómo las distintas dosificaciones pueden afectar el costo de producción de una mezcla, para ello, se realizaron 07 probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura para cada combinación de método y TMN, sumando un total de 63 probetas ensayadas en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte en la ciudad

de Cajamarca. La resistencia de diseño fue de 210 kg/cm^2 , por ser el valor comúnmente más usado para el cálculo estructural de viviendas y estructuras de mediana importancia, en cuanto a los materiales, el cemento empleado fue un Portland tipo I de la cementera Pacasmayo y el agregado de la cantera “Jesús La Nonga” con piedra chancada de perfil angular.

Romero (2019) realizó una investigación en la ciudad de Trujillo sobre el *Estudio comparativo de 3 métodos de diseño de mezclas en la resistencia de compresión del concreto*. El objetivo de su investigación fue comparar los métodos convencionales ACI, Walker y Módulo de Finura en mezclas con resistencias de diseño de 175 kg/cm^2 y 210 kg/cm^2 a través de probetas de $10 \times 20 \text{ cm}$ para 7, 14, 21 y 28 días de curado, se elaboraron 03 especímenes para cada combinación de resistencia, edad y método, respecto a la elaboración del concreto, Romero usó un cemento Portland tipo ICo de la empresa Pacasmayo y un agregado grueso con TMN de $1/2''$ de perfil angular. En sus conclusiones finales para una resistencia a la compresión de 210 kg/cm^2 el modelo Walker alcanzó mejores resultados que los de ACI y Módulo de Finura llegando a una resistencia de 301 kg/cm^2 a los 28 días de curado.

Coasaca (2018) para obtener el grado de Ingeniero Civil desarrolló la investigación *Análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas del concreto utilizando distintos métodos de diseño de mezclas con materiales típicos de la provincia de Arequipa*. El objetivo de su investigación consistió en realizar una comparación de las propiedades físicas y mecánicas del concreto utilizando los métodos: ACI, Walker, Módulo de Finura, Füller, Bolomey, Faury, O’Reilly y Porrero & Grases, con materiales típicos de la provincia de Arequipa a fin de determinar el

modelo más eficiente o con mejores resultados. Para su elaboración, Coasaca utilizó materiales típicos de su zona, el cemento fue Portland tipo IP de la empresa Yura S.A y el agregado de la cantera “La Poderosa” con un TMN del agregado grueso de 1” de perfil angular; se hicieron pruebas para resistencias a la compresión de 175 kg/cm², 210 kg/cm² y 280 kg/cm² a los 7 y 28 días de curado, con 15 probetas cilíndricas de 10 x 20 cm para cada caso de diseño, edad y resistencia. De los 03 métodos convencionales (ACI, Walker y Modulo de Finura) el método Walker obtuvo el valor más alto para una resistencia de 210 kg/cm² (272.86 kg/cm² a los 28 días de curado) alcanzando el 92.81% del f'_{cr} de diseño.

Morales (2017) elaboró en la ciudad de Jaén una investigación sobre la *Influencia del tamaño máximo nominal de 1/2" y 1" del agregado grueso del río Amojú en el esfuerzo a la compresión del concreto para $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$* . Tuvo como objetivo determinar la influencia del tamaño máximo nominal del agregado grueso de 1/2" y 1" para una resistencia a la compresión de 250 kg/cm², evaluándola a los 7, 14 y 28 días de curado. En cuanto a los materiales utilizados, el cemento fue Portland tipo I de la fábrica Pacasmayo y los agregados de la cantera “Arenela Jaén”, siendo la grava de perfil angular con TMN de 1/2" y 1", en este estudio se usó el método de Módulo de Finura para estimar la dosificación de la mezcla, se elaboró 9 testigos de concreto para cada combinación de TMN y edad de curado, en total se ensayaron 54 probetas cilíndricas de 15 x 30 cm. De la investigación se concluye que, el diseño con el TMN de 1/2" requirió de una mayor cantidad de pasta de cemento (costo de producción mayor) y su resistencia a la compresión a los 28 días de curado superó en 10.57% al obtenido con un TMN de 1”.

Vásquez (2013) en su investigación llevado a cabo en la ciudad de Cajamarca sobre *Obtención del mejor método para elaborar el diseño de mezclas de concreto, al comparar los métodos ACI, Füller, Walker y Módulo de fineza de la combinación de los agregados, para una resistencia a la compresión $f'c$ de 210 kg/cm² (a los 28 días)*. El objetivo de su investigación fue evaluar los métodos ACI, Walker, Füller y Módulo de Finura para un diseño de 210 kg/cm² con agregados de la cantera “Huayrapongo” a fin de determinar el modelo que más se acercaba a la resistencia de diseño. Por su metodología, Vásquez utilizó un cemento Portland tipo I de la cementera Pacasmayo, en cuanto a su agregado, el TMN de la grava fue de 3/4"; se elaboraron 20 especímenes de 15 x 30 cm para cada método de diseño y el ensayo a compresión se realizó a los 28 días de curado. En sus conclusiones Vásquez afirma que el método ACI obtuvo la resistencia más cercana al valor de 210 kg/cm² (con una resistencia promedio de 263.68 kg/cm²), por otro lado, el modelo del Módulo de Finura alcanzo la máxima resistencia llegando a 309.24 kg/cm².

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la influencia del tamaño máximo nominal del agregado en la resistencia y costo del concreto en relación a los métodos de diseño de mezclas adoptados?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la influencia del tamaño máximo nominal del agregado grueso en la aplicación de tres métodos de diseño de mezclas, en la resistencia de un concreto de 210 kg/cm² y su impacto económico.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físico – mecánicas de los agregados de la cantera “Jesús La Nonga”.
- Determinar el método de diseño de mezclas con el que se obtiene mayor resistencia a la compresión partiendo de un valor de diseño de 210 kg/cm^2 para cada caso de tamaño máximo nominal del agregado grueso que se propone.
- Evaluar la relación entre el tamaño máximo nominal del agregado grueso y la resistencia a la compresión alcanzada para un concreto de 210 kg/cm^2 .
- Evaluar la influencia del tamaño máximo nominal en relación con los métodos de diseño de mezclas en el costo unitario del concreto.

1.4. Hipótesis

Al aumentar el tamaño máximo nominal en el diseño de concreto de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con los métodos ACI, Walker y Módulo de Fineza de la Combinación de los Agregados aumenta la resistencia y disminuye el costo.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La investigación, según su naturaleza de datos, se clasifica como cuantitativa por la capacidad de realizar mediciones en ensayos a probetas de concreto, siendo posible contrastar los valores obtenidos con la hipótesis formulada; así mismo, según la manipulación de las variables, el tipo de investigación es experimental, pues se pretende manipular el tamaño máximo nominal del agregado grueso y los métodos de diseños de mezclas a condiciones específicas para evaluar los resultados de resistencia y costo de la mezcla de concreto.

Diseño del experimento

La unidad experimental (UE) es un elemento al que se le aplica un proceso específico para medir un resultado que permita responder a la pregunta de investigación o contrastar las hipótesis, la probeta de concreto es la UE considerada en esta investigación, para que los resultados obtenidos hayan sido representativos, se utilizó una muestra aleatoria de agregado grueso y fino de la cantera de río “Jesús La Nonga”, tras un análisis inicial de granulometría los agregados serían mejorados y preparados para cumplir con las especificaciones de la norma NTP 400.037; en tanto, para la selección de la cantera, se consideraron criterios de accesibilidad, ubicación, capacidad de distribución o venta y que cuente con los TMN (Tamaño Máximo Nominal) de la investigación.

En total, para cada caso o condición se ensayaron 07 probetas de concreto con 28 días de curado, en condiciones normales sin la adición de aditivos o sustancias que puedan afectar la resistencia final de la unidad experimental.

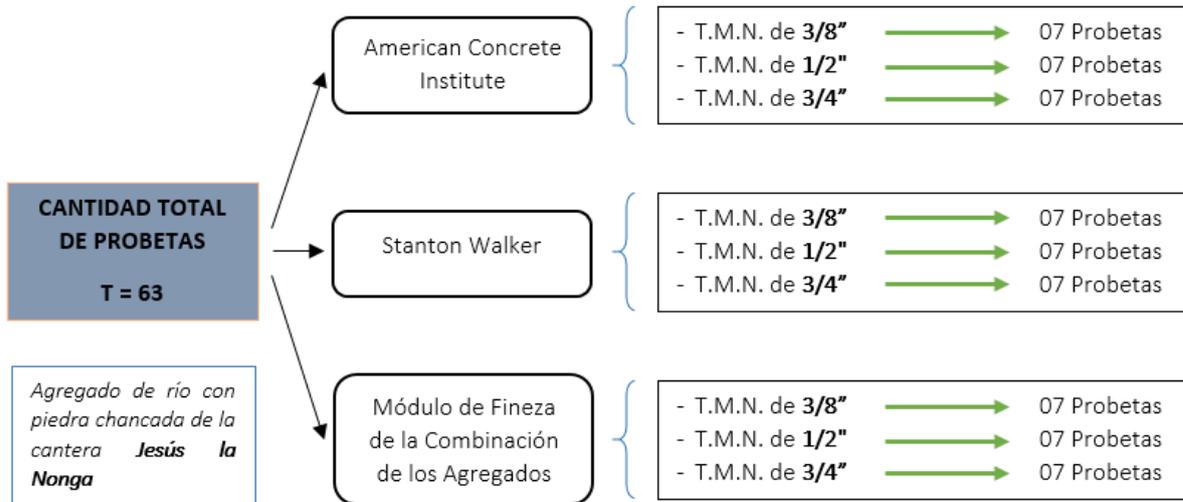


Figura 1. Cantidad total de probetas realizadas. 07 testigos para cada TMN de 3/4", 1/2" y 3/8" en cada método de diseño de mezclas estudiado, sumando un total de 63. Fuente: Elaboración propia.

2.2. Materiales, instrumentos y métodos

Para tener un concreto con buenas propiedades en cualquiera de sus estados no basta contar con materiales de buena calidad en sus proporciones correctas, es necesario también, tener en cuenta factores como proceso de mezclado, transporte, colocación o vaciado y curado (Harmsen, 2017).

2.2.1. Materiales

Agua

La norma NTP 339.088:2019 da los requisitos mínimos que debe tener el agua empleada en la preparación y curado de concreto. Para la elaboración de probetas, curado y ensayos de materiales se recomienda agua potable

Cemento

El cemento Portland tipo I (de uso general y sin propiedades especiales).

Agregado grueso

La investigación propone 03 tipos de grava chancada, diferenciándose por su tamaño máximo nominal (3/4", 1/2" y 3/8").

Agregado fino

El agregado fino se extrajo de la misma cantera del agregado grueso, y se hicieron los análisis iniciales de granulometría para aceptar la muestra.

2.2.2. Instrumentos

Para la recolección de datos se usaron los equipos y herramientas del laboratorio de la Universidad Privada del Norte, el mantenimiento y calibración de los instrumentos se realiza periódicamente bajo el control de la universidad. En el inciso 2.2.3 de Métodos, se detalla cada ensayo con sus respectivos equipos y la precisión que requiere el mismo, de manera genérica a continuación se presenta una lista con los principales componentes usados en las pruebas de laboratorio.

- Balanza.
- Horno para materiales.
- Recipientes o envases
- Fiola de 1000 ml.
- Tamices o mallas estandarizadas.
- Mezcladora de concreto
- Moldes metálicos con volumen de 0.0093 m³ y varilla compactadora
- Moldes cilíndricos para probetas de concreto de 15cm x 30cm.
- Prensa de prueba de compresión
- Reglas y Vernier

El procesamiento y análisis de datos se realizó con los protocolos de ensayos de la Universidad Privada del Norte, son fichas de control con tablas para llenar y procesar los datos obtenidos, también describen los procedimientos del ensayo basándose en las normas técnicas NTP, Manual de Ensayos de Materiales y AASHTO.

2.2.3. Métodos

El diseño de los testigos se efectuó para un esfuerzo a compresión de 210 kg/cm², por ser la resistencia más utilizada en el cálculo estructural de viviendas y estructuras de mediana importancia, la mezcla de concreto se preparó sin aire incorporado ni aditivo, cemento Portland tipo I de la cementera Pacasmayo y los agregados fueron extraídos de la cantera “Jesús La Nonga”.

Se usaron los métodos del American Concrete Institute (ACI), Walker y Módulo de Fineza de la Combinación de los Agregados para calcular la dosificación del concreto. "La selección de las proporciones del concreto involucra un balance entre economía y requerimientos de plasticidad, fuerza, durabilidad, densidad y apariencia" (ACI 211.1-91,2002, pág. 2).

Los parámetros o condiciones iniciales de las propiedades de los materiales afectan los resultados de dosificación de cada método, como paso previo a cualquier fase del cálculo de la dosificación, es necesario conocer las características del agregado, cemento, situación del clima, propiedades del terreno en contacto, grado de consistencia de la mezcla, entre otros; sin esta información inicial es imposible estimar las cantidades que la mezcla de concreto requiere de cada material. Las propiedades físicas y mecánicas del agregado son calculadas mediante ensayos de laboratorio, mientras que, las condiciones de terreno, clima y demás dependen de un análisis de la situación in situ. Para la investigación se ha considerado que las condiciones de clima

son normales y no requieren la adición de aire, que el terreno no tiene cloruros y por lo tanto no se necesita añadir algún aditivo, que la consistencia del concreto será plástica (slump de 3" a 4") y que se contó con canteras de agregado grueso con tamaños máximos nominales de 3/4", 1/2" y 3/8". Los parámetros físicos y mecánicos de los agregados se presentan en la sección 3.1. de *Ensayos de agregados (fino y grueso)* en el capítulo III. Resultados.

Ubicación y tipo de cantera

Los agregados fueron adquiridos de la cantera "Jesús La Nonga", extrae sus agregados del río Cajamarquino en el distrito de Jesús provincia de Cajamarca.



Figura 2. Ubicación de la cantera "Jesús La Nonga". Punto de extracción del agregado, distrito de Jesús a 40 minutos de la ciudad de Cajamarca. Fuente: Imagen satelital de Google Maps.

En Cajamarca cuenta con 02 centros de distribución en de la zona urbana. El agregado fino y agregado grueso de 3/4" fue tomado del almacén ubicado en la avenida

Industrial (como referencia, de la esquina de la Av. Industrial y Vía de Evitamiento Sur media cuadra en dirección al Hospital Regional de Cajamarca) y del segundo almacén (Jr. Jorge Chávez 460, referencia, altura de la cuadra 10 de La Paz) agregado grueso con tamaño máximo nominal de 1/2".

En Cajamarca no es comercial el agregado grueso de 3/8", la cantera distribuye agregado grueso de 1/2" y 3/4", para la investigación una vez realizada la extracción del material se tamizó agregado de 1/2" para obtener el tamaño de 3/8".

Ensayos realizados y referencias normativas

Mediante ensayos de laboratorio de determinaron algunas propiedades mecánicas y físicas del concreto, así como los parámetros de diseño del agregado grueso y fino según los requerimientos de cada método; las pruebas fueron realizadas respetando los equipos, muestreos y procedimientos descritos en la Norma Técnica Peruana y en el Manual de Ensayo de Materiales, pero adicionalmente se tomaron en consideración normas internacionales.

Tabla 1.

Ensayos y referencias normativas.

| Ensayo | Normativa |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| Muestreo de materiales | MTC E201 – NTP 400.010 – ASTM D3665 |
| Reducción de muestra de campo | MTC E103 – ASTM C702 |

Agregado fino

| | |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| Análisis granulométrico | MTC E204 – NTP 400.012 – ASTM C136 |
| Peso unitario seco | MTC E203 – NTP 400.017 – ASTM C29 |
| Gravedad específica y absorción | MTC E205 – NTP 400.022 – ASTM C128 |
| Contenido de humedad | MTC E108 – NTP 339.127 – ASTM D2216 |

Agregado grueso

| | |
|-------------------------|------------------------------------|
| Análisis granulométrico | MTC E204 – NTP 400.012 – ASTM C136 |
|-------------------------|------------------------------------|

| | |
|-----------------------------|-------------------------------------|
| Peso unitario seco | MTC E203 – NTP 400.017 – ASTM C29 |
| Peso específico y absorción | MTC E206 – NTP 400.021 – ASTM C127 |
| Contenido de humedad | MTC E108 – NTP 339.127 – ASTM D2216 |

Concreto

| | |
|---|------------------------------------|
| Elaboración y curado de especímenes de concreto | MTC E702 – NTP 339.183 – ASTM C192 |
| Asentamiento del concreto | MTC E705 – NTP 339.035 – ASTM C143 |
| Peso unitario | MTC E714 – NTP 339.046 – ASTM C138 |
| Resistencia a la compresión | MTC E704 – NTP 339.034 – ASTM C39 |

Ensayos realizados al agregado fino, grueso y concreto en estado fresco y endurecido con su normativa respectiva, MTC del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, NTP de la Norma Técnica Peruana y ASTM de la American Society for Testing and Materials [Sociedad Americana para Pruebas y materiales].

Muestreo de material (Agregados)

Antes de ejecutar un ensayo de laboratorio se debe realizar 02 muestreos del material, el primero llamado muestra de campo y el segundo muestra de ensayo, el procedimiento que se lleva a cabo en cada uno tiene como finalidad ensayar una muestra representativa de todo el lote del material en campo. Las muestras de ensayo dependen de la prueba que se planea realizar, las cantidades y procedimiento de extracción son detalladas en su normativa, por otro parte, la muestra de campo es única, las normas peruanas que indican el procedimiento de extracción del material son MTC E201 y NTP 400.010.

Tabla 2.

Cantidades mínimas aproximadas para la extracción de muestras de campo.

| Tamaño máximo nominal del agregado | Masa mínima aproximada para la muestra de campo (kg) |
|---|---|
| Agregado fino | |
| 2.36 mm | 10 |
| 4.76 mm | 10 |
| Agregado grueso | |
| 9.50 mm | 10 |
| 12.50 mm | 15 |
| 19.00 mm | 25 |
| 25.00 mm | 50 |
| 37.50 mm | 75 |
| 50.00 mm | 100 |
| 63.00 mm | 125 |
| 75.00 mm | 150 |
| 90.00 mm | 175 |

Valores tentativos, la cantidad de masa prevista debe ser estimada para cada poder cumplir con las mínimas masa de muestra por ensayo. Adaptado de: Manual de Ensayos de Materiales, 2016.

Para la **muestra de campo** se extrajo material de diferentes puntos aleatoriamente por todo el perímetro del montículo, evitando las zonas de suelo – agregado a fin de no contaminar la muestra. En total se retiró aproximadamente 5 latas de agregado para fino y para cada TMN de agregado grueso, la masa mínima aproximada de muestra está marcada en la Tabla 2.

El objetivo de obtener una **muestra de ensayo** es reducir la cantidad de muestra de campo sin que pierda su valor representativo del lote de material, las cantidades mínimas están terminadas en la normativa del ensayo. El procedimiento de obtención se llama “cuarteo”, la norma MTC E103 señala 03 métodos posibles de

realizarlo (01 mecánico y 02 manuales), durante las pruebas de laboratorio realizadas se optó por usar en combinación los métodos B y C. El método B consiste en formar una figura cónica con la muestra mediante la ayuda de una pala, cucharón o badilejo, se suelta el material desde la parte superior del cono dejando que esta se esparza uniformemente por todo el perímetro de la figura, posteriormente se aplasta el cono desde la parte superior formando una plataforma del material con forma circular para luego repetir el procedimiento ya mencionado mínimamente 03 veces, en seguida, se divide la masa con forma circular diametralmente en 04 lados iguales aproximadamente, se extraen 2/4 opuestos del material dejando la masa restante para repetir el procedimiento hasta llegar a la cantidad de muestra necesaria para el ensayo.



Figura 3. Cuarteo de material por el método C de la norma MTC E103. En la figura se muestran fotografías del procedimiento de cuarteo realizado durante la investigación. Fuente: Adaptado del Manual de Ensayos de Materiales, 2016.

El método C es similar al método B con la diferencia de que la mezcla del material para formar la masa cónica se realiza por volteo repetitivo, durante los ensayos se utilizó un plástico grueso de 2 m² como base para colocar encima el agregado y conseguir el volteo repetitivo jalando las puntas del plástico.

Durante el proceso de cuarteo se tuvo cuidado de no tener pérdidas de finos, el agregado fino mantuvo una humedad mayor a la del ambiente (humedad libre), se escogió una superficie plana, dura y limpia para realizar el ensayo.

Ensayos para agregado fino

A. Análisis granulométrico

A través de esta prueba el árido es separado en fracciones de tamaños iguales mediante tamices (mallas con aberturas estandarizadas). Los resultados permiten determinar la distribución de tamaños de las partículas, para que el agregado sea aceptado debe cumplir con límites mínimos y máximos exigidos por la norma, vale mencionar que en algunos casos se aprueba el uso de un agregado a pesar de que este no cumpla los requisitos de las especificaciones técnicas, las razones de su uso son justificadas por los profesionales encargados de la obra.

Los equipos y materiales usados durante el ensayo son los siguientes:

- Balanza: Con aproximación de 0.1 g y sensibilidad de 0.1% tal como indica le manual del MTC para agregado fino.
- Estufa: Horno eléctrico configurado para mantenerse a temperaturas constantes de 110 ± 5 °C.
- Tamices: Para agregado fino se usaron las mallas mostradas en la siguiente tabla.

Tabla 3.

Tamices usados para ensayo de Análisis granulométrico de agregado fino.

| Malla o tamiz | Abertura normada |
|---------------|------------------|
| N° 04 | 4.75 mm |
| N° 08 | 2.38mm |
| N° 16 | 1.19mm |
| N° 30 | 595um |
| N° 50 | 297um |
| N° 100 | 149um |
| N° 200 | 74um |

Denominación y abertura de tamiz equivalente, fuente: Tecnología del concreto Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas Tomo1 (ASOCRETO, p. 67)

Se ensayaron 03 muestras aleatorias y se siguió el procedimiento esquematizado en el Anexo n° 02 B) *GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO*

B. Peso Unitario Seco

Mediante este ensayo se determina la relación masa/volumen (sin eliminación de vacíos) del agregado, el valor obtenido es usado en el cálculo de dosificación de las mezclas de concreto.

Los equipos y materiales usados durante el ensayo son los siguientes:

- Balanza: Con graduación de 0.1 g y exactitud dentro del 0.1% de la carga de ensayo.
- Varilla apisonadora: Varilla lisa de acero de Ø 16 mm y de 60 cm de longitud

- Recipiente: Molde cilíndrico de 0.0093 m^3 (diámetro de 20cm y altura de 29.5cm)
- Cucharón: Cuchara metálica de gran tamaño para colocar muestra en el molde.

Se realizaron 03 repeticiones para cada tipo de ensayo, suelto y compactado, la muestra se obtuvo mediante cuarteo y se secó al sol durante 03 días seguidos. Esquema de procedimiento en el Anexo n° 03.

C. Gravedad específica y Absorción

El valor de gravedad específica representa la relación masa/volumen (con eliminación de vacíos) y la absorción permite conocer la cantidad de agua que es capaz de absorber el agregado, el agua almacenada en los poros del árido no es aprovechable por la mezcla de concreto afectando su trabajabilidad y consistencia. Ambos valores son fundamentales en el cálculo de las proporciones de los materiales en las mezclas de concreto.

Los equipos y materiales usados durante el ensayo son los siguientes:

- Balanza: Con precisión de 0.1% de la carga de ensayo y sensibilidad de 0.1g.
- Picnómetro: Contenedor con marca de volumen conocido, para la investigación se usó una fiola de 1000 ml.
- Molde y barra compactadora para ensayos superficiales de humedad: Molde metálico con forma de un tronco cono y barra metálica de 340 g aproximadamente.
- Estufa: Horno eléctrico para secar muestra a temperatura constante de $110 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$.

- Embudo: Instrumento que sirve de canalización.
- Secadora: Secadora de cabello con configuración de aire frío.
- Termómetro: Instrumento de medición de la temperatura con precisión de 0.1 °C.

Se obtuvo por cuarteo 03 muestras para 03 repeticiones del ensayo, cada una con aproximadamente 1 kg de material, se presenta el procedimiento del ensayo en el Anexo n° 04.

D. Contenido de humedad

Con este ensayo se determina la cantidad de agua acumulada en humedad que se encuentra en el agregado, su valor permite hacer una corrección del volumen unitario de agua calculado en la dosificación de la mezcla.

Los equipos y materiales usados durante el ensayo son los siguientes:

- Recipientes: También llamados taras, son moldes para colocar el agregado.
- Horno de secado: Horno eléctrico para secar muestras a una temperatura constante de $110\text{ °C} \pm 5\text{°C}$.
- Balanza: Equipo de medición de pesos, precisión de 0.1 g

Se realizaron 05 repeticiones del ensayo, la muestra se obtuvo aleatoriamente del lote de material, en ningún caso la masa total de ensayo bajó de 500 g. Se presenta el esquema del procedimiento en el Anexo n° 05.

Ensayos para agregado grueso

A. Análisis granulométrico

Determinar la distribución granulométrica del agregado grueso resulta importante no solo para elaborar el diseño de mezcla, sino también, para evaluar

unas series de consideración constructivas como: la capacidad del equipo, dimensiones de los elementos de construcción, espacio disponible entre aceros de refuerzos, entre otros. Mamlouk y Zaniewski (2009, p. 181).

La normativa del ensayo es la misma tanto para agregado grueso como para agregado fino, la metodología de la prueba es similar para ambos casos.

Los equipos y materiales usados durante el ensayo son los siguientes:

- Balanza: Con aproximación de 0.1 g y sensibilidad de 0.1% tal como indica le manual del MTC para agregado fino.
- Estufa: Horno eléctrico configurado para mantenerse a temperaturas constantes de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Tamices: Para agregado fino se usaron las mallas mostradas en la siguiente tabla.

Tabla 4.

Tamices usados para ensayo de Análisis granulométrico de agregado grueso.

| Malla o tamiz | Abertura normada |
|---------------|------------------|
| 1" | 25.4 mm |
| 3/4" | 19.0 mm |
| 1/2" | 12.7 mm |
| 3/8" | 9.51 mm |
| N°04 | 4.75 mm |

Denominación y abertura de tamiz equivalente, fuente: Tecnología del concreto Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas Tomo1 (ASOCRETO, p. 67)

Se ensayaron 03 repeticiones para cada tipo de agregado grueso (TMN de 3/8", 1/2" y 3/4"), la muestra se obtuvo por cuarteo siguiendo las condiciones y metodologías la norma MTC E 103, así mismo, se respetó la cantidad mínima de muestra que se exige para este ensayo según el tamaño de las partículas.

Tabla 5.

Pesos mínimos de muestra para ensayo de granulometría de agregado grueso.

| Tamaño Máximo Nominal Abertura Cuadrada | | Cantidad mínima de muestra de ensayo |
|---|---------|--------------------------------------|
| mm | (pulg) | kg |
| 9.5 | (3/8) | 1 |
| 12.5 | (1/2) | 2 |
| 19.0 | (3/4) | 5 |
| 25.0 | (1) | 10 |
| 37.5 | (1 1/2) | 15 |
| 50.0 | (2) | 20 |
| 63.0 | (2 1/2) | 35 |
| 75.0 | (3) | 60 |
| 90.0 | (3 1/2) | 100 |
| 100.0 | (4) | 150 |
| 125.0 | (5) | 300 |

Tabla con pesos mínimos para cada TMN del material. Adaptado de: Manual de Ensayos de Materiales, 2016.

En el Anexo n° 02 se presenta el esquema con la metodología del ensayo.

B. Peso Unitario Seco

La metodología del ensayo es idéntica para agregado grueso y fino.

Los equipos y materiales usados durante el ensayo son los siguientes:

- Balanza: Con graduación de 0.1 g y exactitud dentro del 0.1% de la carga de ensayo.
- Varilla apisonadora: Varilla lisa de acero de Ø 16 mm y de 60 cm de longitud
- Recipiente: Molde cilíndrico de 0.0093 m³ (diámetro de 20cm y altura de 29.5cm)

- Cucharón: Cuchara metálica de gran tamaño para colocar muestra en el molde.

Se realizaron 03 repeticiones para cada tipo de TMN del agregado, la metodología del ensayo se presenta en el Anexo n° 03

C. **Peso específico y absorción**

El peso específico es equivalente a la gravedad específica del agregado fino, una relación entre la masa del material y la masa de agua que ocupa el mismo volumen del agregado.

El concepto de absorción es el mismo descrito en el apartado de agregado fino.

Los equipos y materiales usados durante el ensayo son los siguientes:

- Balanza: Instrumento para la medición de pesos, sensible a 0.1 g
- Cesta de alambre: Recipiente con aberturas correspondientes al tamiz n° 06.
- Depósito de agua: Recipiente grande lleno con agua.
- Tamiz: Malla n° 04 (4.75 mm)
- Estufa: Horno eléctrico a temperatura constante de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Trapo: Pedazo de tela para secar el material y llevarlo a la condición de SSS.

Se muestra el esquema del procedimiento en el Anexo n° 06.

Tabla 6.

Pesos mínimos de muestra para ensayo de Peso específico.

| Tamaño Máximo Nominal, mm (pulg) | Peso Mínimo de la Muestra de Ensayo, kg (lb) |
|-------------------------------------|---|
| 12.5 (1/2) o menos | 2 (4.4) |
| 19.0 (3/4) | 3 (6.6) |
| 25.0 (1) | 4 (8.8) |
| 37.5 (1 1/2) | 5 (11) |
| 50.0 (2) | 8 (18) |
| 63.0 (2 1/2) | 12 (26) |
| 75.0 (3) | 18 (40) |
| 90.0 (3 1/2) | 25 (55) |
| 100.0 (4) | 40 (88) |
| 112.0 (4 1/2) | 50 (110) |
| 125.0 (5) | 75 (165) |
| 150.0 (6) | 125 (276) |

Según el TMN de las partículas la norma del MTC presenta los pesos mínimos de muestra para tener resultados representativos. Adaptado de: Manual de Ensayo de Materiales, 2016.

D. Contenido de humedad

Los equipos y materiales usados durante el ensayo son los siguientes:

- Recipientes: También llamados taras, son moldes para colocar el agregado.
- Horno de secado: Horno eléctrico para secar muestras a una temperatura constante de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Balanza: Equipo de medición de pesos, precisión de 0.1 g

Se realizaron 05 repeticiones del ensayo para cada condición de TMN, la muestra se obtuvo aleatoriamente del lote de material respetando la masa mínima recomendada por el Manual de Ensayo de Materiales. Ver Anexo n° 05.

Tabla 7.

Pesos mínimos de muestra para ensayo de Contenido de humedad.

| Máximo tamaño nominal del agregado mm (pulgadas) | Masa mínima de la muestra de agregado de peso normal en kg |
|--|--|
| 4.75 (0.187) (N°4) | 0.50 |
| 9.5 (3/8) | 1.50 |
| 12.5 (1/2) | 2.00 |
| 19.0 (3/4) | 3.00 |
| 25.0 (1) | 4.00 |
| 37.5 (2 1/2) | 6.00 |

Masa mínima húmeda para ensayo de Contenido de humedad. Adaptado de: Manual de Ensayo de materiales, 2016.

Ensayos para concreto en estado fresco

A. Elaboración y curado de especímenes de concreto

El procedimiento para elaborar probetas de concreto cambia según las condiciones de estudio, no es igual si la extracción de la mezcla es realizada in situ durante la ejecución de una obra o si se realizará bajo control en un laboratorio. Para el desarrollo de la investigación se siguió el procedimiento de elaboración en laboratorio tal cual lo indicado en la normativa de ensayo.

Los equipos y materiales usados durante el ensayo son los siguientes:

- Probetas: Moldes cilíndricos de acero de alta resistencia.
- Varilla compactadora: Barra de acero cilíndrica con diámetro de 16 mm y 60 cm de longitud.
- Martillo: Martillo de caucho de aproximadamente 570 g.
- Vibrador externo: Mesa vibradora con frecuencia de 3600 rpm aproximadamente.

El procedimiento de mezclado fue realizado con máquina mezcladora; primero se humedeció la mezcladora a fin de que no absorba el agua de la dosificación, posteriormente se añadió el agregado grueso con parte del agua de la mezcla, se dejó que el agregado absorba parte del agua añadida para luego colocar el agregado fino, cemento Portland y el agua restante en las proporciones adecuadas según el diseño de mezclas, se dejó mezclar durante aproximadamente 3 min después de colocar todos los materiales, al finalizar la mezcla se dejó el concreto en una carretilla limpia y húmeda para realizar los ensayos en estado fresco.

Con la mezcla aprobada por los ensayos de asentamiento y temperatura se llenaron las probetas cilíndricas en 03 capas de 1/3 de altura cada una y se compactó con la varilla dando un total de 25 golpes/capa uniformemente repartidos sin pasar de una capa a la otra y sin tocar el fondo del recipiente, tras 16 horas de fraguado se retiraron las probetas de los moldes cilíndricos para ser curados con agua potable por 28 días, cada muestra se etiquetó colocando su método de diseño y TMN del agregado grueso empleado.

B. Asentamiento del concreto

Mediante este ensayo se mide la consistencia del concreto, según el diseño de mezclas esta puede ser plástica, seca o fluida; esta prueba es un indicador de la trabajabilidad del concreto.

Los equipos y materiales usados durante el ensayo son los siguientes:

- Molde: Molde metálico con forma de tronco cono, llamado cono de Abrams.

- Varilla compactadora: Barra de acero cilíndrica con diámetro de 16 mm y 60 cm de longitud.

Se realizó un ensayo de asentamiento para cada diseño de mezcla con combinación de TMN del agregado, si la prueba no pasaba hubiera sido necesario replantear la cantidad de agua en la mezcla. Se presenta un esquema del procedimiento en el Anexo n° 07.

C. Peso Unitario del concreto

Los resultados del ensayo permiten estimar el rendimiento de la mezcla, así como, el contenido de cemento y aire del concreto.

Los equipos y materiales usados durante el ensayo son los siguientes:

- Balanza: con precisión de aproximadamente 0.3% de la carga de ensayo.
- Molde: Recipiente cilíndrico de acero con volumen normado
- Varilla compactadora: Barra de acero cilíndrica con diámetro de 16 mm y 60 cm de longitud.
- Martillo: Martillo de cuero con masa de aproximadamente 600 g.

Se realizó 03 repeticiones para cada caso de diseño, el esquema del procedimiento se presenta en el Anexo n° 08.

Ensayos para concreto en estado endurecido

A. Resistencia a la compresión de testigos cilíndricos

Para el propósito de la investigación se ensayaron las probetas cilíndricas a los 28 días de curado que es cuando el concreto alcanza su máxima resistencia.

Los equipos y materiales usados durante el ensayo son los siguientes:

- Máquina de ensayo: Máquina con capacidad de ejercer una carga a velocidad constante, la norma ASTM E-4 da las verificaciones que el equipo debe seguir.
- Deformímetro: Instrumento que permite medir la deformación de un material al aplicarse una carga.

Se realizaron 63 ensayos, 07 probetas para cada combinación de método de diseño con TMN del agregado grueso. El esquema del procedimiento se presenta en el Anexo n° 09.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

El capítulo de resultados está orientado a mostrar las proporciones de los diseños de mezclas, los ensayos de validación de probetas, resistencias máximas alcanzadas por cada método, tipos de fallas presentadas en el rompimiento de los testigos cilíndricos y evaluación de costos en función del rendimiento de la mezcla. La presentación de los resultados permite llegar a las conclusiones de la investigación.

Los promedios en los resultados presentados no incluyen a los datos o valores fuera de los rangos de desviación estándar estipulados en la normativa o manual del ensayo para un solo operador con 02 repeticiones. En el apartado de anexos se presentan los datos de cada repetición por ensayo realizado en laboratorio.

3.1. Ensayos de agregados (fino y grueso)

Se presentan las condiciones de diseño por parte de los agregados grueso y fino. Los detalles del procesamiento de datos se presentan en los Anexos.

Tabla 8.

Resultados de los ensayos para el agregado grueso.

| PARÁMETRO | UND | AGREGADO GRUESO | | |
|-------------------------------|--------------------|-----------------|----------|----------|
| | | TMN 3/4" | TMN 1/2" | TMN 3/8" |
| Módulo de finura | | 6.69 | 6.27 | 5.95 |
| Peso unitario compactado | kg/m ³ | 1453.41 | 1476.34 | 1522.22 |
| Peso unitario suelto | kg/m ³ | 1367.38 | 1398.21 | 1450.90 |
| Peso específico aparente seco | gr/cm ³ | 2.55 | 2.54 | 2.53 |
| Peso específico aparente SSS | gr/cm ³ | 2.59 | 2.59 | 2.58 |
| Peso específico nominal seco | gr/cm ³ | 2.69 | 2.67 | 2.63 |
| Absorción | % | 1.763 | 1.866 | 1.951 |
| Contenido de humedad | % | 1.578 | 1.529 | 2.001 |

Resumen de los resultados promedio de los ensayos realizados para el agregado grueso, para diseño se usó el módulo de finura, peso unitario compactado, peso específico aparente seco, absorción y contenido de humedad.

Tabla 9.

Resultados de los ensayos para el agregado fino.

| PARÁMETRO | UND | AGREGADO FINO |
|-------------------------------|--------------------|---------------|
| Módulo de finura | | 2.72 |
| Peso unitario compactado | kg/m ³ | 1816.85 |
| Peso unitario suelto | kg/m ³ | 1673.84 |
| Peso específico aparente seco | gr/cm ³ | 2.59 |
| Peso específico aparente SSS | gr/cm ³ | 2.65 |
| Peso específico nominal seco | gr/cm ³ | 2.74 |
| Absorción | % | 2.053 |
| Contenido de humedad | % | 2.556 |

Resumen de los resultados promedio de los ensayos realizados para el agregado fino, para diseño se usó el módulo de finura, peso unitario compactado, peso específico aparente seco, absorción y contenido de humedad.

3.2. Diseño de mezcla.

Los diseños se realizaron siguiendo los pasos descritos en el libro “*Diseño de mezclas*” de Enrique Rivva Lopez, para las dosificaciones del método ACI se utilizó las tablas del comité 211 (ACI 211.1-91), por su parte, los métodos Walker y Módulo de Finura se desarrollaron con las tablas de porcentaje de agregado fino y módulo de fineza combinado respectivamente, siguiendo el resto de procedimientos con las tablas del comité 211.

En el apartado de anexos se presentan los diseños de mezclas utilizados en laboratorio aprobados por el Ing. Gabriel Cachi Cerna.

Tabla 10.

Resultados de los diseños de mezclas.

| METODO | TMN | CEMENTO (kg/m ³) | AGREGADO FINO (kg/m ³) | AGREGADO GRUESO (kg/m ³) | AGUA (lt/m ³) |
|---------------------|------|---------------------------------|---------------------------------------|---|---------------------------|
| ACI | 3/4" | 364.10 | 802.03 | 915.47 | 213.65 |
| | 1/2" | 390.88 | 815.64 | 826.15 | 228.11 |
| | 3/8" | 412.29 | 869.68 | 714.44 | 234.94 |
| WALKER | 3/4" | 364.10 | 749.97 | 965.76 | 214.48 |
| | 1/2" | 390.88 | 847.26 | 795.74 | 227.57 |
| | 3/8" | 412.29 | 953.32 | 634.64 | 233.10 |
| MÓDULO DE FINEZA | 3/4" | 364.10 | 676.12 | 1037.09 | 215.65 |
| | 1/2" | 390.88 | 737.69 | 901.14 | 229.43 |
| | 3/8" | 412.29 | 853.87 | 729.52 | 235.28 |

La Tabla 10 muestra la dosificación en peso por unidad de volumen de los 03 métodos de diseño por cada TMN de estudio, los valores fueron corregidos por humedad.

Se presenta también la proporción de las mezclas según método de diseño y TMN del agregado grueso.

Tabla 11.

Proporción en peso de las mezclas de concreto.

| METODO | TMN DEL A. GRUESO | PROPORCIÓN (Cemento:Arena:Piedra:Agua) |
|------------------|----------------------|---|
| ACI | 3/4" | 1 : 2.20 : 2.51 : 24.94 lt/saco |
| | 1/2" | 1 : 2.09 : 2.11 : 24.80 lt/saco |
| | 3/8" | 1 : 2.11 : 1.73 : 24.22 lt/saco |
| WALKER | 3/4" | 1 : 2.06 : 2.65 : 25.03 lt/saco |
| | 1/2" | 1 : 2.17 : 2.04 : 24.74 lt/saco |
| | 3/8" | 1 : 2.31 : 1.54 : 24.03 lt/saco |
| MÓDULO DE FINEZA | 3/4" | 1 : 1.86 : 2.85 : 25.17 lt/saco |
| | 1/2" | 1 : 1.89 : 2.31 : 24.95 lt/saco |
| | 3/8" | 1 : 2.07 : 1.77 : 24.25 lt/saco |

La proporción en peso de los diseños fue determinada dividiendo el peso por volumen de cada material entre el del cemento.

Los agregados también presentan variaciones en sus proporciones al cambiar el TMN y método de diseño. En los gráficos mostrados a continuación, se observa que el porcentaje de agregado grueso disminuye conforme el TMN baja, es decir, tienen

una relación directamente proporcional. Además, es el método del Módulo de Fineza de la Combinación de los Agregados que mayor contenido de agregado grueso importa en su diseño, opuesto al método Walker, cuyo porcentaje de grueso y fino del total de la masa termina quedando a favor del agregado fino para los TMN de 1/2" y 3/8".

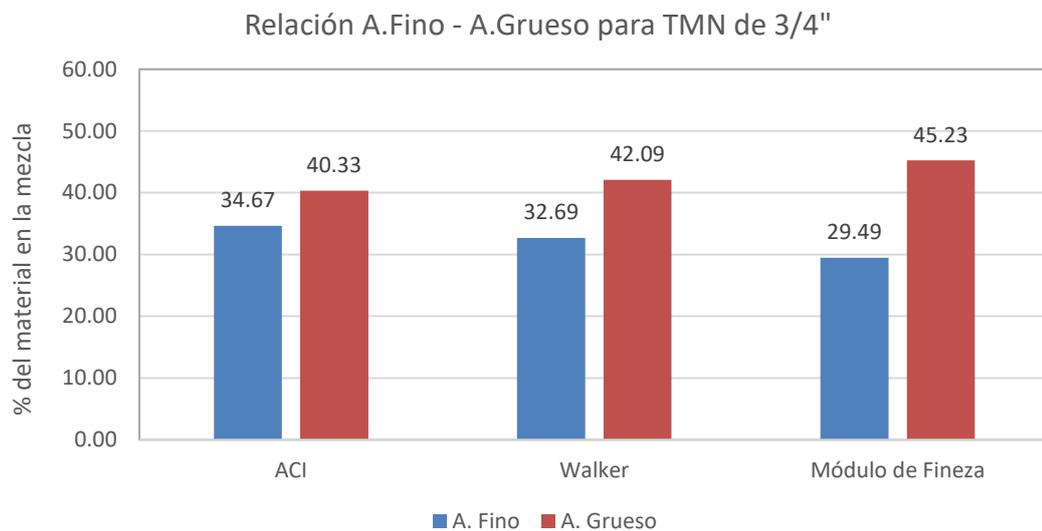


Figura 4. Porcentaje de grueso y fino para diseño con TMN de 3/4". Se muestran los porcentajes que los agregados ocupan del total de la mezcla de concreto sin corrección por humedad. Fuente: Elaboración propia.

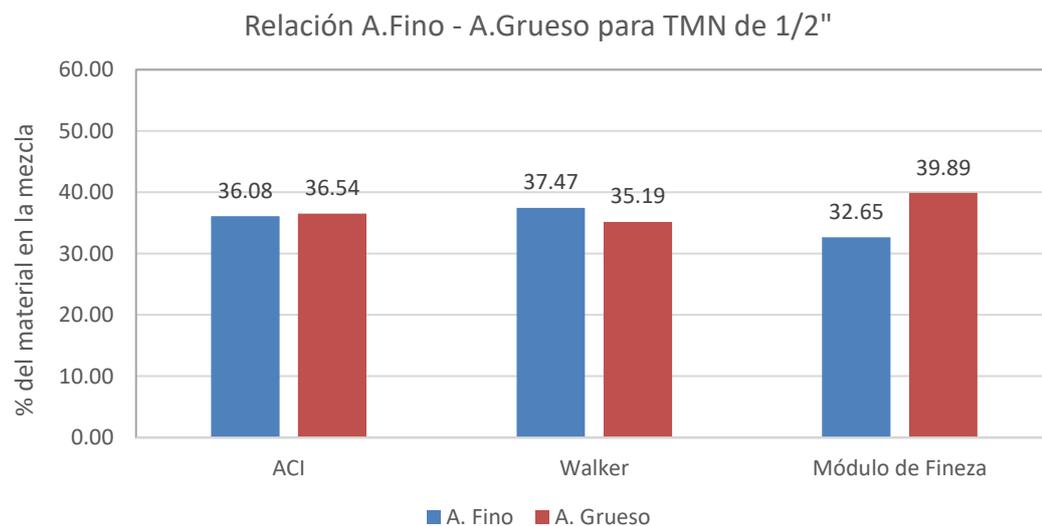


Figura 5. Porcentaje de grueso y fino para diseño con TMN de 1/2". Se muestran los porcentajes que los agregados ocupan del total de la mezcla de concreto sin corrección por humedad. Fuente: Elaboración propia.

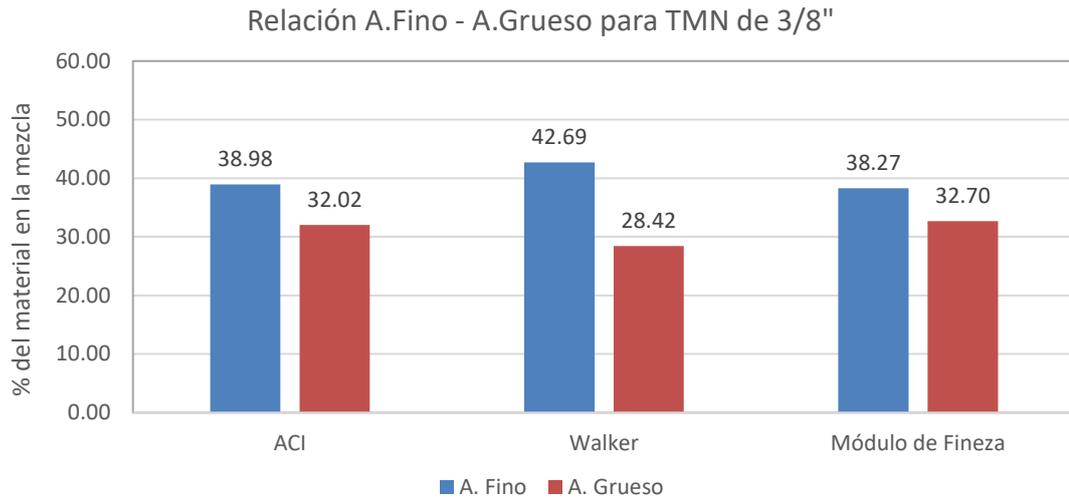


Figura 6. Porcentaje de grueso y fino para diseño con TMN de 3/8". Se muestran los porcentajes que los agregados ocupan del total de la mezcla de concreto sin corrección por humedad. Fuente: Elaboración propia.

3.3. Ensayos para aceptación de las probetas cilíndricas

Las dosificaciones de mezcla se han diseñado para un concreto de consistencia plástica (Slump de 3"- 4"), resultados fuera de los rangos permisibles indicarían que la cantidad de agua proporcionada al concreto sería insuficiente o excesiva, según las mediciones del ensayo de asentamiento del concreto. Si la mezcla ensayada no satisfacía los resultados de consistencia esta debía ser desechada para realizar una nueva con correcciones de humedad.

Tabla 12.

Resultados del ensayo de asentamiento de concreto (Slump).

| Método de diseño | Consistencia (pulgadas) | | |
|------------------|-------------------------|----------|----------|
| | TMN 3/4" | TMN 1/2" | TMN 3/8" |
| ACI | 3.09 | 3.98 | 3.54 |
| Walker | 3.03 | 3.31 | 3.78 |
| Módulo de Fineza | 2.72 | 3.03 | 3.11 |

Los resultados de plasticidad se encuentran dentro del rango de 2" a 5", por lo tanto, se aceptaron todos los diseños de mezclas para continuar con el resto de ensayos.

Así mismo, se controló que el concreto no presente sangrado o exudación midiendo la temperatura de la mezcla por aproximadamente 1 min hasta que se estabilizara.

Tabla 13.

Prueba de temperatura de la mezcla de concreto en estado fresco.

| Método de diseño | Temperatura (°C) | | |
|------------------|------------------|----------|----------|
| | TMN 3/4" | TMN 1/2" | TMN 3/8" |
| ACI | 22.50 | 22.70 | 21.10 |
| Walker | 21.80 | 21.50 | 23.30 |
| Módulo de Finura | 21.30 | 21.90 | 22.40 |

Se aceptaron los resultados de temperatura que presentaron las mezclas de concreto, llegando a la conclusión que el concreto no presentó exudación por rápida evaporación de agua.

Previo al ensayo de compresión de los testigos cilíndricos, también llamados probetas de concreto, se evaluó su perpendicularidad y variabilidad dimensional como se indica en la NTP 339.034, en las figuras 24 y 25 se muestran fotografías de los procedimientos. Cabe mencionar que todas las probetas pasaron estos controles.



Figura 7. Perpendicularidad de testigos cilíndricos. Se utilizó una regla escuadra para comprobar que la desviación del eje vertical. Fuente: Elaboración propia.



Figura 8. Variabilidad dimensional de testigos cilíndricos. Con un vernier de precisión 0.01 mm se comprobó que la diferencia entre diámetros sea menor de 2%. Fuente: Elaboración propia.

3.4. Resistencia a la compresión de los testigos cilíndricos.

La precisión del ensayo se encuentra en la norma NTP 339.034 (Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas), se establece un rango aceptable del coeficiente de variación de 7.8% para un ensayo en laboratorio con cilindros de 150 mm x 300 mm y concreto entre 17 MPa y 32 MPa.

Los resultados para los ensayos a compresión con un agregado grueso de tamaño máximo nominal de 3/4" arrojaron resistencias entre 293.51 kg/cm² y 347.95 kg/cm², el modelo formulado por el profesor Stanton Walker obtuvo el mayor valor promedio, alcanzando 13.35 kg/cm² y 21.89 kg/cm² más que los métodos ACI y Módulo de Finura respectivamente.

Tabla 14.

Esfuerzos de los de ensayos de compresión para TMN de 3/4".

| ID Probeta | ACI | Walker | Módulo de finura |
|---------------------------|--------|--------|------------------|
| P1 | 325.99 | 333.05 | 309.14 |
| P2 | 322.15 | 344.71 | 339.62 |
| P3 | 327.42 | 338.62 | 293.51 |
| P4 | 319.11 | 336.52 | 342.53 |
| P5 | 325.86 | 342.69 | 341.91 |
| P6 | 321.68 | 331.53 | 297.84 |
| P7 | 339.44 | 347.95 | 297.30 |
| Promedio | 325.95 | 339.30 | 317.41 |
| Coefficiente de Variación | 2.03% | 1.80% | 7.22% |

Resistencias o esfuerzos máximos de los ensayos realizados en laboratorio con probetas cilíndricas de 150mm x 300mm para concretos con agregado grueso de TMN de 3/4".

En el siguiente gráfico se muestran los resultados promedio de los 03 métodos de diseño de mezclas.

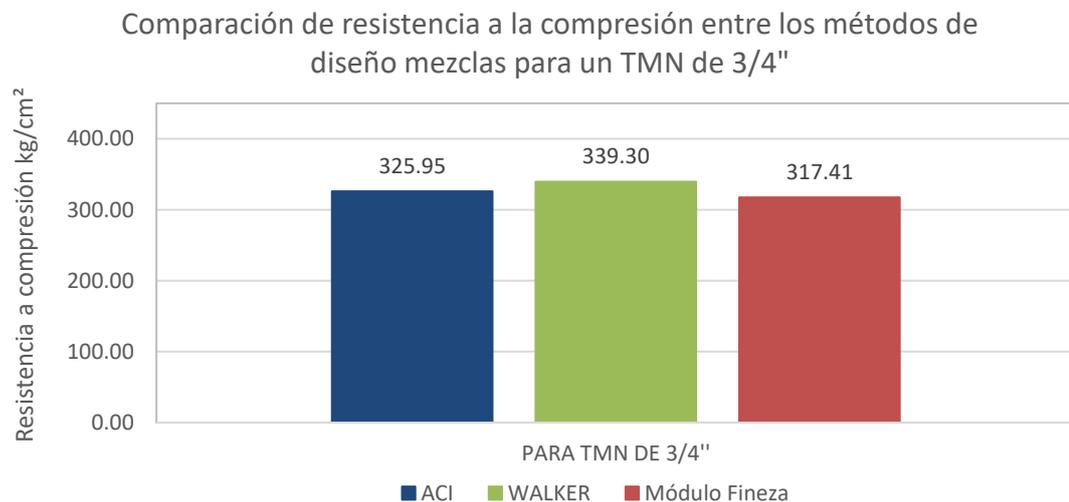


Figura 9. Resultados del ensayo a compresión para agregado grueso con TMN de 3/4".

Método Walker obtuvo la mayor resistencia a la compresión con 28 días de curado.

Fuente. Elaboración propia.

Por otra parte, en las pruebas de compresión para un agregado con TMN de 1/2" el método de diseño desarrollado por el comité 211 (ACI) alcanza mayores niveles de resistencia a los 28 días de curado, en comparación con el método Walker y Módulo de Finura, sobrepasando a ambos respectivamente por 26.69 kg/cm² y 9.30 kg/cm².

Tabla 15.

Esfuerzos de los de ensayos de compresión para TMN de 1/2".

| ID Probeta | ACI | Walker | Módulo de Finura |
|---------------------------|--------|--------|------------------|
| P1 | 415.30 | 367.89 | 394.14 |
| P2 | 390.87 | 352.01 | 388.49 |
| P3 | 411.74 | 369.27 | 388.99 |
| P4 | 384.65 | 367.04 | 389.19 |
| P5 | 405.15 | 372.23 | 378.16 |
| P6 | 377.41 | 386.99 | 398.93 |
| P7 | 407.38 | 390.25 | 389.54 |
| Promedio | 398.93 | 372.24 | 389.63 |
| Coefficiente de Variación | 3.65% | 3.48% | 1.62% |

Resistencias o esfuerzos máximos de los ensayos realizados en laboratorio con probetas cilíndricas de 150mm x 30mm para concretos con agregado grueso de TMN de 3/4".

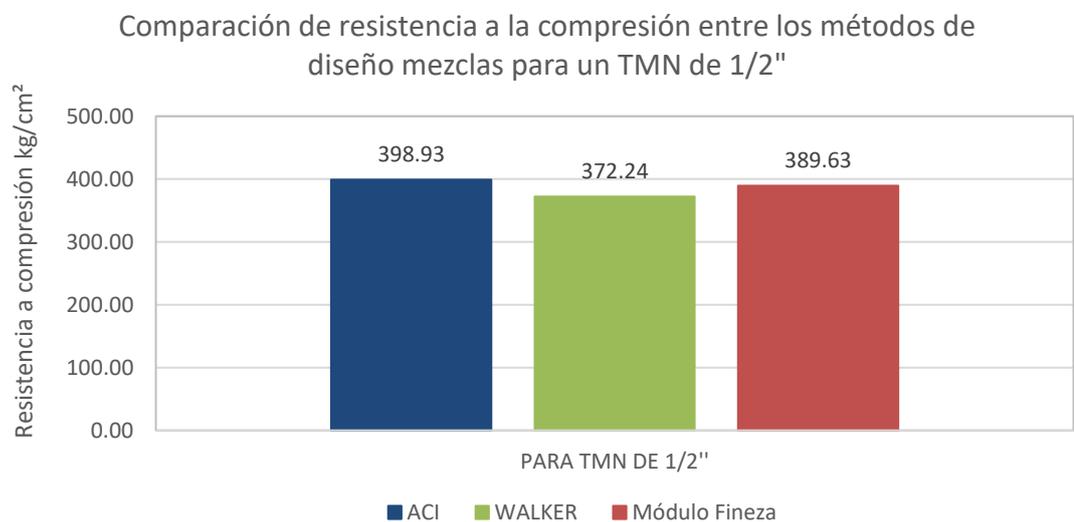


Figura 10. Resultados del ensayo a compresión para agregado grueso con TMN de 1/2". Método ACI obtuvo la mayor resistencia a la compresión con 28 días de curado.

Fuente. Elaboración propia.

Finalmente, en los ensayos a compresión con agregado de 3/8" se obtuvieron resistencias 394.75 kg/cm² y 460.96 kg/cm², siendo el método Walker el que desarrolló la resistencia promedio más alta, pasando al modelo de Módulo de Finura y ACI en 20.27 kg/cm² y 26.97 kg/cm² respectivamente.

Tabla 16.

Esfuerzos de los de ensayos de compresión para TMN de 3/8".

| ID Probeta | ACI | Walker | Módulo de Finura |
|---------------------------|--------|--------|------------------|
| P1 | 406.70 | 447.66 | 421.12 |
| P2 | 394.75 | 460.96 | 399.06 |
| P3 | 408.87 | 449.91 | 414.38 |
| P4 | 394.84 | 408.50 | 417.53 |
| P5 | 413.50 | 405.18 | 418.02 |
| P6 | 412.94 | 406.44 | 406.85 |
| P7 | 417.33 | 459.11 | 418.91 |
| Promedio | 406.99 | 433.97 | 413.70 |
| Coefficiente de Variación | 2.21% | 5.98% | 1.92% |

Resistencias o esfuerzos máximos de los ensayos realizados en laboratorio con probetas cilíndricas de 150mm x 30mm para concretos con agregado grueso de TMN de 3/8".

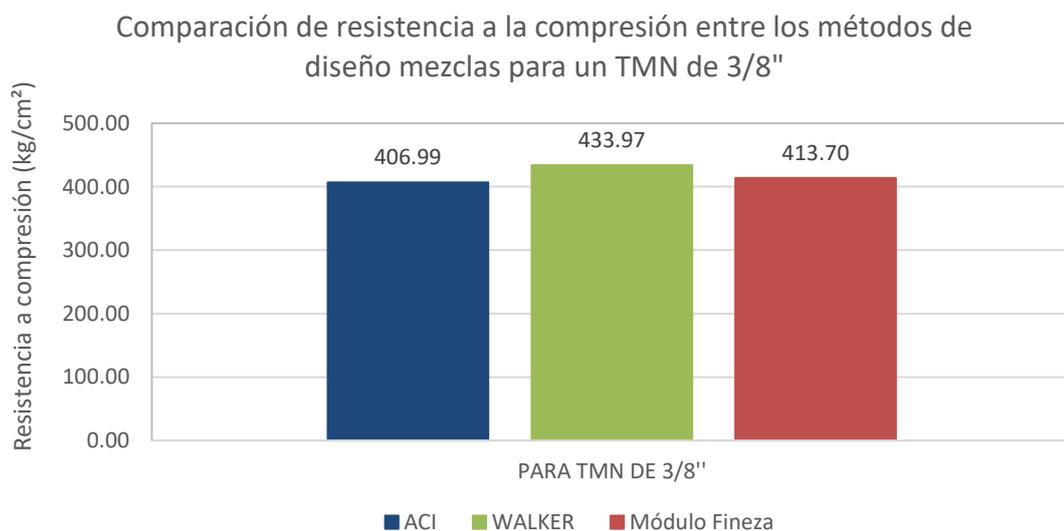


Figura 11. Resultados del ensayo a compresión para agregado grueso con TMN de 3/8". Método Walker obtuvo la mayor resistencia a la compresión con 28 días de curado. Fuente. Elaboración propia.

En la siguiente figura se muestra el resumen de los esfuerzos promedios alcanzados por cada método y TMN de agregado grueso.

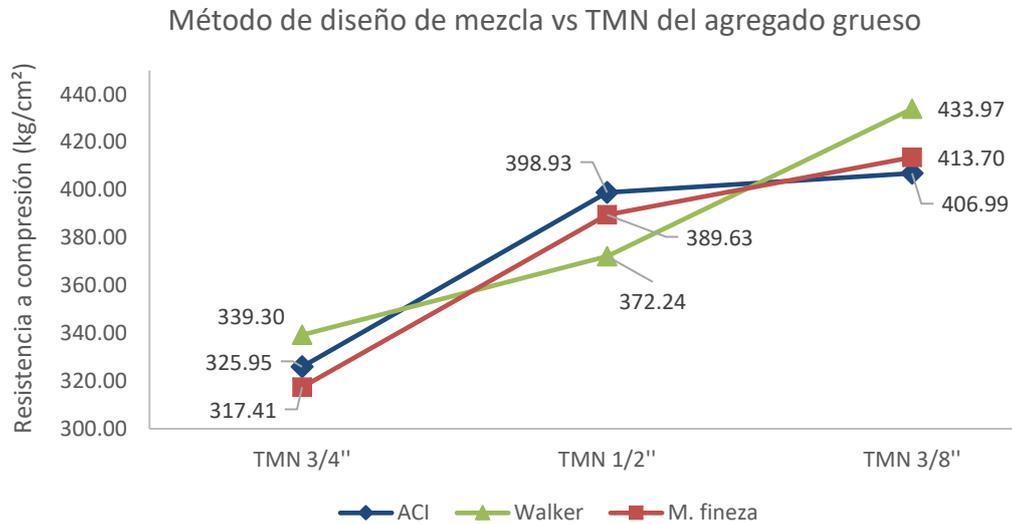


Figura 12. Resumen de esfuerzos promedios alcanzados. Se presentan los resultados para los TMN del agregado grueso y métodos de diseño. Fuente: Elaboración propia.

El modelo de diseño Walker ofrece mayores niveles de resistencia a compresión para agregados gruesos con tamaño máximo nominal de 3/4" y 3/8", por su parte, el método ACI desarrollado por el comité 211 alcanzó la resistencia más alta para un agregado con tamaño máximo nominal de 1/2".

3.5. Análisis de falla de las probetas cilíndricas

No se ha encontrado un patrón de falla específico en los métodos de diseño con combinación de tamaño máximo nominal del agregado, los diferentes tipos de falla en las probetas se han repetido casi con la misma proporción en todos los ensayos.



Figura 13. Tipo de falla de las probetas cilíndricas. Falla del tipo 2, 3, 4, 5 y 6; la línea roja marca la progresión de las grietas en cada probeta. Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, al examinar los pedazos de concreto desprendidos se puede observar que el agregado grueso mantiene su estructura, es decir, no presenta grietas o algún signo de rotura, en su lugar, la pasta se separó del agregado producto de los esfuerzos internos durante la prueba a compresión.



Figura 14. Unión Pasta - Agregado después del ensayo a compresión. La falla se presentó en la pasta de cemento y el agregado, Fuente: Elaboración propia.

3.6. Análisis de costos por materiales y rendimiento.

El porcentaje de los materiales que componen una mezcla de concreto se calculó como un promedio de los diversos diseños obtenidos por ACI, Walker y Módulo de Finura de la Combinación de los Agregados para cada tamaño máximo nominal estudiado.

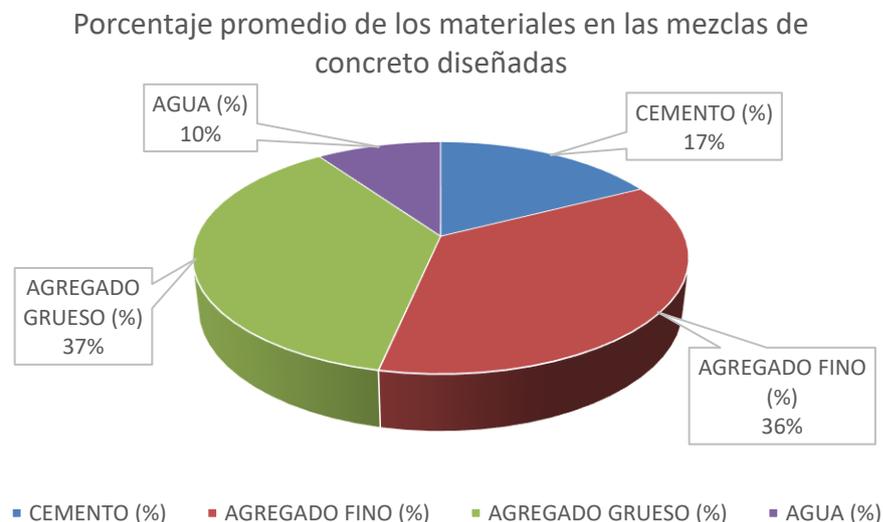


Figura 15. Porcentaje promedio de los materiales que conforman al concreto. Cálculo realizado en base a los distintos diseños de mezclas elaborados. Fuente: Elaboración propia.

Al relacionar el costo de cada material por su cantidad en una mezcla de concreto se obtiene la incidencia de los materiales del concreto según su costo.

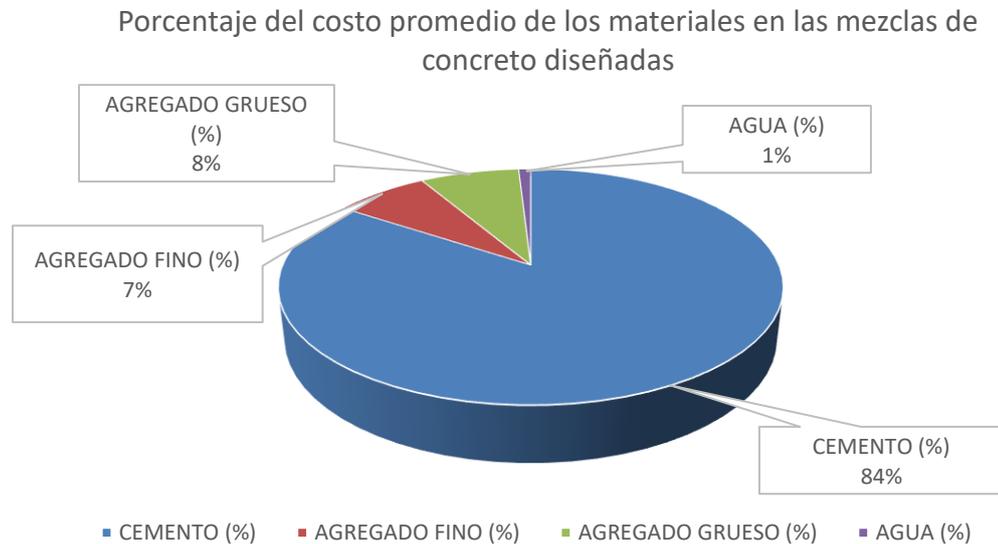


Figura 16. Incidencia de los materiales por su costo. Se consideraron los siguientes precios para la elaboración del esquema: Cemento S/ 20.00 la bolsa, Agregado fino y grueso S/ 50.00 el m³ y agua S/ 8.95 el m³. Fuente: Elaboración propia.

Tener un concreto con bajo porcentaje de cemento puede no significar un concreto más económico si su rendimiento (Peso unitario de diseño / Peso unitario real) es muy bajo, esto supondría que necesito mayor cantidad de materiales para llenar un cierto volumen, el ahorro inicial por la adquisición de material se perdería al necesitar comprar mucho más. Valores de rendimiento mayores a 1.00 indican una producción de concreto mayor a la diseñada, por otra parte, un valor menor a 1.00 señala que el volumen producido es menor al diseñado.

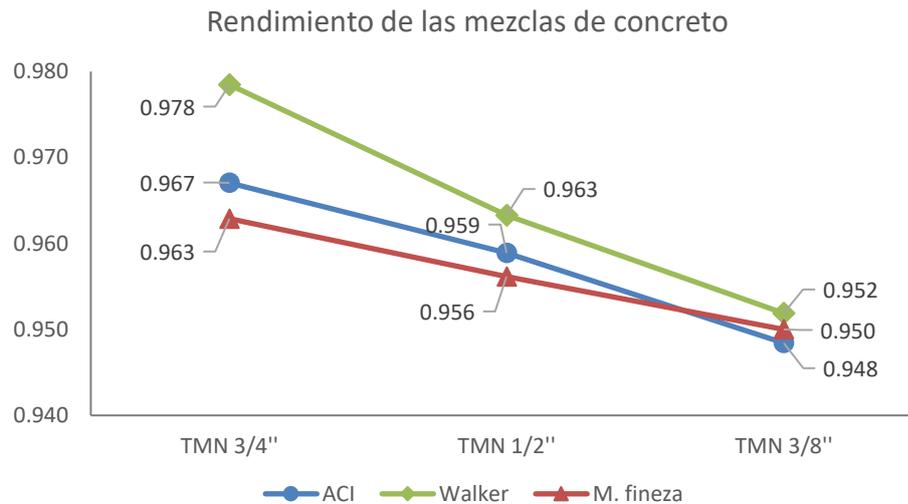


Figura 17. Rendimiento de las mezclas de concreto. La relación entre el tamaño del agregado grueso y el rendimiento del concreto es directamente proporcional, al disminuir el TMN se obtienen diseños de mezclas con mayor rendimiento. Fuente: Elaboración propia

El rendimiento se calculó con los datos tomados en laboratorio del peso unitario real de producción y el peso unitario arrojado por el diseño de mezclas. Se presenta a continuación los valores de los pesos unitarios.

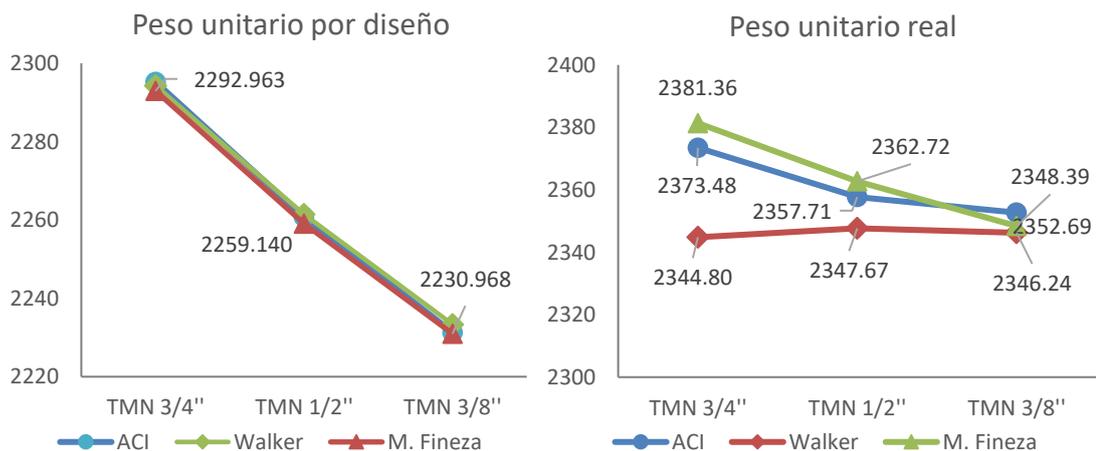


Figura 18. Peso unitario de diseño y real. El peso unitario de diseño para cada TMN es muy similar por cada método, en la gráfica se optó por colocar los valores de un solo modelo de diseño. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El capítulo IV de discusión y conclusiones está abocado a analizar y discutir los resultados obtenidos con los trabajos de investigación de otros autores con el fin de dar respuesta a las preguntas de investigación planteadas.

4.1. Discusión

Las limitaciones de la investigación se dan principalmente por casos de localidad, los resultados obtenidos no se pueden generalizar a todo el país por tratarse de materiales propios de la zona (cemento y agregados). Así mismo, una limitación parcial fue comparar los resultados obtenidos con estudios de otros autores, los casos de perfil, tamaño máximo nominal y zona de extracción de los agregados o tipo y calidad del cemento varían en cada ciudad. Aunque no sea posible compatibilidad en su totalidad cada caso o variable de los antecedentes no sería correcto eliminar la comparación entre resultados, esta es una herramienta que permite evaluar la investigación y corresponde a un procedimiento del método científico.

La relación w/c está en función del esfuerzo de diseño o resistencia promedio y el volumen unitario de agua en correlación con el TMN del agregado, es así, que para mezclas con menor tamaño de agregado grueso la demanda de cemento aumenta, si se mantienen las condiciones de la investigación mezclas con agregado de 1/2" requieren 1.073 veces mayor cantidad de cemento que una mezcla de 3/4" y concretos con agregado de 3/8" 1.055 veces mayor cantidad que una de 1/2". Morales (2017) concluyó que la mezcla desarrollada en su investigación requirió mayor cantidad de cemento con el agregado de TMN de 1/2" que con agregado de TMN de 1".

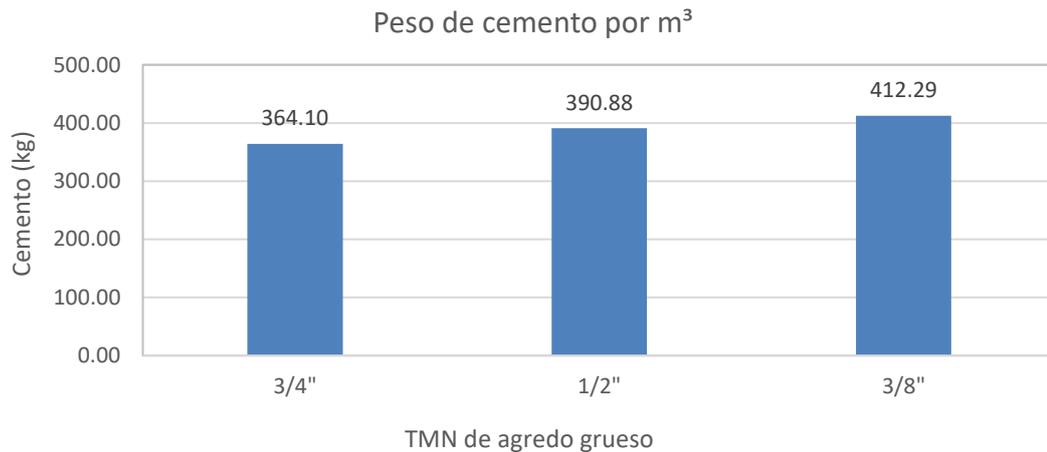


Figura 19. Demanda de cemento según TMN de agregado grueso. Se muestra la relación inversamente proporcional entre la demanda de cemento por diseño y el tamaño del agregado grueso. Fuente: Elaboración propia.

La necesidad de incorporar mayor cantidad de pasta se debe a que las partículas tienen menor rango de graduación (son más uniformes en su tamaño) y ante esta parcial uniformidad la cantidad de cemento tiene que aumentarse para mejorar la adherencia, cuando el TMN del agregado es elevado, el fino ocupa mejor el espacio entre las partículas del agregado grueso y el cemento se potencia como conglomerante.

Las dosificaciones entre métodos de diseño varían principalmente en las proporciones de los áridos, dado que el cómputo del volumen unitario de agua y del factor cemento se calculan de forma idéntica es lógico esperar mezclas con cantidades de pasta similares para un mismo TMN, en principio con un agregado grueso de 3/4" el porcentaje del mismo dentro del concreto es mayor que el porcentaje del fino dentro de la mezcla, por otra parte, con un TMN de 1/2" el porcentaje de los dos es muy parejo siendo el método ACI el que requiere prácticamente el mismo porcentaje de fino y grueso, la tendencia de aumentar el porcentaje de agregado fino en la mezcla conforme disminuye el TMN de los áridos gruesos se hace más evidente con un TMN de 3/8"

donde la cantidad de fino predomina sobre el grueso. Como se explicó en el inicio de esta sección, al disminuir el TMN los rangos de tamaños de las partículas gruesas también disminuyen, esto produce que la fracción gruesa sea más uniforme, para compensar la gradación granulométrica y evitar problemas de adherencia con la pasta o vacíos se coloca mayor cantidad de agregado fino.

En cuanto a los ensayos de aceptación del concreto se aceptó valores de Slump fuera del rango de 3" a 4", cuando el procedimiento del ensayo de asentamiento se realiza con algún método diferente al de vibración se permite tener valores menores a 5", Rivva (2012) indica que podría ser incluso menor a 125 mm; para efectos de la investigación se dispuso que los límites del ensayo de asentamiento con varilla estén entre 2" y 5". En cuanto al control de temperatura la Asociación de Cementos Portland (PCA) especifica que la temperatura del concreto no debe ser menor a 16°C (Condición para una sección menor de 300 mm en clima con temperaturas mayores a -1°C) ni mayor a 30°C. La temperatura de la mezcla química entre la pasta y los agregados no asegura al 100% que el concreto no pase problemas por exudación o retracción plástica, las buenas prácticas para la ejecución de todos los ensayos complementan este control inicial para asegurar la calidad del concreto.

Los 03 métodos de diseño de mezclas para las 03 condiciones de agregado grueso superaron con creces la resistencia promedio de diseño, con el método Walker se obtuvieron mayores resistencias para agregados gruesos con TMN de 3/4" y 3/8" (339.30 kg/cm² y 433.97 kg/cm² respectivamente), por otra parte, el método ACI alcanzó la mayor resistencia para el diseño con TMN de 1/2" (398.93 kg/cm²). Romero (2019) encontró que el método Walker alcanza mejores resultados trabajando con agregado grueso de 1/2"; de igual manera, Coasaca (2018) obtuvo mayores resistencias

a la compresión con agregado grueso de tamaño máximo nominal de 1" utilizando el método Walker.

En el año 2013, Vásquez concluyó en su investigación que el método Módulo de Finura de la Combinación de los Agregados alcanza la mayor resistencia a la compresión con agregado grueso de perfil redondeado con tamaño máximo nominal de 3/4". En los resultados de la presente investigación el modelo Módulo de Finura no obtuvo la resistencia más alta para ningún caso de tamaño máximo nominal estudiado, sin embargo, esto no representaría una contradicción entre resultados, la investigación de Vásquez fue realizada con agregado de río de perfil redondeado, mientras que, para el desarrollo de la presente tesis se utilizó piedra chancada de río (perfil angular).

La resistencia a la compresión aumentó según disminuía el tamaño máximo nominal del agregado grueso, se evidenció que la relación es directamente proporcional al contenido de cemento en la mezcla. Esta tendencia replica los resultados encontrados por Morales (2017), quien concluye que su diseño con TMN de 1/2" tenía mayor cantidad de cemento y alcanzó una mayor resistencia que su diseño con TMN de 1".

Se ha encontrado una relación directamente proporcional entre la cantidad de cemento calculado por el diseño y la resistencia final alcanzada en laboratorio, dicha relación se representa en la siguiente figura, en el eje de las abscisas se muestra la cantidad de cemento según el diseño en kilogramos por metro cúbico y en el eje de las ordenadas el promedio de los esfuerzos alcanzados en cada método según el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

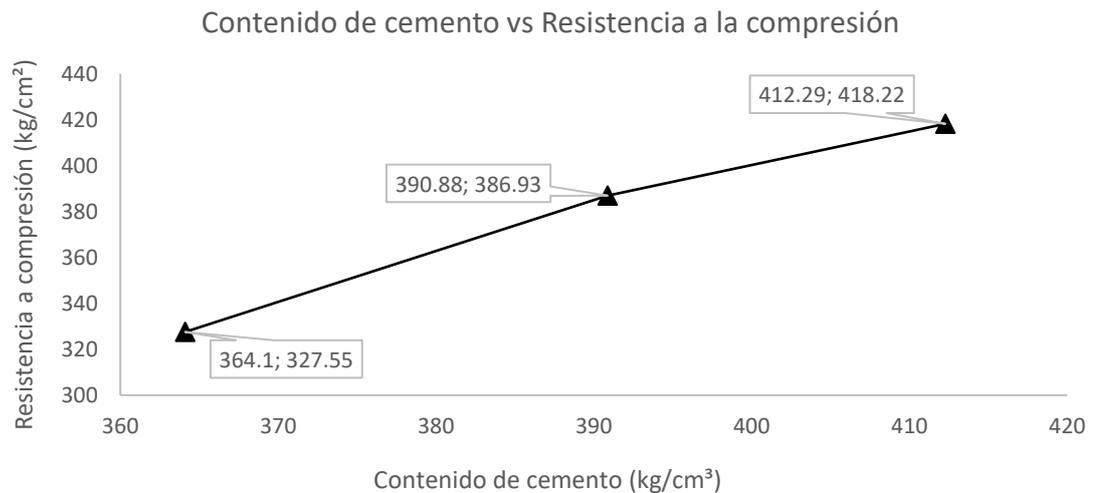


Figura 20. Relación cemento vs resistencia a compresión. La resistencia a la compresión es directamente proporcional a la cantidad de cemento empleado en la mezcla. Fuente: Elaboración propia.

Las fallas producidas en las probetas fueron del tipo 2, 3, 4, 5 y 6 según la clasificación de la norma peruana NTP 339.034, por otra parte, el agregado grueso no presenta fallas y el desprendimiento se dio en la unión del árido con la pasta. Las causas teóricas de los tipos de fallas son presentadas en el esquema del Anexo n° 10.

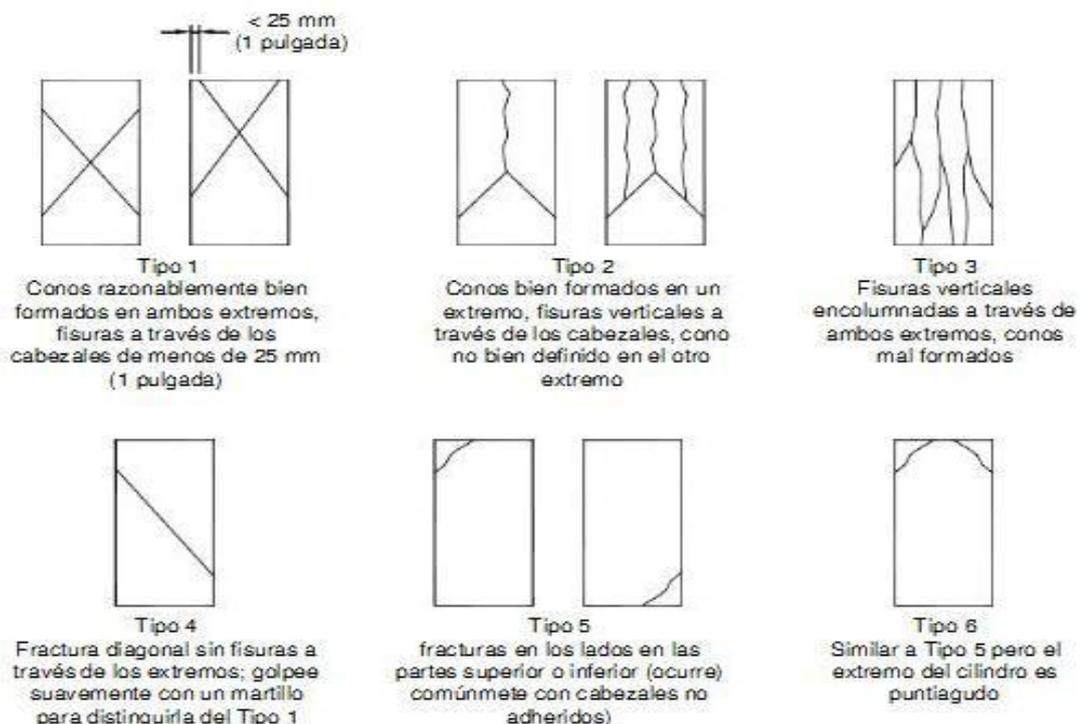


Figura 21. Esquema de los patrones de tipos de fracturas. Figura extraída de la norma peruana para analizar el tipo de falla de la probeta cilíndrica después de realizar el ensayo a compresión. Fuente: NTP 339.034.

Para el desarrollo de la investigación se considera que el costo económico de una mezcla de concreto se basa principalmente en la proporción de los materiales que lo componen y el rendimiento calculado con el peso unitario de producción, no se ha estimado la trabajabilidad del concreto, pero se lo reconoce como una variable que podría ser evaluada en próximas investigaciones. En cuanto al análisis por los materiales que lo componen el cemento es el que mayor incidencia tiene en el precio del concreto, un porcentaje estimado del 84%, utilizar agregado grueso con tamaño máximo nominal alto es más económico pues su diseño demanda menor cantidad de cemento. Por otro lado, del análisis por rendimiento resulta conveniente usar agregados con tamaño máximo nominal alto y el método Walker por alcanzar el mayor valor de producción.

4.2. Conclusiones

Al aumentar el tamaño máximo nominal del agregado grueso la resistencia a compresión y en el costo de producción del concreto disminuyen, la mezcla con agregado de TMN de 3/8" fue 27.62% más resistente que el diseño con agregado de 3/4", en el aspecto económico, el porcentaje de 84% de incidencia del cemento en el costo de producción hace evidente la conveniencia de trabajar con agregados de tamaño máximo nominal elevados.

De las propiedades físico – mecánicas de los agregados extraídos de la cantera Jesús La Nonga se encontró que, el Módulo de finura del agregado fino fue 2.72 mientras que del agregado grueso 6.69, 6.27 y 5.95 para 3/4", 1/2" y 3/8"

respectivamente, en el ensayo de Peso Unitario compactado el agregado fino alcanzó un valor de 1816.85 kg/m^3 y el agregado grueso un media de 1483.99 kg/m^3 , para el Peso Específico el agregado fino 1673.84 kg/m^3 y el agregado grueso un promedio de 1405.50 kg/m^3 , el porcentaje de Absorción y Contenido de humedad del agregado fino 2.053 % y 2.235 % mientras que del agregado grueso valores promedios de 1.86 % y 0.29 % respectivamente.

La mayor resistencia alcanzada fue de 433.97 kg/cm^2 por el método Walker con agregado de TMN de 3/8", para el caso del agregado con TMN de 1/2" la mayor resistencia fue de 398.93 kg/cm^2 por el método ACI y para el agregado con TMN de 3/8" nuevamente el método Walker llenado a la resistencia de 339.30 kg/cm^2 .

La relación entre el tamaño máximo nominal del agregado y la resistencia a la compresión del concreto es inversamente proporcional, un concreto con agregado de TMN de 1/2" alcanza 18.09% mayor resistencia que uno con TMN de 3/4" y el diseño con agregado 3/8" 8.07% más resistencia que la mezcla de 1/2" en promedio.

Se estimó que el cemento tiene una incidencia en el costo del 84 % y que las mezclas con TMN de 3/8" requieren por diseño 13.24% más cemento que un concreto con TMN de 3/4". Por otro lado, el rendimiento de producción aumenta con agregados de TMN mayores, alcanzando con el método Walker la mayor capacidad de producción con un valor de 0.978.

La investigación tiene una implicancia directa en el conocimiento actual sobre la influencia del agregado grueso en la resistencia y costo del concreto para 03 tipos de diseños de mezcla ofreciendo al ingeniero diseñador escoger los materiales y métodos que mejor se adapten a los resultados que espera obtener.

REFERENCIAS

- ACI Committee 318. (2007). Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary. American Concrete Institute.
- ASOCRETO. (2010). *Tecnología del Concreto* (3er ed.). Nomos Impresores.
- ASTM C136 – 14. (2014). Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. ASTM International.
- ASTM C29 – 97. (2009). Método de Prueba Estándar para Densidad de masa (“Peso Unitario”) y Vacíos de Agregado. ASTM International.
- ASTM C702 – 98. (2003). Historical Standard: Práctica normativa para Reducir las muestras de agregados a tamaño de prueba. ASTM International.
- ASTM D3665 – 12. (2017). Standard Practice for Random Sampling of Construction Materials. ASTM International.
- Cham, J., Solís, R. y Moren, E. (2003). Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto. *Ingeniería*, 7(2), 39-46.
- Ceballos, M. (2016). El concreto, material fundamental para la infraestructura. *Construcción y tecnología en concreto*.
<http://www.revistacyt.com.mx/pdf/agosto2016/experto.pdf>
- Zarate, F., Gomez, A. y Oñate, E. (2019). Experimental and numerical fracture test in concrete. Towards the Virtual Laboratory. *Revista internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en ingeniería*, 35(1), 14.
<http://doi.org/10.23967/j.rimni.2019.01.004>
- Guillermo, C. (2018). *Análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas del concreto utilizando distintos métodos de diseño de mezclas con los materiales típicos de la provincia de Arequipa* [Tesis de pregrado]. Universidad Católica de Santa María.

- Harmsen, T. (2017). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Fondo Editorial.
- Herman, R. (2019). *Estudio comparativo de 3 métodos de diseño de mezclas en la resistencia de compresión del concreto* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Trujillo.
- Mamlouk, M.y Zaniewski, J. (2009). *Materiales para ingeniería civil* (2rd ed.). Pearson Educación.
- Dirección general de Caminos y Ferrocarriles (2016). *Manual de Ensayos de Materiales*. Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
- Muñoz, J. (2014). *Efectos de la Sílice amorfa en las propiedades cristaloquímicas y mecánicas del hormigón en un medio salino* [Tesis de pregrado]. Universidad Austral de Chile.
- NTP 339.034. (2008). HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas (3rd ed.). INDECOPI.
- NTP 339.035. (2009). HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland (3rd ed.). INDECOPI.
- NTP 339.046 (2008). HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto) (2rd ed.). INDECOPI.
- NTP 339.127. (1998). SUELOS. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo (1rd ed.). INDECOPI.
- NTP 339.183. (2013). CONCRETO. Práctica normalizada para la elaboración de especímenes de concreto en el laboratorio (2rd ed.). INDECOPI.
- NTP 400.010. (2016). AGREGADOS. Extracción y preparación de las muestras (3rd ed.). INDECOPI.

NTP 400.012. (2001). AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global (2nd ed.). INDECOPI.

NTP 400.017. (2011). AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados (3rd ed.). INDECOPI.

NTP 400.021. (2002). AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso (2nd ed.). INDECOPI.

NTP 400.022. (2013). AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad relativa (Peso específico) y absorción del agregado fino (3rd ed.). INDECOPI.

Kosmatka, S., Kerkhoff, B. y Panarese, W. (2016). *Design and Control of Concrete Mixtures (16th ed.)*. Portland Cement Association.

Morales, D. (2017). *Influencia del tamaño máximo nominal de 1/2" y 1" del agregado grueso del río Amojú en el esfuerzo a la compresión del concreto para $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Cajamarca.

Rivva, E. (2012). *Diseño de mezclas* (2nd ed.). Williams.

Rivva, E., Harman, J., Pasquel, E., Badoino, D. y Romero, A. (1998). *Tecnología del concreto*. Ediciones Aci Perú.

Rivva, E. (2000). *Naturaleza y Materiales del Concreto*. Ediciones Aci Perú.

Vásquez, K. (2013). *Obtención del mejor método para elaborar el diseño de mezclas de concreto, al comparar los métodos AC, Füller, Walker y Módulo de Fineza de la Combinación de los Agregados, para una resistencia a la compresión $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (a los 28 días)* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Cajamarca.

ANEXOS

ANEXO n.º 1. Ficha técnica de Cemento Pacasmayo Tipo I.



CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.

Calle La Colonia Nro.150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima
Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad
Teléfono 317 - 6000



G-CC-F-04
Versión 03

Cemento Portland Tipo I

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150

Pacasmayo, 20 de Setiembre del 2017

| COMPOSICIÓN QUÍMICA | | CPSAA | Requisito NTP 334.009 / ASTM C150 |
|----------------------|---|-------|--------------------------------------|
| MgO | % | 2.3 | Máximo 6.0 |
| SO ₃ | % | 2.7 | Máximo 3.0 |
| Pérdida por Ignición | % | 3.0 | Máximo 3.5 |
| Residuo Insoluble | % | 0.92 | Máximo 1.5 |

| PROPIEDADES FÍSICAS | | CPSAA | Requisito NTP 334.009 / ASTM C150 |
|------------------------|--------------------|-------|--------------------------------------|
| Contenido de Aire | % | 7 | Máximo 12 |
| Expansión en Autoclave | % | 0.09 | Máximo 0.80 |
| Superficie Específica | cm ² /g | 3750 | Mínimo 2800 |
| Densidad | g/mL | 3.10 | NO ESPECIFICA |

Resistencia Compresión :

| | | | |
|-------------------------------------|------------------------------|---------------|-----------------------------|
| Resistencia Compresión a 3días | MPa (Kg/cm ²) | 26.1 (266) | Mínimo 12.0 (Mínimo 122) |
| Resistencia Compresión a 7días | MPa (Kg/cm ²) | 33.9 (346) | Mínimo 19.0 (Mínimo 194) |
| Resistencia Compresión a 28días (*) | MPa (Kg/cm ²) | 42.3 (431) | Mínimo 28.0 (Mínimo 286) |

Tiempo de Fraguado Vicat :

| | | | |
|------------------|-----|-----|------------|
| Fraguado Inicial | min | 138 | Mínimo 45 |
| Fraguado Final | min | 267 | Máximo 375 |

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-06-2017 al 31-06-2017.

La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Julio 2017.

(*) Requisito opcional.



Ing. Gabriel G. Mansilla Fiestas
Superintendente de Control de Calidad

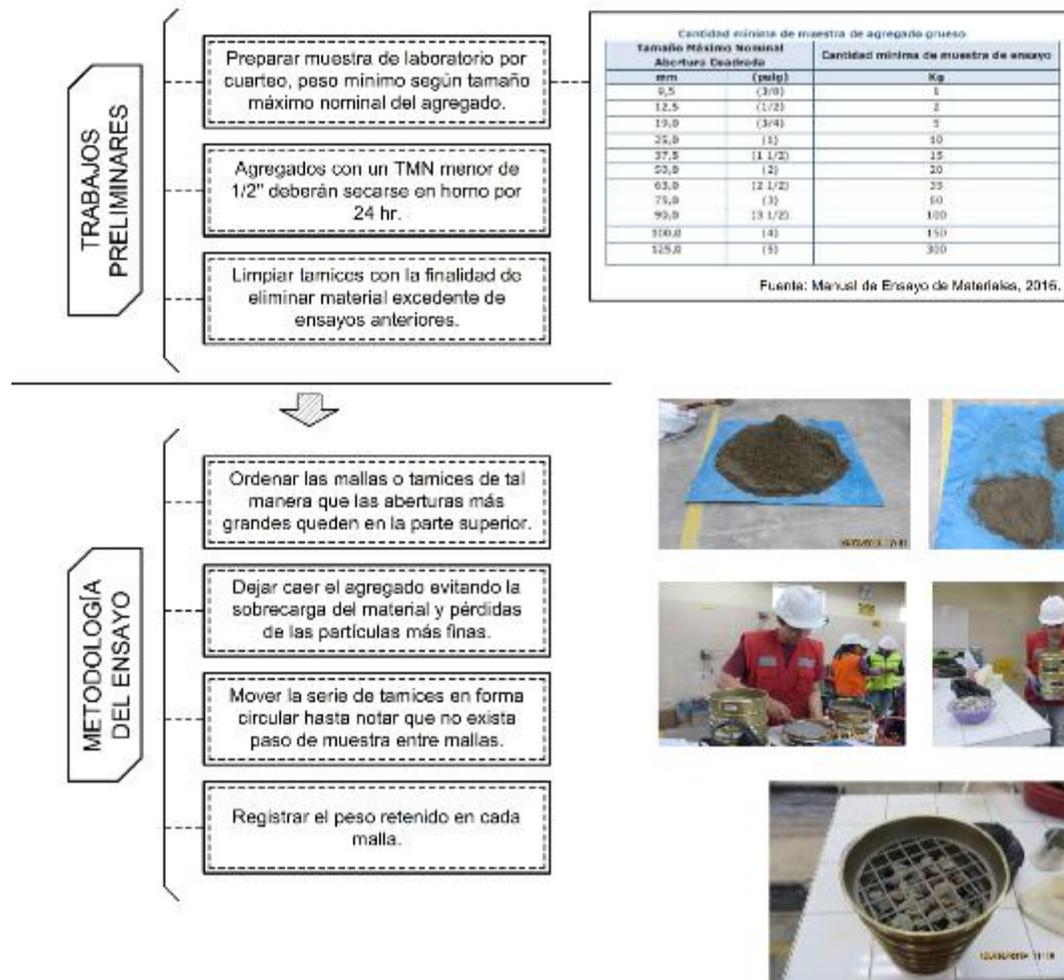
Solicitado por :

Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.

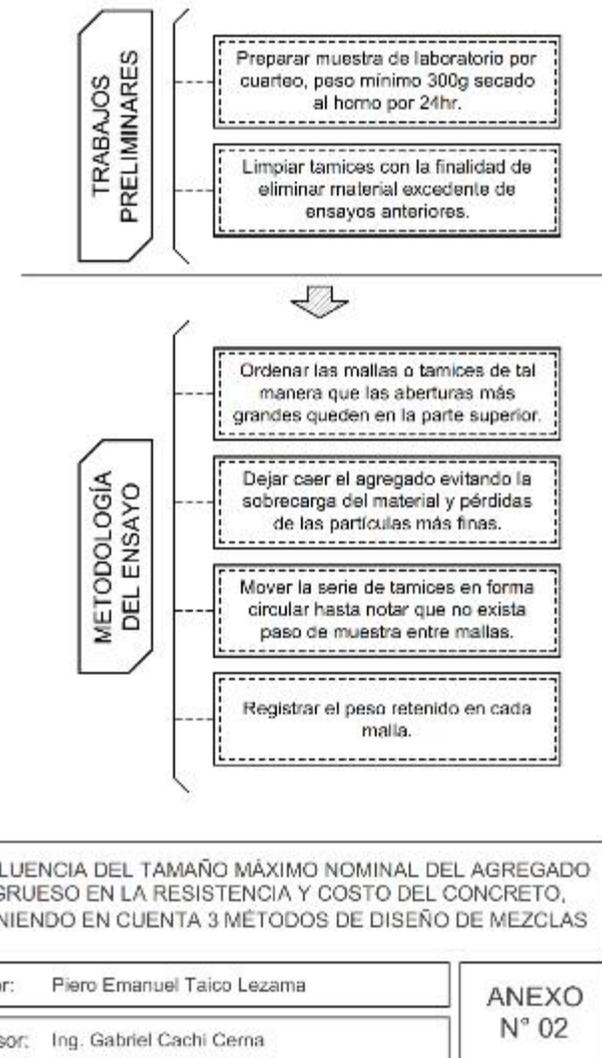
Influencia del tamaño máximo nominal del agregado grueso en la resistencia y costo del concreto, teniendo en cuenta 3 métodos de diseño de mezclas.

ANEXO n.º 2. Metodología del ensayo Análisis granulométrico (A. grueso y fino).

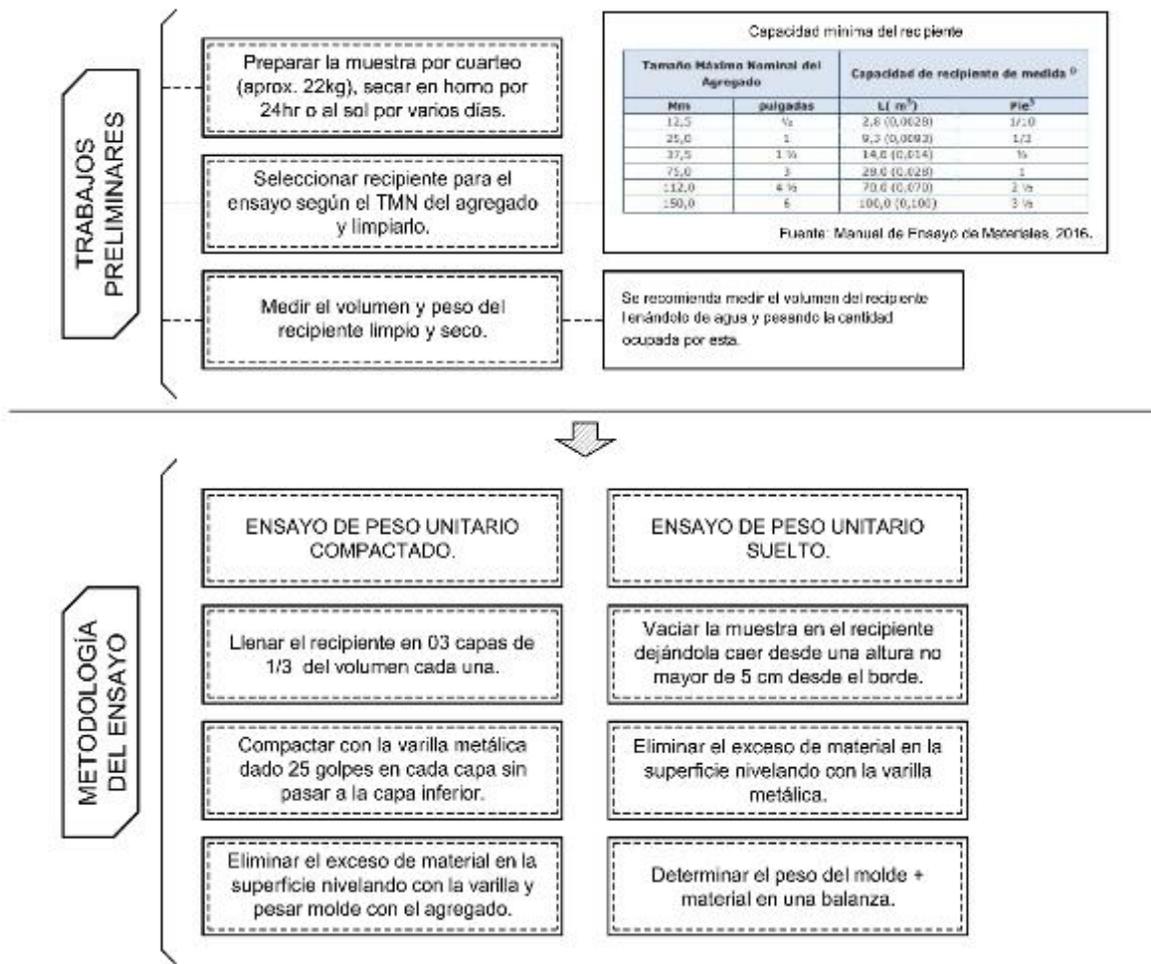
A) Procedimiento para Agregado Grueso



B) Procedimiento para Agregado Fino



ANEXO n.º 3. Metodología del ensayo Peso Unitario Seco (Suelto y compactado).



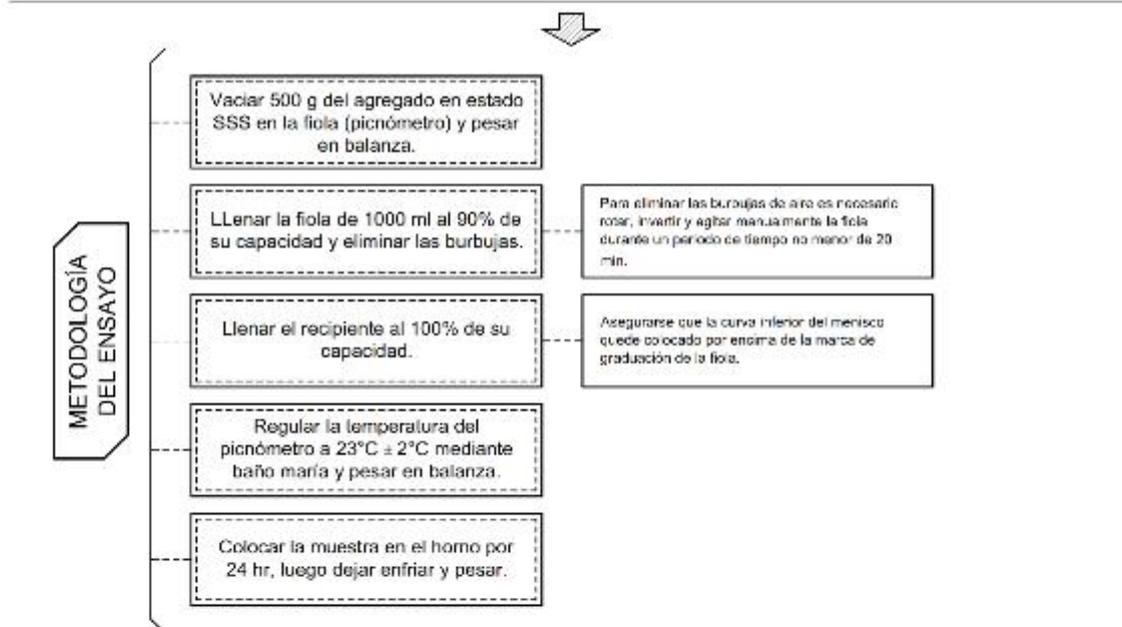
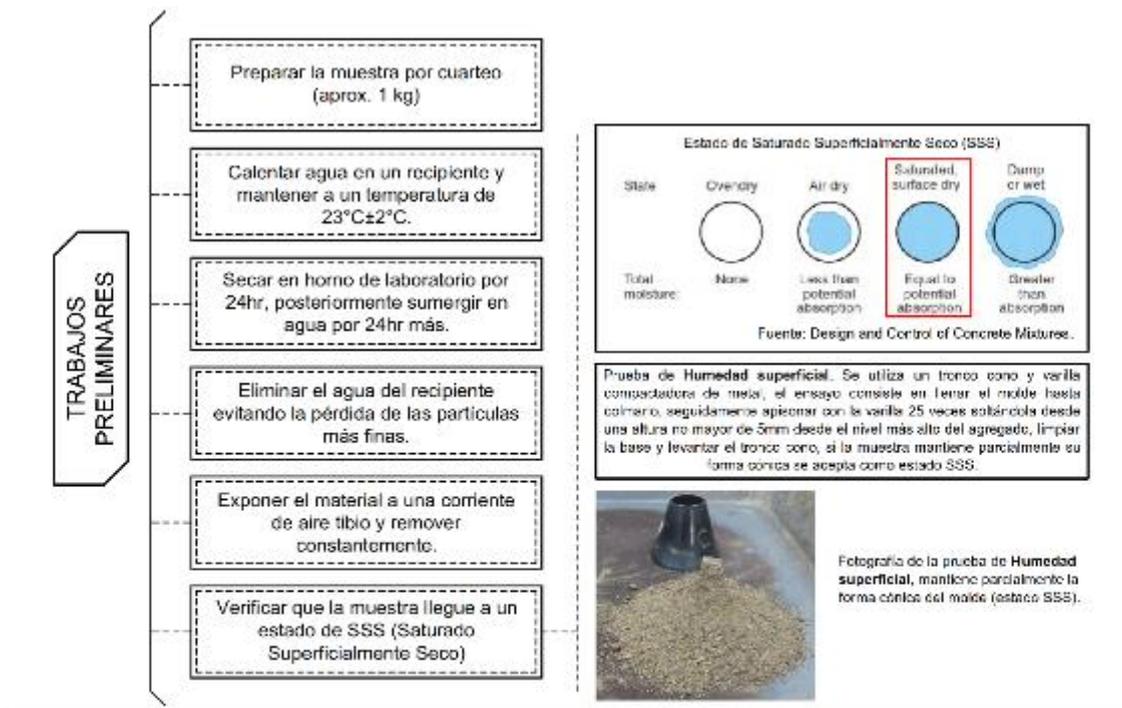
INFLUENCIA DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO EN LA RESISTENCIA Y COSTO DEL CONCRETO, TENIENDO EN CUENTA 3 MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS

Autor: Piero Emanuel Taico Lezama

Asesor: Ing. Gabriel Cachi Cerna

ANEXO
Nº 03

ANEXO n.º 4. Metodología del ensayo Gravedad específica y Absorción.



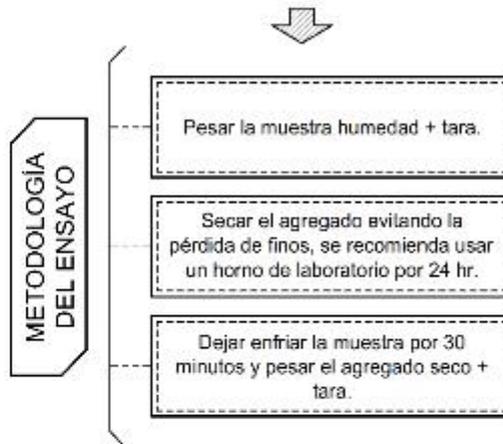
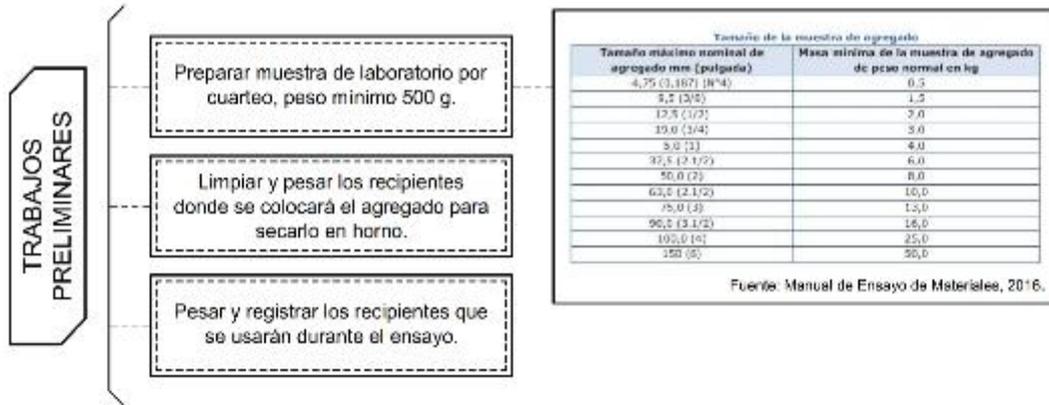
INFLUENCIA DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO EN LA RESISTENCIA Y COSTO DEL CONCRETO, TENIENDO EN CUENTA 3 MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS

Autor: Piero Emanuel Taico Lezama

Asesor: Ing. Gabriel Cachi Cerna

ANEXO
Nº 04

ANEXO n.º 5. Metodología del ensayo Contenido de humedad (A. Grueso y Fino).



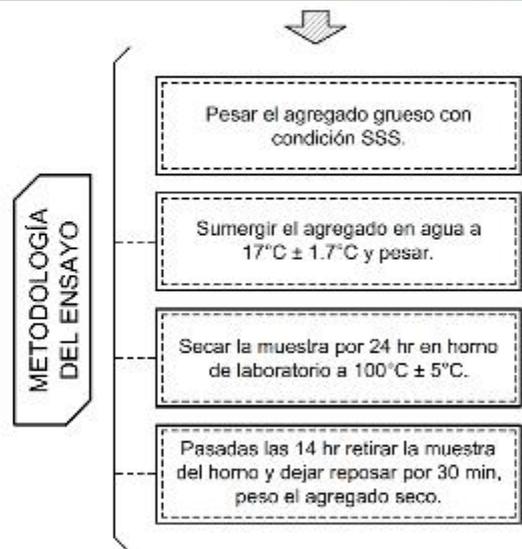
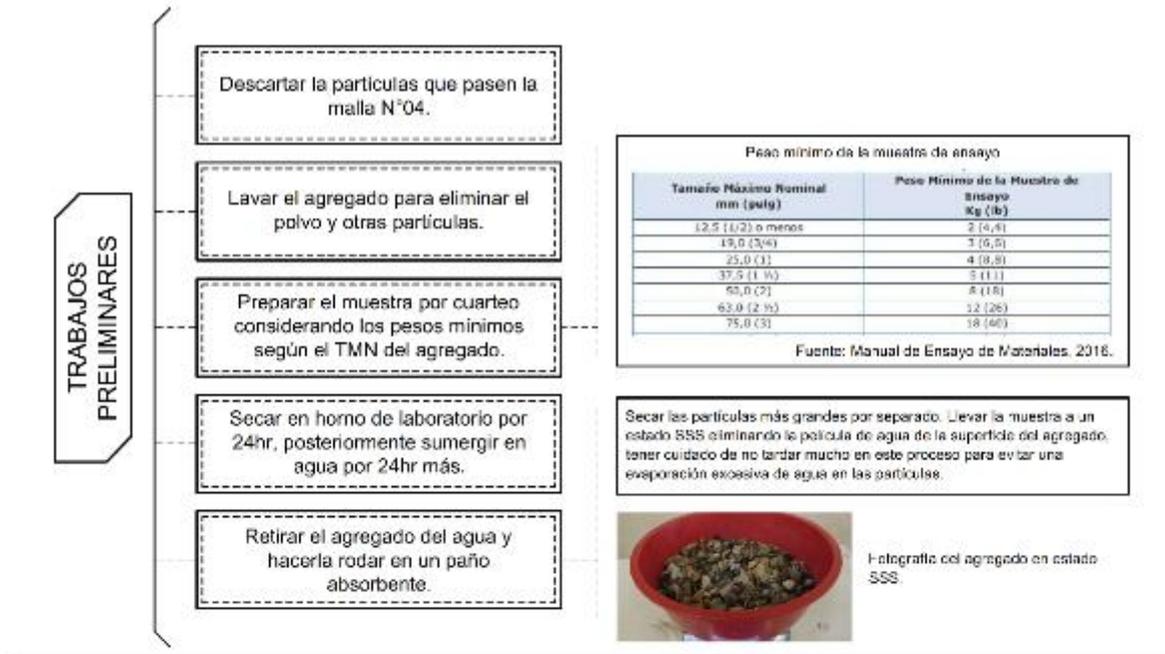
INFLUENCIA DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO EN LA RESISTENCIA Y COSTO DEL CONCRETO. TENIENDO EN CUENTA 3 MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS

Autor: Piero Emanuel Taico Lezama

Asesor: Ing. Gabriel Cachi Cerna

ANEXO N° 05

ANEXO n.º 6. Metodología del ensayo Peso específico y Absorción.



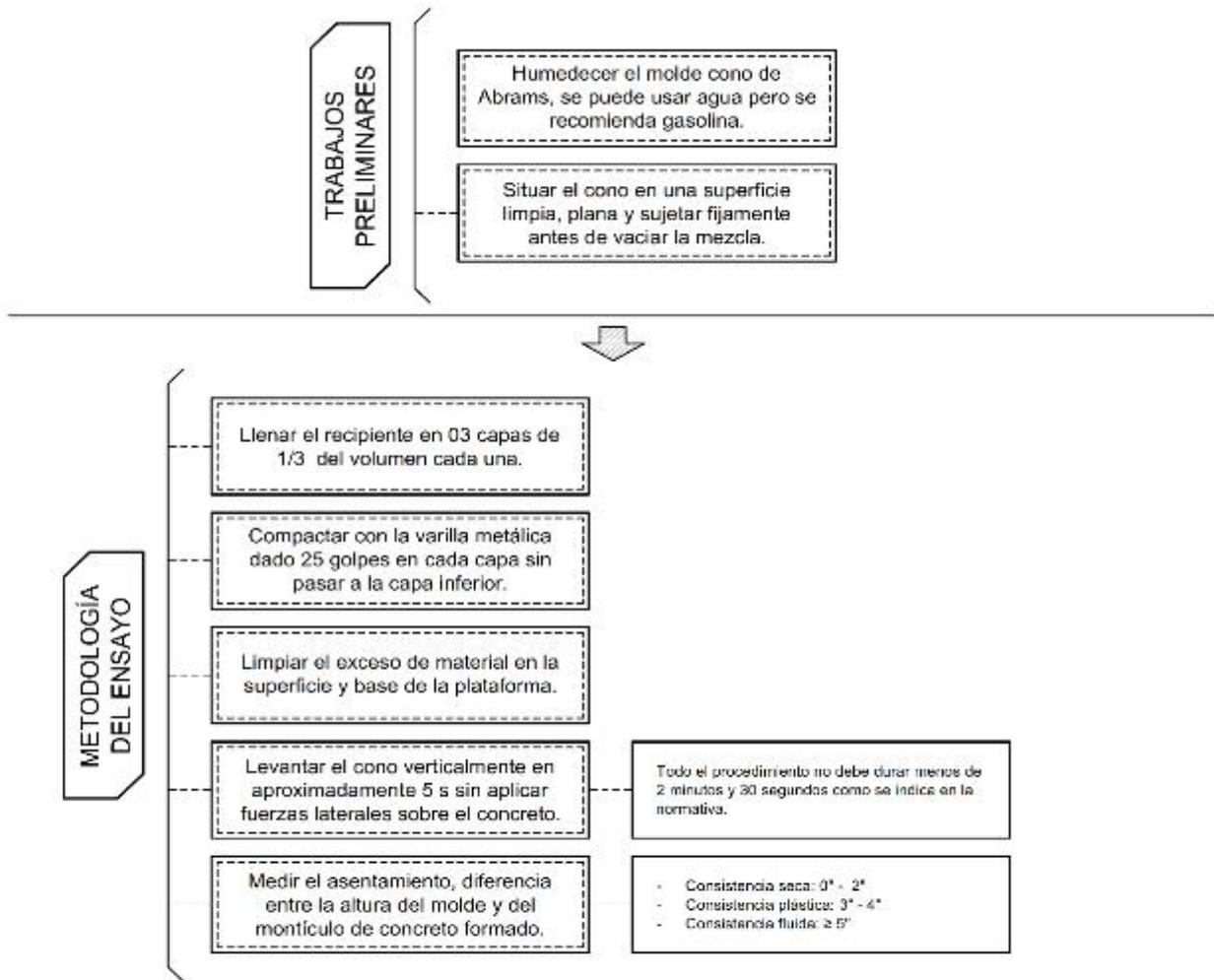
INFLUENCIA DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO EN LA RESISTENCIA Y COSTO DEL CONCRETO, TENIENDO EN CUENTA 3 MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS

Autor: Piero Emanuel Taico Lezama

Asesor: Ing. Gabriel Cachi Cerna

ANEXO
Nº 06

ANEXO n.º 7. Metodología del ensayo de asentamiento de concreto (Slump).



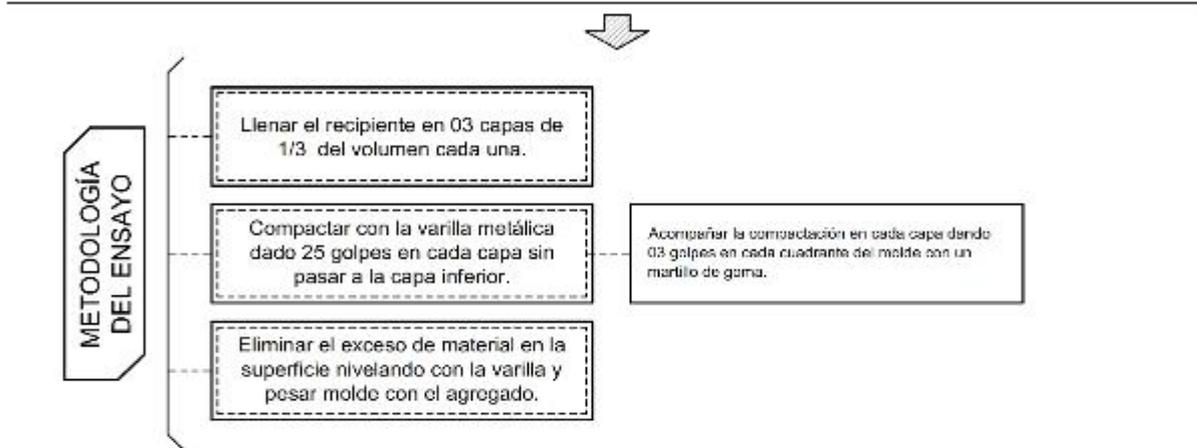
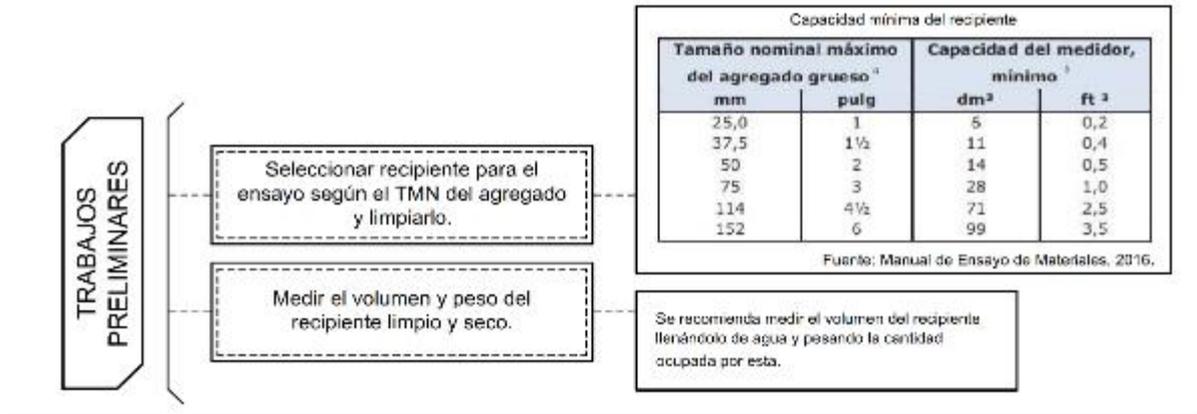
INFLUENCIA DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO EN LA RESISTENCIA Y COSTO DEL CONCRETO, TENIENDO EN CUENTA 3 MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS

Autor: Piero Emanuel Taico Lezama

Asesor: Ing. Gabriel Cachi Cerna

ANEXO N° 07

ANEXO n.º 8. Metodología del ensayo Peso Unitario del concreto.



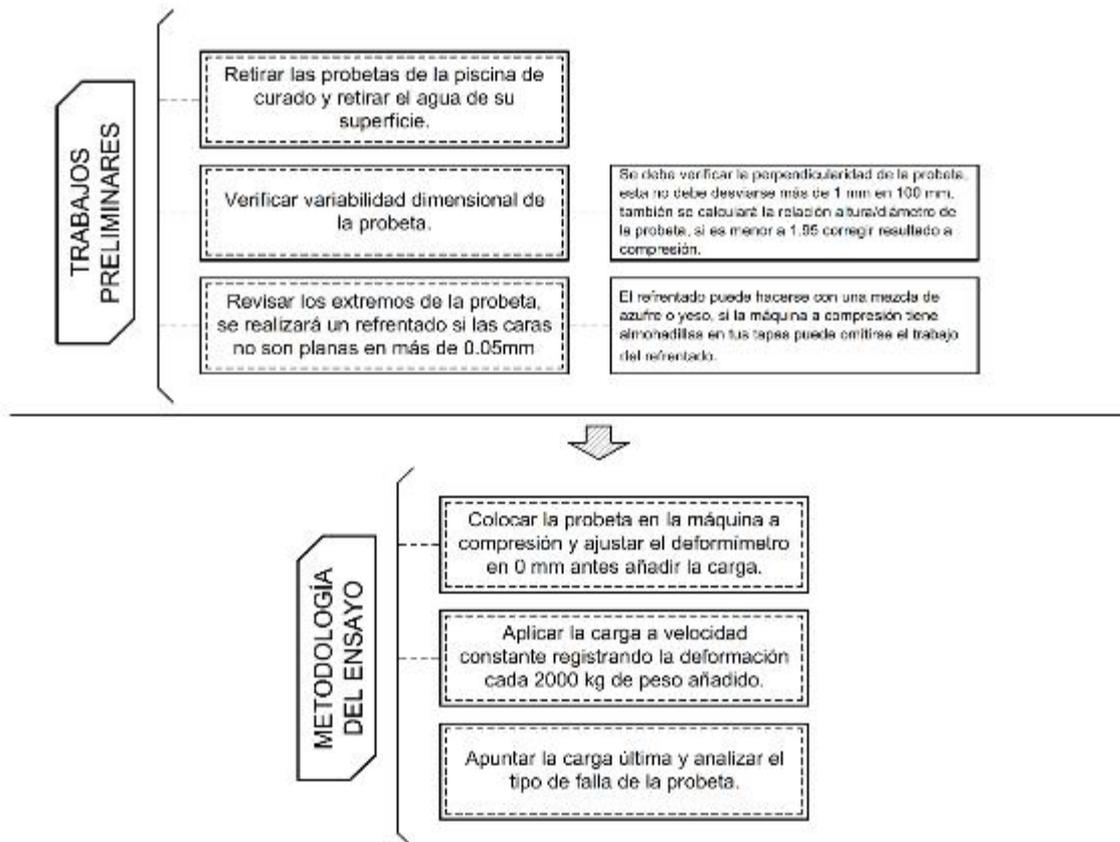
INFLUENCIA DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO EN LA RESISTENCIA Y COSTO DEL CONCRETO, TENIENDO EN CUENTA 3 MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS

Autor: Piero Emanuel Taico Lezama

Asesor: Ing. Gabriel Cachi Cerna

ANEXO N° 08

ANEXO n.º 9. Metodología del ensayo de Resistencia a la compresión de testigos cilíndricos.



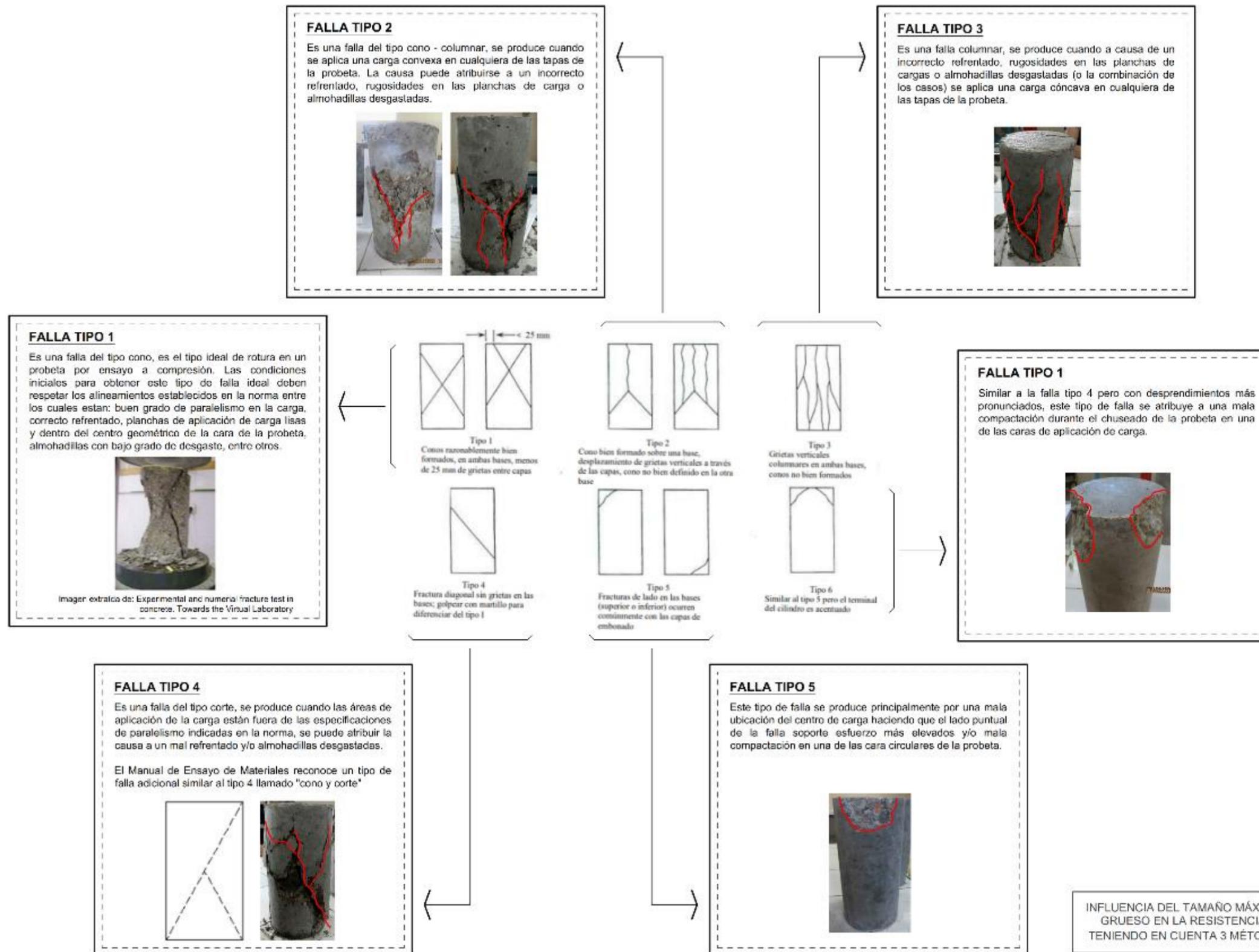
INFLUENCIA DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO EN LA RESISTENCIA Y COSTO DEL CONCRETO, TENIENDO EN CUENTA 3 MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS

Autor: Piero Emanuel Taico Lezama

Asesor: Ing. Gabriel Cachi Cema

ANEXO
Nº 09

ANEXO n.º 10. Esquema de tipos de falla de probetas concreto con relación de esbeltez de 2.



INFLUENCIA DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO EN LA RESISTENCIA Y COSTO DEL CONCRETO, TENIENDO EN CUENTA 3 MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS

Autor: Piero Emanuel Taico Lozama
Asesor: Ing. Gabriel Cachi Cerna

ANEXO N° 10

ANEXO n.º 11. Diseños de mezclas por el método ACI.

ANEXO n.º 12. Diseños de mezclas por el método Walker.

ANEXO n.º 13. Diseños de mezclas por el método Módulo de Fineza de la Combinación de los Agregados.

ANEXO n.º 14. Protocolos de ensayos de laboratorio

ANEXO n.º 15. Panel fotográfico.



Fotografía n.º 1. Centro de distribución de la cantera (Av. Industrial) para la extracción del agregado fino y grueso de 3/4".



Fotografía n.º 2. Centro de distribución de la cantera (Jr. Jorge Chávez) para la extracción del agregado grueso de 1/2" y 3/8".



Fotografía n.º 3. Limpieza de tamices para ensayo de granulometría de agregado fino.



Fotografía n.º 4. Secado en horno de laboratorio agregado grueso de 3/8" para ensayo de granulometría.



Fotografía n.º 5. Movimiento de tamices, ensayo de granulometría, procedimiento para agregado fino y grueso.



Fotografía n.º 6. Agregado grueso separado por tamaños en tamices del ensayo de granulometría.



Fotografía n° 7. Ensayo de Peso Unitario suelto o compactado. Para el ensayo suelto dejar caer la muestra a 5 cm del borde del recipiente.



Fotografía n° 8. Compactación por capas con varilla lisa dando 25 golpes, ensayo de Peso Unitario compactado.



Fotografía n° 9. Eliminación de material excedente en última capa de compactación, ensayo de Peso Unitario.



Fotografía n° 10. Nivelación con varilla metálica para pesar muestra + molde. Ensayo de Peso Unitario.



Fotografía n° 11. Secado de agregado fino con secadora de cabello para alcanzar el estado SSS.



Fotografía n° 12. Prueba con tronco-cono para confirmar estado SSS del agregado fino.



Fotografía n° 13. Fiola con contenido de muestra más agua al 90% de su capacidad. Ensayo de Gravedad específica.



Fotografía n° 14. Eliminación de burbujas de aire en la fiola mediante agitación y rotación del instrumento.



Fotografía n° 15. Fiola con material más agua al 100 % en baño maría para alcanzar temperatura normada.



Fotografía n° 16. Peso de fiola más material más agua temperada.



Fotografía n° 17. Ensayo de peso específico, agregado grueso totalmente saturado, secado con trapo.



Fotografía n° 18. Agregado grueso pesando en estado SSS.



Fotografía n° 19. Peso del agregado sumergido en agua, ensayo de Peso específico.



Fotografía n° 20. Material colocado en horno para distintos tipos de ensayos.



Fotografía n° 21. Elaboración de las mezclas de concreto diseñadas.



Fotografía n° 22. Control de temperatura del concreto antes de iniciar los ensayos de slump y peso unitario.



Fotografía n° 23. Compactación de la primera cada del ensayo de Slump con el cono de Abrams.



Fotografía n° 24. Mezcla con consistencia plástica, slump entre 3" y 4".



Fotografía n° 25. Nivelación de la última capa del ensayo de Peso unitario del concreto.



Fotografía n° 26. Peso de molde más concreto, ensayo de Peso Unitario.



Fotografía n° 27. Curado de probetas de concreto en agua potable por 28 días.



Fotografía n° 28. Verificación de la variabilidad dimensional de las probetas de concreto antes del ensayo a compresión.



Fotografía n° 29. Ensayo a compresión de testigos cilíndricos de concreto.



Fotografía n° 30. Fallas en probetas después del ensayo a compresión.