



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LA
JUNTA FRÍA DIAGONAL CON TIEMPOS DE
FORMACIÓN DE 1, $1\frac{1}{2}$, 2, 3 Y 4 HORAS EN LA
RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y TRACCIÓN EN
TESTIGOS DE CONCRETO $f'c = 210 \text{ KG/CM}^2$ CON
AGREGADOS DE LAS CANTERAS DE PILLAHUARA Y
CUNYAC A EDADES DE 7, 14 Y 28 DÍAS**

Presentado por:

BACH. Quispe Gonzáles, Mónica Gabriela

Para optar al Título Profesional de
Ingeniero Civil

Asesor:

ING. VÍCTOR CHACÓN SÁNCHEZ

CUSCO – PERÚ

2017



DEDICATORIA

A Dios, por todo el amor, bendiciones y enseñanzas que me ha regalado. Por permitirme haber llegado hasta este momento importante de mi formación.

A mis padres Friné y Wilber, por ser el pilar más importante de mi vida y por estar conmigo en todo momento.

A mi familia, especialmente a mis hermanos Yenny y Manuel, a mis tíos Libia y Wilfredo y a mi abuela Concepción por sus consejos, cuidados y apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida.

A mi tía Nery (†), mi eterna maestra de vida, que desde el cielo aún guía mi camino. Todos mis logros son tuyos.

A mis amigos que siempre estuvieron a mi lado para escucharme, aconsejarme y apoyarme.



AGRADECIMIENTOS

A Dios, por bendecir mi vida, brindarme su amor infinito y permitirme continuar con salud, fuerzas y empeño.

A mi familia, especialmente a mis padres Friné y Wilber y a mis hermanos Yenny y Manuel por guiarme, brindarme la fortaleza necesaria para seguir adelante y por acompañarme en mi formación como profesional.

Agradezco de manera sincera y especial al Ing. Víctor Chacón Sánchez por aceptar la tutoría de la tesis, por la orientación, la ayuda y apoyo que me brindó amablemente durante toda esta investigación. Así mismo agradecer a todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por quienes he llegado a obtener los conocimientos necesarios tanto para la profesión como para la vida.

A la Universidad Andina del Cusco por permitirme el uso del Laboratorio de Suelos y Concreto, de igual forma agradezco de forma especial al Ing. Jorge Álvarez Espinoza y a los jefes de prácticas Alfredo y Albert por su gentil apoyo con el manejo de los equipos durante la realización de los ensayos.

A todos mis amigos, sin ustedes la etapa universitaria no habría sido la misma, especialmente a Axel, Erik, Jairo, Joel, José, Melisa, Oscar y Rodrigo por su desinteresada colaboración durante el desarrollo de los ensayos y toda esta investigación.

Finalmente quiero agradecer a todas las personas que directa o indirectamente colaboraron en el desarrollo de mi tesis.



RESUMEN

La presente tesis de investigación que se sitúa en la ciudad de Cusco, tiene como objetivo principal analizar la influencia de la junta fría diagonal con tiempos de formación de 1, $1\frac{1}{2}$, 2, 3 y 4 horas en la resistencia a compresión y tracción indirecta en testigos de concreto $f'c=210$ kg/cm² a edades de 7, 14 y 28 días

El concreto fue elaborado con agregado fino de la cantera de Cunyac, agregado grueso de $\frac{1}{2}$ " de la cantera de Pillahuara-San Salvador y cemento Portland IP marca Yura. Ya que los agregados seleccionados cumplieron con los límites especificados por las Normas Técnicas Peruanas, se realizó el diseño de mezcla con el método ACI (American Concrete Institute).

Se realizaron 108 testigos cilíndricos de concreto de 10x20 cm de acuerdo a la norma ASTM C-192 (Práctica normalizada para preparación y curado de especímenes de concreto para ensayo en laboratorio), de las cuales 54 fueron ensayadas a compresión y 54 a tracción indirecta. Entre estas muestras se tuvo concreto patrón con vaciado ininterrumpido y concreto con junta fría con tiempos de formación de 1, $1\frac{1}{2}$, 2, 3 y 4 horas. La junta fría fue diagonal con 45° de inclinación y con superficie semi-rugosa.

Los resultados obtenidos detallados en el capítulo IV apuntan que, con la presencia de junta fría en ensayos de compresión, la disminución de resistencia respecto al concreto patrón a los 7 días es mayor que a los 28 días. Según los resultados obtenidos en los ensayos a tracción indirecta, la resistencia no disminuye a medida que se incrementa el tiempo de formación de la junta fría.

En conclusión, la presencia de la junta fría diagonal con tiempos de formación de 1, $1\frac{1}{2}$, 2, 3 y 4 horas en el concreto a los 28 días de edad disminuye la resistencia a compresión y a tracción en un porcentaje no mayor a 4.79% y 13.85% respectivamente.

Palabras clave: Tiempo de formación, junta fría, resistencia a compresión y resistencia a tracción.

ABSTRACT



This research thesis takes place in the city of Cusco and its principal objective is to analyze the influence of diagonal cold joints with development time of 1, 1 1/2, 2, 3 and 4 hours in the tensile and compressive strength in concrete samples of $f'c=210$ kg/cm² at ages of 7, 14 and 28 days.

The concrete samples were elaborated with fine aggregate from Cunyac quarry, aggregate of 1/2" from the quarry of Pillahuara and Yura brand portland cement type IP. Since the selected aggregates are within the specified limits by the Peruvian technical standards, the concrete design was developed with the ACI method (American Concrete Institute).

A total of 108 cylindrical concrete samples of 10x20 cm were made according to the ASTM C.192 standards (Standard practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory), of which 54 units were tested to compression and 54 to indirect traction. In this group, we had samples of concrete without an interruption in the concreting operations and concrete samples with cold joints with a development time of 1, 1 1/2, 2, 3 and 4 hours. The cold joint had a diagonal orientation, 45° of inclination with a semi-rough surface.

The obtained results in chapter IV indicate that concrete samples with the presence of cold joint in compression test at 7 days have a greater decrease of resistance compared to standard concrete at 28 days.

According to the results of the indirect tensile test, the resistance does not decrease as the development time of the cold joint increases.

In conclusion, the presence of the diagonal cold joint with formation time of 1, 1 1/2, 2, 3 and 4 hours in concrete samples at 28 days of age decreases the resistance to compression and traction in a percentage no greater than 4.79% and 13.85% respectively.

Key words: Development time, cold joint, compressive strength, and tensile strength.



INTRODUCCIÓN

El concreto es el material más utilizado actualmente en la construcción, es un insumo versátil que ofrece múltiples aplicaciones en la construcción. Durante la selección de materiales, diseño, mezclado, transporte y colocación de este insumo se deben tener en cuenta los requisitos para garantizar su calidad y el cumplimiento de sus funciones.

Durante el proceso constructivo, se planifican los vaciados de acuerdo a una secuencia en la colocación del concreto, pero ocurren situaciones en las que el abastecimiento de este material se ve interrumpido por múltiples factores, dando lugar a su endurecimiento en un vaciado incompleto. Al no tomarse las medidas necesarias para garantizar la adherencia del concreto endurecido con el concreto nuevo, nos encontramos ante una junta fría.

En la presente tesis se utilizó bibliografía correspondiente al tema de investigación y normas peruanas y/o internacionales para los ensayos de muestreo (ASTM D-75 y NMX C-170-ONNCCE), granulometría de agregados (NTP 400.012), peso específico (NTP 400.022 para agregados finos y NTP 400.021 para agregados gruesos), peso unitario (NTP 400.017), contenido de humedad (NTP 339.185), asentamiento con el cono de Abrams (ASTM C-143), resistencia a compresión (NTP 339.034 y ASTM C-39) y resistencia a la tracción indirecta (ASTM C-496 y NTG 41017-h15).

Para la elaboración de los testigos de concreto, se utilizó agregado grueso de la cantera de Pillahuara y agregado fino de la cantera de Cunyac, ubicados en los departamentos de Cusco y Apurímac respectivamente, agua potable y cemento Portland Tipo IP de la marca Yura. Se realizaron los ensayos pertinentes a los agregados, para determinar las proporciones adecuadas en el diseño de mezcla según el método ACI, elaborándose testigos de un concreto patrón de $f'c=210$ kg/cm² con vaciado sin interrupciones y testigos con junta fría diagonal con tiempos de formación de 1, 1 ½, 2, 3 y 4 horas.

Se realizó el curado de los testigos y se los sometió a ensayos de resistencia a compresión y tracción a los 7, 14 y 28 días, formulándose las conclusiones y recomendaciones con los resultados obtenidos.



ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1:	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1.	Identificación del problema	1
1.1.1.	Descripción del problema.....	1
1.1.2.	Formulación interrogativa de los problemas	2
1.1.2.1.	Formulación interrogativa del problema general	2
1.1.2.2.	Formulación interrogativa de los problemas específicos	2
1.2.	Justificación e importancia de la investigación.....	2
1.2.1.	Justificación técnica.....	2
1.2.1.1.	Justificación de la aplicación de los tiempos de formación de junta fría de 1, 1 ½ , 2, 3 y 4 horas	3
1.2.2.	Justificación social	3
1.2.3.	Justificación por viabilidad.....	4
1.2.4.	Justificación por relevancia	4
1.3.	Limitaciones de la investigación.....	4
1.4.	Objetivos de la investigación.....	5
1.4.1.	Objetivo general.....	5
1.4.2.	Objetivos específicos	5
1.5.	Hipótesis.....	6
1.5.1.	Hipótesis general	6
1.5.2.	Sub hipótesis	6
1.6.	Definición de variables e indicadores	6
1.6.1.	Variables independientes.....	6
1.6.1.1.	Indicadores de variables independientes	7
1.6.2.	Variables dependientes.....	7
1.6.2.1.	Indicadores de variables dependientes.....	7
1.6.3.	Cuadro de operacionalización de variables.	8
CAPÍTULO 2:	MARCO TEÓRICO.....	9
2.1.	Antecedentes de la investigación	9
2.1.1.	Antecedentes a nivel local.....	9
2.1.2.	Antecedentes a nivel nacional.....	10
2.1.3.	Antecedentes a nivel internacional	11
2.2.	Aspectos teóricos pertinentes	12
2.2.1.	El concreto.....	12
2.2.1.1.	Componentes del concreto	14
2.2.1.1.1.	Agregados.....	14



- 2.2.1.1.2. Cemento.....26
- 2.2.1.1.3. Agua.....28
- 2.2.1.2. Propiedades del concreto29
 - 2.2.1.2.1. Propiedades del concreto en estado fresco.....29
 - 2.2.1.2.2. Propiedades del concreto en estado endurecido.....30
- 2.2.1.3. Diseño de mezcla.....38
 - 2.2.1.3.1. Selección de las proporciones del concreto método del comité 211 del ACI.39
- 2.2.1.4. Mezclado y manejo del concreto.....53
- 2.2.1.5. Curado del concreto53
- 2.2.1.6. Juntas frías54
- 2.2.2. Análisis de datos 57
 - 2.2.2.1. Análisis de correlación.....57
 - 2.2.2.2. Líneas de tendencia59
- CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA.....60
 - 3.1. Metodología de la investigación60
 - 3.1.1. Tipo de investigación 60
 - 3.1.2. Nivel de la investigación 60
 - 3.1.3. Método de investigación 61
 - 3.2. Diseño de la investigación61
 - 3.2.1. Diseño metodológico 61
 - 3.2.2. Diseño de ingeniería..... 62
 - 3.3. Población y muestra63
 - 3.3.1. Población 63
 - 3.3.1.1. Descripción de la población63
 - 3.3.1.2. Cuantificación de la población63
 - 3.3.2. Muestra 63
 - 3.3.2.1. Descripción de la muestra63
 - 3.3.2.2. Cuantificación de la muestra.....63
 - 3.3.2.3. Método de muestreo.....64
 - 3.3.2.4. Criterios de evaluación de muestra.....64
 - 3.3.3. Criterios de inclusión 65
 - 3.3.3.1. Testigos con junta fría65
 - 3.3.3.2. Testigos con vaciado ininterrumpido.....66
 - 3.4. Instrumentos.....66
 - 3.4.1. Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos 66
 - 3.4.1.1. Guías de observación de campo66
 - 3.4.2. Instrumentos de ingeniería..... 72



- 3.5. Procedimientos de recolección de datos77
 - 3.5.1. Selección y muestreo de los agregados 77
 - 3.5.1.1. Objetivo.....77
 - 3.5.1.2. Equipos y materiales77
 - 3.5.1.3. Procedimientos.....77
 - 3.5.2. Granulometría de los agregados finos y gruesos..... 80
 - 3.5.2.1. Objetivo.....80
 - 3.5.2.2. Equipos y materiales80
 - 3.5.2.3. Procedimientos.....80
 - 3.5.2.4. Observaciones83
 - 3.5.2.5. Toma de datos84
 - 3.5.3. Modificación de la granulometría del agregado fino 85
 - 3.5.3.1. Objetivo.....85
 - 3.5.3.2. Equipos85
 - 3.5.3.3. Procedimientos.....86
 - 3.5.4. Peso específico de los agregados gruesos 88
 - 3.5.4.1. Objetivo.....88
 - 3.5.4.2. Equipos y materiales88
 - 3.5.4.3. Procedimientos.....88
 - 3.5.4.4. Toma de datos91
 - 3.5.5. Peso específico de los agregados finos 91
 - 3.5.5.1. Objetivo.....91
 - 3.5.5.2. Equipos y materiales91
 - 3.5.5.3. Procedimientos.....92
 - 3.5.5.4. Toma de datos98
 - 3.5.6. Peso unitario de los agregados fino y grueso 98
 - 3.5.6.1. Objetivo.....98
 - 3.5.6.2. Equipos y materiales98
 - 3.5.6.3. Procedimientos.....98
 - 3.5.6.4. Toma de datos103
 - 3.5.7. Contenido de humedad103
 - 3.5.7.1. Objetivo.....103
 - 3.5.7.2. Equipos y materiales103
 - 3.5.7.3. Procedimientos.....104
 - 3.5.7.4. Toma de datos108
 - 3.5.8. Elaboración del diseño de mezcla según el método ACI 211.1.....108
 - 3.5.8.1. Objetivo.....108
 - 3.5.8.2. Equipos y materiales108
 - 3.5.8.3. Procedimientos.....108
 - 3.5.9. Elaboración de las briquetas de concreto111



- 3.5.9.1. Objetivo.....111
- 3.5.9.2. Equipos y materiales112
- 3.5.9.3. Procedimientos.....112
- 3.5.10. Consistencia de la mezcla con el cono de Abrams122
 - 3.5.10.1. Objetivo.....122
 - 3.5.10.2. Equipos y materiales123
 - 3.5.10.3. Procedimientos.....123
 - 3.5.10.4. Toma de datos125
- 3.5.11. Resistencia a la compresión de los testigos de concreto.....125
 - 3.5.11.1. Objetivo.....125
 - 3.5.11.2. Equipos126
 - 3.5.11.3. Procedimientos.....126
 - 3.5.11.4. Toma de datos129
- 3.5.12. Resistencia a la tracción indirecta de los testigos de concreto131
 - 3.5.12.1. Objetivo.....131
 - 3.5.12.2. Equipos131
 - 3.5.12.3. Procedimientos.....132
 - 3.5.12.4. Toma de datos137
- 3.6. Procedimientos de análisis de datos138
 - 3.6.1. Granulometría y módulo de fineza138
 - 3.6.1.1. Análisis de la granulometría del agregado fino y módulo de fineza.....140
 - 3.6.1.2. Análisis de la granulometría del agregado grueso.....143
 - 3.6.2. Modificación de la granulometría del agregado fino145
 - 3.6.2.1. Análisis de la modificación de la granulometría del agregado fino145
 - 3.6.3. Peso específico y porcentaje de absorción147
 - 3.6.3.1. Análisis del peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino147
 - 3.6.3.2. Análisis del peso específico y el porcentaje de absorción del agregado grueso 149
 - 3.6.4. Peso unitario.....150
 - 3.6.4.1. Peso unitario del agregado fino151
 - 3.6.4.1.1. Análisis del peso unitario suelto del agregado fino151
 - 3.6.4.1.2. Análisis del peso unitario compactado del agregado fino.....152
 - 3.6.4.2. Peso unitario del agregado grueso152
 - 3.6.4.2.1. Análisis peso unitario suelto del agregado grueso.....152
 - 3.6.4.2.2. Análisis peso unitario compactado del agregado grueso153
 - 3.6.5. Porcentaje de vacíos153
 - 3.6.5.1. Análisis del porcentaje de vacíos del agregado fino154



3.6.5.2. Análisis del porcentaje de vacíos del agregado grueso 154

3.6.6. Contenido de humedad 155

3.6.6.1. Análisis del contenido de humedad de agregado fino..... 156

3.6.6.2. Análisis del contenido de humedad del agregado grueso..... 157

3.6.7. Diseño de mezcla según el ACI 211.1 157

3.6.7.1. Análisis del Diseño de mezcla según el ACI 211.1..... 158

3.6.8. Consistencia de la mezcla con el cono de Abrams 169

3.6.8.1. Análisis de la consistencia de la mezcla con el cono de Abrams 169

3.6.9. Resistencia a la compresión..... 170

3.6.9.1. Análisis de la resistencia a compresión..... 174

3.6.10. Resistencia a tracción indirecta con el ensayo brasilero 187

3.6.10.1. Análisis de la resistencia a tracción indirecta con el ensayo brasilero de los testigos con vaciado ininterrumpido y con junta fría 191

3.6.11. Coeficiente de correlación lineal de Pearson.....200

3.6.11.1. Análisis del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre la resistencia a tracción indirecta y la resistencia a compresión de las muestras a los 7 días.....201

3.6.11.2. Análisis del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre la resistencia a tracción indirecta y la resistencia a compresión de las muestras a los 14 días.....204

3.6.11.3. Análisis del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre la resistencia a tracción indirecta y la resistencia a compresión de las muestras a los 28 días.....206

3.6.11.4. Análisis de la línea de tendencia polinómica entre la resistencia a tracción indirecta y la resistencia a compresión de las muestras a los 28 días.....208

3.6.11.5. Análisis del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre el porcentaje de disminución de la resistencia a compresión de las muestras con junta fría respecto al concreto patrón a los 7 días.....209

3.6.11.6. Análisis del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre el porcentaje de disminución de la resistencia a compresión de las muestras con junta fría respecto al concreto patrón a los 14 días.....212

3.6.11.7. Análisis del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre el porcentaje de disminución de la resistencia a compresión de las muestras con junta fría respecto al concreto patrón a los 28 días.....215

3.6.11.8. Análisis del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre el porcentaje de disminución de la resistencia a tracción indirecta de las muestras con junta fría respecto al concreto patrón a los 7 días.....218

3.6.11.9. Análisis del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre el porcentaje de disminución de la resistencia a tracción indirecta de las muestras con junta fría respecto al concreto patrón a los 14 días.....221



3.6.11.10. Análisis del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre el porcentaje de disminución de la resistencia a tracción indirecta de las muestras con junta fría respecto al concreto patrón a los 28 días.....224

CAPÍTULO 4: RESULTADOS.....227

4.1. Resultados de las propiedades del agregado fino modificado de la cantera de Cunyac. 227

4.2. Resultados de las propiedades del agregado grueso de la cantera de Pillahuara ...227

4.3. Observaciones del concreto fresco228

4.4. Resultados de resistencia a la compresión de las muestras228

4.4.1. Resultado de ensayos de compresión en muestras de concreto con 7 días de edad.....228

4.4.2. Resultado de ensayos de compresión en muestras de concreto con 14 días de edad.....230

4.4.3. Resultado de ensayos de compresión en muestras de concreto con 28 días de edad.....232

4.4.4. Resultado de ensayos de compresión en muestras de concreto con vaciado ininterrumpido y con junta fría con tiempo de formación de 1, 1 ½, 2, 3 y 4 horas a los 7, 14 y 28 días.235

4.5. Resultados de resistencia a tracción indirecta de las muestras239

4.5.1. Resultado de ensayos de tracción indirecta en muestras de concreto con 7 días de edad.239

4.5.2. Resultado de ensayos de tracción indirecta en muestras de concreto con 14 días de edad.240

4.5.3. Resultado de ensayos de tracción indirecta en muestras de concreto con 28 días de edad.....242

4.5.4. Resultado de ensayos de tracción indirecta en muestras de concreto con vaciado ininterrumpido y con junta fría con tiempo de formación de 1, 1 ½, 2, 3 y 4 horas a los 7, 14 y 28 días.244

4.6. Resultados del coeficiente de correlación lineal de Pearson.....248

4.6.1. Resultados del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre la resistencia a tracción indirecta y la resistencia a compresión de las muestras a los 7 días.248

4.6.2. Resultados del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre la resistencia a tracción indirecta y la resistencia a compresión de las muestras a los 14 días. ..249

4.6.3. Resultados del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre la resistencia a tracción indirecta y la resistencia a compresión de las muestras a los 28 días. ..250

4.6.4. Resultados de la línea de tendencia polinómica entre la resistencia a tracción indirecta y la resistencia a compresión de las muestras a los 28 días.251



4.6.5. Resultados del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre el porcentaje de disminución de la resistencia a compresión de las muestras con junta fría respecto al concreto patrón a los 7 días.....252

4.6.6. Resultados del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre el porcentaje de disminución de la resistencia a compresión de las muestras con junta fría respecto al concreto patrón a los 14 días254

4.6.7. Resultados del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre el porcentaje de disminución de la resistencia a compresión de las muestras con junta fría respecto al concreto patrón a los 28 días256

4.6.8. Resultados del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre el porcentaje de disminución de la resistencia a tracción indirecta de las muestras con junta fría respecto al concreto patrón a los 7 días.....258

4.6.9. Resultados del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre el porcentaje de disminución de la resistencia a tracción indirecta de las muestras con junta fría respecto al concreto patrón a los 14 días.....259

4.6.10. Resultados del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre el porcentaje de disminución de la resistencia a tracción indirecta de las muestras con junta fría respecto al concreto patrón a los 28 días.....261

CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN263

GLOSARIO271

CONCLUSIONES277

RECOMENDACIONES279

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS282

ANEXOS287



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tamices standart ASTM	18
Tabla 2: Análisis granulométrico para agregado fino.....	24
Tabla 3: Límites para agregados gruesos según las Normas NTP 400.037 y ASTM C 33.....	25
Tabla 4: Tiempo permisible de tolerancias.....	31
Tabla 5: Factor de corrección según la relación L/D	33
Tabla 6: Factor de corrección para la desviación estándar cuando se tienen menos de 30 ensayos	41
Tabla 7: Resistencia a compresión media requerida cuando no hay Datos disponibles para establecer la desviación estándar.....	42
Tabla 8: Consistencia y asentamientos	43
Tabla 9: Revenimiento	44
Tabla 10: Volumen unitario de agua	45
Tabla 11: Contenido de aire atrapado.....	46
Tabla 12: Contenido de aire incorporado y total.....	47
Tabla 13: Relación agua/cemento por resistencia.....	48
Tabla 14: Condiciones especiales de exposición	49
Tabla 15: Agregado grueso por unidad de volumen del concreto.....	50
Tabla 16: Cantidad de muestras a ensayar	64
Tabla 17: Formato para recolección de datos en ensayo de granulometría (basado en la norma NTP 400.012)	67
Tabla 18: Formato de recolección de datos de ensayo de peso específico y absorción (Basado en la NTP 400.022 y NTP 400.021).....	68
Tabla 19: Formato de recolección de datos de ensayo de contenido de humedad (basado en la NTP 339.185)	68
Tabla 20: Formato de recolección de datos de ensayo de peso unitario (basado en la NTP 400.017)	69
Tabla 21: Formato de recolección de datos de ensayo de asentamiento con el cono de Abrams (basado en la ASTM C-143).....	70
Tabla 22: Formato de recolección de datos de ensayo de resistencia a la compresión (basado en la NTP 339.034).....	71
Tabla 23: Formato de recolección de datos de ensayo de resistencia a la tracción (basado en la ASTM C-496).....	72
Tabla 24: Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso o global.	81
Tabla 25: Datos del primer ensayo de granulometría de agregado fino.....	84
Tabla 26: Datos del segundo ensayo de granulometría de agregado fino	84
Tabla 27: Datos del ensayo de granulometría de agregado grueso.....	85
Tabla 28: Datos del ensayo de peso específico del agregado grueso	91



Tabla 29: Datos del ensayo de peso específico del agregado fino98

Tabla 30: Datos de peso unitario suelto y compactado del agregado fino103

Tabla 31: Datos de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso103

Tabla 32: Cantidad mínima de espécimen para ensayo de contenido de humedad.....104

Tabla 33: Datos de contenido de humedad del agregado fino.....108

Tabla 34: Datos de contenido de humedad del agregado grueso.....108

Tabla 35: Número de capas necesarias para las probetas.....115

Tabla 36: Diámetro del pisón y número de golpes que se usan para moldear las probetas de ensayo115

Tabla 37: Datos del ensayo de consistencia con el cono de Abrams125

Tabla 38: Datos de ensayos de resistencia a la compresión en testigos con 7 días de edad..130

Tabla 39: Datos de ensayos de resistencia a la compresión en testigos con 14 días de edad130

Tabla 40: Datos de ensayos de resistencia a la compresión en testigos con 28 días de edad131

Tabla 41: Datos de ensayos de resistencia a la tracción indirecta en testigos con 7 días de edad137

Tabla 42: Datos de ensayos de resistencia a la tracción indirecta en testigos con 14 días de edad137

Tabla 43: Datos de ensayos de resistencia a la tracción indirecta en testigos con 28 días de edad138

Tabla 44: Análisis de datos del primer ensayo de granulometría del agregado fino.....140

Tabla 45: Comparación de los resultados del primer ensayo de granulometría del agregado fino con los límites indicados en las normas NTP 400.037 y ASTM C-33140

Tabla 46: Suma de los datos del segundo ensayo de granulometría del agregado fino141

Tabla 47: Análisis de datos del segundo ensayo de granulometría del agregado fino142

Tabla 48: Comparación de los resultados del segundo ensayo de granulometría del agregado fino con los límites indicados en las normas NTP 400.037 y ASTM C-33.....142

Tabla 49: Suma de los datos del ensayo de granulometría del agregado grueso143

Tabla 50: Análisis de datos del ensayo de granulometría del agregado grueso.....144

Tabla 51: Comparación de los resultados del ensayo de granulometría del agregado grueso con los límites indicados en las normas NTP 400.037 y ASTM C-33144

Tabla 52: Granulometría del primer ensayo en agregados finos con peso modificado en la malla #30146

Tabla 53: Resultados del peso específico y absorción del agregado fino149

Tabla 54: Resultados del peso específico y porcentaje de absorción del agregado grueso150

Tabla 55: Promedio del peso del agregado fino suelto.....151

Tabla 56: Promedio del peso del agregado fino compactado152

Tabla 57: Promedio del peso del agregado grueso suelto.....152

Tabla 58: Promedio del peso del agregado grueso compactado153

Tabla 59: Resultados de los pesos unitarios de los agregados finos y gruesos.....153

Tabla 60: Resultados del porcentaje de vacíos en agregados finos y gruesos155



Tabla 61: Resultados de contenido de humedad en agregados finos y gruesos.....157

Tabla 62: Datos de los agregados para el diseño de mezcla según el método ACI 211.1158

Tabla 63: Selección de la resistencia a compresión requerida cuando no se tienen datos disponibles para establecer la desviación estándar158

Tabla 64: Selección del asentamiento159

Tabla 65: Selección de la consistencia y asentamiento159

Tabla 66: Selección del volumen unitario de agua160

Tabla 67: Selección del contenido de aire atrapado.....160

Tabla 68: Selección de la relación agua/cemento por resistencia161

Tabla 69: Valores para interpolación161

Tabla 70: Selección del agregado grueso por unidad de volumen del concreto.....162

Tabla 71: Valores para interpolación163

Tabla 72: Pesos de los materiales ya corregidos del diseño de mezcla166

Tabla 73: Peso de materiales para el vaciado de testigos de concreto patrón.....168

Tabla 74: Peso de materiales para vaciado de 1° o 2° tanda de concreto en testigos con junta fría.....169

Tabla 75: Análisis de la consistencia de la mezcla con el cono de Abrams169

Tabla 76: 2% del diámetro de la briqueta.....171

Tabla 77: Valor absoluto de la resta de diámetros171

Tabla 78: Rango aceptable en fuerza individual de cilindros173

Tabla 79: Relación L/D de muestras sometidas a compresión a los 7 días175

Tabla 80: Relación L/D de muestras sometidas a compresión a los 14 días175

Tabla 81: Relación L/D de muestras sometidas a compresión a los 28 días176

Tabla 82: Variación de diámetros de las muestras ensayadas a compresión a los 7 días177

Tabla 83: Variación de diámetros de las muestras ensayadas a compresión a los 14 días177

Tabla 84: Variación de diámetros de las muestras ensayadas a compresión a los 28 días178

Tabla 85: Cálculo de la densidad y la resistencia a compresión de muestras a los 7 días179

Tabla 86: Cálculo de la densidad y la resistencia a compresión de muestras a los 14 días180

Tabla 87: Cálculo de la densidad y la resistencia a compresión de muestras a los 28 días181

Tabla 88: Rango aceptable en fuerza individual en muestras ensayadas a los 7 días182

Tabla 89: Rango aceptable en fuerza individual en muestras ensayadas a los 14 días183

Tabla 90: Rango aceptable en fuerza individual en muestras ensayadas a los 28 días184

Tabla 91: Porcentaje de disminución de F'c de muestras con junta fría respecto al concreto patrón a los 7 días185

Tabla 92: Porcentaje de disminución de F'c de muestras con junta fría respecto al concreto patrón a los 14 días186

Tabla 93: Porcentaje de disminución de F'c de muestras con junta fría respecto al concreto patrón a los 28 días187

Tabla 94: Variación de diámetros de las muestras ensayadas a tracción indirecta a los 7 días191



Tabla 95: Variación de diámetros de las muestras ensayadas a tracción indirecta a los 14 días192

Tabla 96: Variación de diámetros de las muestras ensayadas a tracción indirecta a los 28 días193

Tabla 97: Cálculo de la densidad y la resistencia a tracción indirecta de muestras a los 7 días según las normas NTG 41017-h15 y ASTM C 496194

Tabla 98: Cálculo de la densidad y la resistencia a tracción indirecta de muestras a los 14 días según las normas NTG 41017-h15 y ASTM C 496195

Tabla 99: Cálculo de la densidad y la resistencia a tracción indirecta de muestras a los 28 días según las normas NTG 41017-h15 y ASTM C 496196

Tabla 100: Porcentaje de disminución de resistencia a tracción indirecta de muestras con junta fría respecto al concreto patrón a los 7 días197

Tabla 101: Porcentaje de disminución de resistencia a tracción indirecta de muestras con junta fría respecto al concreto patrón a los 14 días198

Tabla 102: Porcentaje de disminución de resistencia a tracción indirecta de muestras con junta fría respecto al concreto patrón a los 28 días199

Tabla 103: Determinación del porcentaje que representa T respecto a F'c.....200

Tabla 104: Datos de resistencia a tracción indirecta y compresión de las muestras de concreto a los 7 días de edad.....201

Tabla 105: Determinación valores para obtener el coeficiente de correlación lineal de Pearson para muestras de concreto ensayadas a los 7 días.202

Tabla 106: Datos de resistencia a tracción indirecta y compresión de las muestras de concreto a los 14 días de edad.....204

Tabla 107: Determinación valores para obtener el coeficiente de correlación lineal de Pearson para muestras de concreto ensayadas a los 14 días.204

Tabla 108: Datos de resistencia a tracción indirecta y compresión de las muestras de concreto a los 28 días de edad.....206

Tabla 109: Determinación valores para obtener el coeficiente de correlación lineal de Pearson para muestras de concreto ensayadas a los 28 días.206

Tabla 110: Valor aproximado de la resistencia a compresión respecto a la resistencia a tracción indirecta del concreto con junta fría diagonal209

Tabla 111: Datos de porcentaje de disminución de la resistencia a compresión de las muestras de concreto a los 7 días de edad respecto al concreto patrón.....209

Tabla 112: Determinación valores para obtener el coeficiente de correlación lineal de Pearson para muestras de concreto ensayadas a los 7 días.210

Tabla 113: Porcentaje aproximado de disminución de f'c del concreto con junta fría respecto al su tiempo de formación.....211

Tabla 114: Datos de porcentaje de disminución de la resistencia a compresión de las muestras de concreto a los 14 días de edad respecto al concreto patrón.....212



Tabla 115: Determinación valores para obtener el coeficiente de correlación lineal de Pearson para muestras de concreto ensayadas a los 14 días.212

Tabla 116: Porcentaje aproximado de disminución de $f'c$ del concreto con junta fría respecto al su tiempo de formación214

Tabla 117: Datos de porcentaje de disminución de la resistencia a compresión de las muestras de concreto a los 28 días de edad respecto al concreto patrón.....215

Tabla 118: Determinación valores para obtener el coeficiente de correlación lineal de Pearson para muestras de concreto ensayadas a los 28 días.215

Tabla 119: Porcentaje aproximado de disminución de $f'c$ del concreto con junta fría respecto al su tiempo de formación217

Tabla 120: Datos de porcentaje de disminución de la resistencia a tracción indirecta de las muestras de concreto a los 7 días de edad respecto al concreto patrón.218

Tabla 121: Determinación valores para obtener el coeficiente de correlación lineal de Pearson para muestras de concreto ensayadas a los 7 días.218

Tabla 122: Porcentaje aproximado de disminución de T del concreto con junta fría respecto al su tiempo de formación.....220

Tabla 123: Datos de porcentaje de disminución de la resistencia a tracción indirecta de las muestras de concreto a los 14 días de edad respecto al concreto patrón.221

Tabla 124: Determinación valores para obtener el coeficiente de correlación lineal de Pearson para muestras de concreto ensayadas a los 14 días.221

Tabla 125: Porcentaje aproximado de disminución de T del concreto con junta fría respecto al su tiempo de formación.....223

Tabla 126: Datos de porcentaje de disminución de la resistencia a tracción indirecta de las muestras de concreto a los 28 días de edad respecto al concreto patrón.224

Tabla 127: Determinación valores para obtener el coeficiente de correlación lineal de Pearson para muestras de concreto ensayadas a los 28 días.224

Tabla 128: Porcentaje aproximado de disminución de T del concreto con junta fría respecto al su tiempo de formación.....226

Tabla 129: Propiedades del agregado fino modificado de la cantera de Cunyac227

Tabla 130: Propiedades del agregado grueso de la cantera de Pillahuara227

Tabla 131: Comparación de la resistencia a compresión de las muestras con junta fría respecto al concreto patrón a los 7 días de curado228

Tabla 132: Comparación de la resistencia a compresión de las muestras con junta fría respecto al concreto patrón a los 14 días de curado230

Tabla 133: Comparación de la resistencia a compresión de las muestras con junta fría respecto al concreto patrón a los 28 días de curado232

Tabla 134: Comparación de la resistencia a tracción indirecta de las muestras con junta fría respecto al concreto patrón a los 7 días de curado239

Tabla 135: Comparación de la resistencia a tracción indirecta de las muestras con junta fría respecto al concreto patrón a los 14 días de curado241



Tabla 136: Comparación de la resistencia a tracción indirecta de las muestras con junta fría respecto al concreto patrón a los 28 días de curado242

Tabla 137: Valor aproximado de la resistencia a compresión respecto a la resistencia a tracción indirecta del concreto con junta fría diagonal251

Tabla 138 : Porcentaje aproximado de disminución de f'c del concreto con junta fría respecto al su tiempo de formación253

Tabla 139 : Porcentaje aproximado de disminución de f'c del concreto con junta fría respecto al su tiempo de formación255

Tabla 140 : Porcentaje aproximado de disminución de f'c del concreto con junta fría respecto al su tiempo de formación257

Tabla 141: Porcentaje aproximado de disminución de T del concreto con junta fría respecto al su tiempo de formación.....259

Tabla 142: Porcentaje aproximado de disminución de T del concreto con junta fría respecto al su tiempo de formación.....260

Tabla 143: Porcentaje aproximado de disminución de T del concreto con junta fría respecto al su tiempo de formación.....262

Tabla 144: Nombre y datos obtenidos de las muestras sometidas a compresión a los 7 días 287

Tabla 145: Nombre y datos obtenidos de las muestras sometidas a compresión a los 14 días288

Tabla 146: Nombre y datos obtenidos de las muestras sometidas a compresión a los 28 días289

Tabla 147: Nombre y datos obtenidos de las muestras sometidas a tracción indirecta a los 7 días290

Tabla 148: Nombre y datos obtenidos de las muestras sometidas a tracción indirecta a los 14 días291

Tabla 149: Nombre y datos obtenidos de las muestras sometidas a tracción indirecta a los 28 días292

Tabla 150: Porcentaje de variación del peso y la densidad respecto al concreto patrón de las muestras de concreto ensayadas a compresión a los 7 días293

Tabla 151: Porcentaje de variación del peso y la densidad respecto al concreto patrón de las muestras de concreto ensayadas a compresión a los 14 días294

Tabla 152: Porcentaje de variación del peso y la densidad respecto al concreto patrón de las muestras de concreto ensayadas a compresión a los 28 días295

Tabla 153: Porcentaje de variación del peso y la densidad respecto al concreto patrón de las muestras de concreto ensayadas a tracción indirecta a los 7 días296

Tabla 154: Porcentaje de variación del peso y la densidad respecto al concreto patrón de las muestras de concreto ensayadas a tracción indirecta a los 14 días297

Tabla 155: Porcentaje de variación del peso y la densidad respecto al concreto patrón de las muestras de concreto ensayadas a tracción indirecta a los 28 días298

Tabla 156: Variables que influyen en la resistencia de las muestras de concreto.299



Tabla 157: Matriz de consistencia326



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Componentes del concreto: cemento, agua, agregado fino y agregado grueso.....	13
Figura 2: Proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto.	13
Figura 3: Sección transversal del concreto endurecido. La pasta de cemento y agua cubre completamente cada partícula de agregado y llena todos los espacios entre partículas.....	14
Figura 4: Las curvas indican los límites especificados en la AASHTO M6 y NTC 174 para el agregado fino y para un tamaño granulométrico de agregado grueso comúnmente utilizado. ..	17
Figura 5: Tipos de fractura	33
Figura 6: Diagrama esquemático de los patrones de fractura.	34
Figura 7: Ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral.....	38
Figura 8: Probeta colocada en máquina de ensayo para determinar la resistencia a la tracción por hendimiento.	38
Figura 9: Resistencia a compresión del concreto según la edad y el tiempo de curado húmedo.	54
Figura 10: Probetas de concreto con junta fría horizontal, diagonal y vertical.....	56
Figura 11: Ejemplos de correlación entre dos variables	58
Figura 12: Balanza de precisión	73
Figura 13: Serie de tamices para agregado fino	74
Figura 14: Serie de tamices para agregado grueso	74
Figura 15: Bomba de vacíos.....	74
Figura 16: Horno.....	75
Figura 17: Máquina de compresión	75
Figura 18: Agitador mecánico de tamices	76
Figura 19: Mezcladora.....	76
Figura 20: Cuarteo de muestra, pasos a, b y c.	78
Figura 21: Cuarteo de muestra, pasos d y e.	78
Figura 22: Pila de agregado seleccionado para el muestreo.	79
Figura 23: Cuarteo del material	79
Figura 24: Colocación de la muestra cuarteada en recipiente para evitar su contaminación.....	79
Figura 25: Materiales utilizados para realizar en ensayo de granulometría de agregados.	80
Figura 26: Agregado fino secado por 24 horas en el horno.	81
Figura 27: Pesaje de agregado fino seco.....	82
Figura 28: Muestra de agregado grueso	82
Figura 29: Tamizado de muestra de agregado grueso en la máquina agitadora.....	83
Figura 30: Agregado fino tamizado por las mallas N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200	83
Figura 31: Tamizado del agregado fino por las mallas N°16 y N° 30.....	86
Figura 32: Tamizado del agregado fino por la malla N°30.....	86
Figura 33: Material que pasa la malla N°16 y retenido en la malla N°30.....	87



Figura 34: Acumulación del agregado B o agregado retenido entre las mallas N°16 y N°30.....87

Figura 35: Mezcla del agregado tamizado y el agregado no modificado por peso.88

Figura 36: Secado de muestras de agregado en el horno.....89

Figura 37: Agregado grueso saturado por 24 horas.....89

Figura 38: Secado de agregado grueso hasta el estado saturado superficialmente seco90

Figura 39: Determinación del peso sumergido del agregado grueso.90

Figura 40: Toma de peso de la muestra de agregado grueso secado al horno.....91

Figura 41: Muestra de agregado fino tamizado por la malla N°4 puesta en el horno para su secado
.....92

Figura 42: Agregado fino sumergido en agua por 24 horas.....93

Figura 43: Eliminación de burbujas de aire del agua con la bomba de vacíos93

Figura 44: Toma de peso del agua en el picnómetro sin burbujas de aire.93

Figura 45: Secado de la muestra de agregado fino hasta estado saturado superficialmente seco
.....94

Figura 46: Ensayo del cono metálico con el agregado fino95

Figura 47: Arena en forma cónica terminada en punta después de ensayo con el cono metálico
.....95

Figura 48: Toma de peso de agregado fino saturado superficialmente seco96

Figura 49: Colocación de agregado fino saturado superficialmente seco en el horno para su
secado.....96

Figura 50: Eliminación de burbujas de aire de la muestra de agregado fino en el picnómetro ..97

Figura 51: Toma de peso de muestra de agregado fino en picnómetro sin burbujas de aire.....97

Figura 52: Peso de muestra de agregado fino en picnómetro97

Figura 53: Distribución del agregado fino en el molde para determinar el peso unitario suelto .99

Figura 54: Distribución del agregado grueso en el molde para determinar el peso unitario suelto
.....99

Figura 55: Enrasado de agregado fino.....100

Figura 56: Toma de peso de molde con agregado fino100

Figura 57: Compactado del agregado fino en el molde para determinar el peso unitario
compactado101

Figura 58: Compactado del agregado grueso en el molde para determinar el peso unitario
compactado del agregado.....101

Figura 59: Enrasado de agregado fino en molde para determinar el peso unitario compactado
.....101

Figura 60: Enrasado del agregado grueso en el molde para determinar el peso unitario
compactado102

Figura 61: Determinación del peso unitario compactado del agregado grueso102

Figura 62: Peso de la muestra de agregado fino con el recipiente105

Figura 63: Peso de la muestra de agregado grueso con el recipiente105

Figura 64: Muestra de agregado grueso seca, retirada del horno106



Figura 65: Toma de peso de agregado fino seco107

Figura 66: Toma de peso del agregado grueso seco107

Figura 67: Toma de peso de agregado grueso seco para determinar el contenido de humedad107

Figura 68: Colocación de desmoldante en las briqueteras113

Figura 69: Determinación de peso del agregado de acuerdo al diseño de mezcla para la elaboración de concreto113

Figura 70: Concreto fresco114

Figura 71: Enrasado de muestras de concreto116

Figura 72: Enrasado de muestras de concreto116

Figura 73: Desmoldado de muestras de concreto a las 24 horas después de su vaciado.....117

Figura 74: Colocación de concreto fresco en carretilla para facilitar su manejo117

Figura 75: Compactación de primera capa de concreto fresco.....118

Figura 76: Colocación del molde de madera y compactación con el martillo de goma.....118

Figura 77: Moldes de madera para dar forma diagonal a la junta119

Figura 78: Junta fría diagonal en la primera capa de concreto119

Figura 79: Primera capa de concreto en muestras con junta fría diagonal120

Figura 80: Colocación y compactación de la segunda capa de concreto en las muestras con junta fría120

Figura 81: Muestras de concreto con junta fría con tiempo de formación de 2 y 1 1/2 horas enrasadas.....121

Figura 82: Muestras desmoldadas de concreto con junta fría con tiempo de formación de 1 hora121

Figura 83: Muestras de concreto con junta fría desmoldadas122

Figura 84: Muestra de concreto con junta fría en pozo de curado122

Figura 85: Compactación de las capas de concreto para el determinar el revenimiento123

Figura 86: Medida de consistencia de la mezcla con el cono de Abrams124

Figura 87: Retiro del molde cónico para ensayo del cono de Abrams124

Figura 88: Medida del asentamiento con el cono de Abrams124

Figura 89: Medida del asentamiento con el cono de Abrams125

Figura 90: Toma de datos del peso de las muestras de concreto.....126

Figura 91: Toma de datos de medida de las muestras.....126

Figura 92: Toma de medidas de las muestras de concreto127

Figura 93: Ensayo de compresión de la muestra de concreto127

Figura 94: Máquina de compresión128

Figura 95: Muestra C-3-B-28 de concreto sometida a compresión axial, con falla tipo 2128

Figura 96: Muestra C-3-D-28 de concreto sometida a compresión axial, con falla tipo 2129

Figura 97: Muestra C-1-A-14 de concreto sometida a compresión axial, con falla tipo 4129

Figura 98: Toma de medidas de las muestras de concreto132

Figura 99: Toma de medidas de las muestras de concreto132



Figura 100: Orientación de la briqueta con junta fría para el ensayo de tracción133

Figura 101: Dibujo de líneas en las briquetas para el ensayo de tracción indirecta133

Figura 102: Muestras de concreto con líneas dibujadas para su ubicación en la máquina de compresión134

Figura 103: Muestra de concreto colocada en la máquina de compresión para el ensayo de tracción indirecta.....134

Figura 104: Muestra de concreto ensayada a tracción indirecta.....135

Figura 105: Muestra de concreto ensayada a tracción indirecta.....135

Figura 106: Muestra de concreto ensayada a tracción.....136

Figura 107: Muestra de concreto ensayada a tracción.....136

Figura 108: Muestras de concreto ensayadas a tracción indirecta136

Figura 109: Curva granulométrica del primer ensayo de granulometría en agregado fino.....141

Figura 110: Curva granulométrica del segundo ensayo de granulometría en agregado fino...143

Figura 111: Curva granulométrica del ensayo de granulometría en agregado grueso145

Figura 112: Diagrama de dispersión de resistencia a tracción indirecta y a compresión de muestras de 28 días de edad207

Figura 113: Diagrama de dispersión de porcentaje de disminución de la resistencia a compresión de muestras de 28 días de edad respecto al concreto patrón.216

Figura 114: Diagrama de dispersión de porcentaje de disminución de la resistencia a tracción indirecta de muestras de 28 días de edad respecto al concreto patrón.225

Figura 115: Resistencia a la compresión a los 7 días del concreto patrón y las muestras con junta fría con diferentes tiempos de formación229

Figura 116: Porcentaje de disminución de resistencia a compresión respecto al concreto patrón a los 7 días229

Figura 117: Resistencia a la compresión a los 14 días del concreto patrón y las muestras con junta fría con diferentes tiempos de formación.....231

Figura 118: Porcentaje de disminución de resistencia a compresión respecto al concreto patrón a los 14 días231

Figura 119: Resistencia a la compresión a los 28 días del concreto patrón y las muestras con junta fría con diferentes tiempos de formación.....233

Figura 120: Porcentaje de disminución de resistencia a compresión respecto al concreto patrón a los 28 días233

Figura 121: Resistencia a compresión de las muestras de concreto patrón y con junta fría a los 7, 14 y 28 días235

Figura 122: Porcentaje de disminución de la resistencia a compresión del concreto con junta fría de 1 hora de formación respecto al concreto patrón a los 7, 14 y 28 días236

Figura 123: Porcentaje de disminución de la resistencia a compresión del concreto con junta fría de 1 1/2 horas de formación respecto al concreto patrón a los 7, 14 y 28 días.....236

Figura 124: Porcentaje de disminución de la resistencia a compresión del concreto con junta fría de 2 horas de formación respecto al concreto patrón a los 7, 14 y 28 días.....237



Figura 125: Porcentaje de disminución de la resistencia a compresión del concreto con junta fría de 3 horas de formación respecto al concreto patrón a los 7, 14 y 28 días.....237

Figura 126: Porcentaje de disminución de la resistencia a compresión del concreto con junta fría de 4 horas de formación respecto al concreto patrón a los 7, 14 y 28 días.....238

Figura 127: Resistencia a la tracción indirecta a los 7 días del concreto patrón y las muestras con junta fría con diferentes tiempos de formación.....239

Figura 128: Porcentaje de disminución de resistencia a tracción indirecta respecto al concreto patrón a los 7 días240

Figura 129: Resistencia a la tracción indirecta a los 14 días del concreto patrón y las muestras con junta fría con diferentes tiempos de formación241

Figura 130: Porcentaje de disminución de resistencia a tracción indirecta respecto al concreto patrón a los 14 días.....242

Figura 131: Resistencia a la tracción indirecta a los 28 días del concreto patrón y las muestras con junta fría con diferentes tiempos de formación243

Figura 132: Porcentaje de disminución de resistencia a tracción indirecta respecto al concreto patrón a los 28 días.....243

Figura 133: Resistencia a tracción indirecta de las muestras de concreto patrón y con junta fría a los 7, 14 y 28 días.....244

Figura 134: Porcentaje de disminución de la resistencia a tracción indirecta del concreto con junta fría de 1 hora de formación respecto al concreto patrón a los 7, 14 y 28 días245

Figura 135: Porcentaje de disminución de la resistencia a tracción indirecta del concreto con junta fría de 1 1/2 horas de formación respecto al concreto patrón a los 7, 14 y 28 días.....245

Figura 136: Porcentaje de disminución de la resistencia a tracción indirecta del concreto con junta fría de 2 horas de formación respecto al concreto patrón a los 7, 14 y 28 días.....246

Figura 137: Porcentaje de disminución de la resistencia a tracción indirecta del concreto con junta fría de 3 horas de formación respecto al concreto patrón a los 7, 14 y 28 días.....246

Figura 138: Porcentaje de disminución de la resistencia a tracción indirecta del concreto con junta fría de 4 horas de formación respecto al concreto patrón a los 7, 14 y 28 días.....247

Figura 139: Diagrama de dispersión de resistencia a tracción indirecta y a compresión de muestras de 28 días de edad250

Figura 140: Diagrama de dispersión de porcentaje de disminución de la resistencia a compresión de muestras de 28 días de edad respecto al concreto patrón.256

Figura 141: Diagrama de dispersión de porcentaje de disminución de la resistencia a tracción indirecta de muestras de 28 días de edad respecto al concreto patrón.261

Figura 142: Agregado grueso de 1/2" lavado por la malla N°4 de la cantera de Pillahuara300

Figura 143: Ensayo del cono de Abrams300

Figura 144: Determinación del revenimiento con el ensayo del cono de Abrams301

Figura 145: Determinación del revenimiento con el ensayo del cono de Abrams301

Figura 146: Determinación del revenimiento con el ensayo del cono de Abrams302

Figura 147: Compactación de la primera capa de concreto en los moldes302



Figura 148: Primera capa de concreto en nuestras con junta fría diagonal de 45°303

Figura 149: Colocación de la segunda capa de concreto en las briqueteras303

Figura 150: Compactación de la segunda capa de concreto con junta fría diagonal de 45°.....304

Figura 151: Compactación de la capa de concreto fresco sobre el concreto viejo304

Figura 152: Eliminación de burbujas de aire en el concreto mediante golpes con el martillo de goma305

Figura 153: Enrasado de la superficie del testigo de concreto305

Figura 154: Testigos de concreto desencofrados.....306

Figura 155: Desmoldado de briquetas con junta fría de 2 y 1 1/2 horas306

Figura 156: Toma de medida del diámetro de la muestra de concreto306

Figura 157: Medida del diámetro de la muestra de concreto307

Figura 158: Marcación de la probeta para ensayo a tracción indirecta307

Figura 159: Dibujo de las líneas guía para en la probeta para ensayo de resistencia a tracción indirecta.....307

Figura 160: Toma de peso de muestra C-P-C-7308

Figura 161: Muestras de concreto patrón a los 28 días.....308

Figura 162: Ensayo de tracción indirecta a muestra e concreto con junta fría con tiempo de formación de 3 horas a los 7 días.....309

Figura 163: Muestra de concreto ensayada a tracción indirecta con 7 días de edad309

Figura 164: Muestra C-3-A-28 sometida a compresión con falla tipo 4.....310

Figura 165: Muestra C-1-B-28 sometida a compresión con falla tipo 2.....310

Figura 166: Muestra C-1-A-28 sometida a compresión con falla tipo 2.....311

Figura 167: Muestra C-1.5-C-28 sometida a compresión con falla tipo 2.....311

Figura 168: Muestra C-3-C-7 sometida a compresión con falla tipo 3312

Figura 169: Muestra C-1-B-7 sometida a compresión con falla tipo 2.....312

Figura 170: Muestra de concreto con junta fría con 4 horas de formación con 7 días de edad sometida a compresión313

Figura 171: Muestra C-3-A-7 sometida a compresión con tipo de falla 2.....313

Figura 172: Muestra C-4-B-7 sometida a compresión con tipo de falla 2.....314

Figura 173: Muestra T-4-A-7 ensayada a tracción indirecta314

Figura 174: Muestra C-P-A-14 sometida a compresión con falla tipo 5315

Figura 175: Muestra C-1-A-14 sometida a compresión con falla tipo 4.....315

Figura 176: Muestra C-1-B-14 sometida a compresión con falla tipo 4.....316

Figura 177: Muestra T-1-B-28 sometida a tracción indirecta316

Figura 178: Muestra T-4-B-28 sometida a tracción indirecta317

Figura 179: Muestra T-1-A-28 sometida a tracción indirecta317

Figura 180: Muestra T-1.5-A-28 sometida a tracción indirecta318

Figura 181: Muestra T-P-A-28 sometida a compresión318

Figura 182: Muestras con junta fría con 2 horas de formación sometidas a compresión y tracción indirecta a los 14 días319



Figura 183: Muestra C-P-A-28 sometida a compresión con falla tipo 3319

Figura 184: Datos de ensayo de resistencia a tracción indirecta de muestra T-3-A-7320

Figura 185: Datos de ensayo de resistencia a tracción indirecta de muestra T-2-B-7320

Figura 186: Datos de ensayo de resistencia a compresión de muestra C-P-A-14320

Figura 187: Datos de ensayo de resistencia a tracción indirecta de muestra T-P-B-14.....320

Figura 188: Datos de ensayo de resistencia a tracción indirecta de muestra T-1.5-A-14321

Figura 189: Datos de ensayo de resistencia a compresión de muestra C-1.5-B-14321

Figura 190: Datos de ensayo de resistencia a compresión de muestra C-4-A-14.....321

Figura 191: Datos de ensayo de resistencia a tracción indirecta de muestra T-2-A-28321

Figura 192: Datos de ensayo de resistencia a tracción indirecta de muestra T-1-A-7321

Figura 193: Datos de ensayo de resistencia a tracción indirecta de muestra T-1-A-14322

Figura 194: Datos de ensayo de resistencia a compresión de muestra C-P-C-28322

Figura 195: Datos de ensayo de resistencia a compresión de muestra C-P-B-28322

Figura 196: Datos de ensayo de resistencia a compresión de la muestra C-1.5-B-28322

Figura 197: Datos de ensayo de resistencia a tracción indirecta de muestra T-2-C-28.....323

Figura 198: Datos de ensayo de resistencia a tracción indirecta de muestra T-3-A-28323

Figura 199: Datos de ensayo de resistencia a compresión de muestra C-4-B-7323

Figura 200: Datos de ensayo de resistencia a compresión de muestra C-1-B-7323

Figura 201: Datos de ensayo de resistencia a tracción indirecta de muestra T-4-A-7324

Figura 202: Datos de ensayo de resistencia a tracción indirecta de muestra T-P-C-7324

Figura 203: Datos de ensayo de resistencia a tracción indirecta de muestra T-2-B-14324

Figura 204: Datos de ensayo de resistencia a compresión de muestra C-1-B-28324

Figura 205: Datos de ensayo de resistencia a compresión de muestra C-P-B-7325

Figura 206: Guía para alinear los cilindros de hormigón con franjas de apoyo325



CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

1.1.1. Descripción del problema

Durante los vaciados en obra, ya sea con concreto preparado in-situ o premezclado, pueden ocurrir problemas de abastecimiento del mismo, ya sea por averías en el equipo a utilizar, demoras en la llegada del mixer, mal planeamiento, etc. Dando lugar al endurecimiento del concreto ya colocado en un vaciado incompleto.

Diversos autores como Castillo Fernández y Rivva López mencionan el tratamiento que se debe realizar en estos casos para garantizar la adherencia del concreto fresco con el concreto endurecido. Sin embargo durante la práctica ya sea por falta de experiencia o por una mala supervisión en obra, no se toman en cuenta las recomendaciones, creándose así una junta no prevista, sin el tratamiento adecuado, conocida como “junta fría”. Lo que impide la formación de una estructura monolítica, influyendo en las propiedades resistentes del concreto.

La Norma E.060 nos indica que no se debe depositar concreto fresco sobre otro que haya endurecido lo suficiente para formar una junta o plano de vaciado dentro de la sección. Sin embargo, aún no se han realizado estudios en la ciudad del Cusco que analicen la influencia de las juntas frías sin tratamiento.

El presente trabajo de investigación será un aporte en las áreas de construcciones y estructuras ya que intentará esclarecer el comportamiento que tiene este material en la resistencia a compresión y a tracción, cuando el vaciado ha sido interrumpido y no se ha realizado un tratamiento a la junta fría. Para que en la práctica se pueda tomar conciencia que para obtener un concreto de calidad, no solo son importantes los componentes del mismo, sino también la correcta ejecución del vaciado.



1.1.2. Formulación interrogativa de los problemas

1.1.2.1. Formulación interrogativa del problema general

¿Cómo influye la junta fría diagonal con tiempos de formación de 1, $1\frac{1}{2}$, 2, 3 y 4 horas en la resistencia a compresión y tracción en testigos de concreto $f'c=210$ kg/cm² con agregados de las canteras Pillahuara y Cunyac a edades de 7, 14 y 28 días en comparación a un concreto patrón?

1.1.2.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos

Problema Especifico N° 1:

¿Cómo varía la resistencia a compresión en los testigos de concreto $f'c=210$ kg/cm² con agregados de las canteras Pillahuara y Cunyac con junta fría diagonal con tiempos de formación de 1, $1\frac{1}{2}$, 2, 3 y 4 horas con respecto al concreto patrón con vaciado ininterrumpido a edades de 7, 14 y 28 días?

Problema Especifico N° 2:

¿Cómo varía la resistencia a tracción en los testigos de concreto $f'c=210$ kg/cm² con agregados de las canteras Pillahuara y Cunyac con junta fría diagonal con tiempos de formación de 1, $1\frac{1}{2}$, 2, 3 y 4 horas con respecto al concreto patrón con vaciado ininterrumpido a edades de 7, 14 y 28 días?

1.2. Justificación e importancia de la investigación

1.2.1. Justificación técnica

Según la Norma E.060 de Concreto Armado, el proceso de colocación de concreto deberá efectuarse en una operación continua o en capas de espesor tal que el concreto no sea depositado sobre otro que ya haya endurecido lo suficiente para originar la formación de juntas o planos de vaciado dentro de la sección. Sin embargo, en obra se pueden presentar imprevistos que no permitan un vaciado de concreto continuo, dando lugar a la formación de juntas frías.

Por esta razón la presente investigación, mediante ensayos de laboratorio normados, busca conocer la influencia de la junta fría con diferentes tiempos de



formación en la resistencia a compresión y tracción de testigos de concreto $f'c=210$ kg/cm². Este estudio será una base para futuras investigaciones respecto al comportamiento del concreto con vaciado discontinuo.

Las briquetas de concreto estudiadas serán sometidas a ensayos de compresión y tracción contempladas en las normas NTP 339.034 y ASTM C-496 respectivamente.

1.2.1.1. Justificación de la aplicación de los tiempos de formación de junta fría de 1, 1 $\frac{1}{2}$, 2, 3 y 4 horas

Se han escogido los tiempos de 1, 1 $\frac{1}{2}$, 2, 3 y 4 horas en base a la ficha técnica del cemento Portland Puzolánico Yura IP – Alta durabilidad, debido a que es el cemento con más demanda en nuestra ciudad y las Normas NTP 334.090 y ASTM C595.

En los requisitos físicos del cemento Yura se indica el tiempo de fraguado final de 270 minutos. A su vez, las normas mencionadas, indican el tiempo de fraguado inicial de 45 min (mínimo). Por esto se consideraron los tiempos de formación de junta entre 1 y 4 horas.

1.2.2. Justificación social

Esta investigación favorece a los alumnos de ingeniería civil de la Universidad Andina del Cusco, ya que brinda información sobre los efectos de las juntas frías en el concreto con diferentes tiempos de formación, también es una herramienta que puede incentivar y servir como una guía para futuras investigaciones en temas relacionados. Los ingenieros en campo también se ven favorecidos ya que tienen el deber de supervisar la buena ejecución de los trabajos, tendrán presente los efectos que tiene la interrupción de un vaciado de concreto en la resistencia a compresión y tracción del mismo.

El sector de la autoconstrucción en nuestra ciudad también se ve favorecido, ya que muchas veces ya sea por falta de experiencia o desconocimiento de las normas existentes, no se toma en cuenta la influencia de la formación de juntas frías en la calidad del concreto. Llegando a comprometer la calidad de la estructura y la seguridad de las personas que hacen uso de la misma.



1.2.3. Justificación por viabilidad

El proyecto es considerado viable debido a que se tiene acceso a los materiales para realizar los testigos de concreto $f'c=210$ kg/cm², información, reglamentos y equipo necesario facilitado por la Universidad Andina del Cusco para los ensayos de muestreo (ASTM D-75 y NMX C-170-ONNCCE), granulometría de agregados (NTP 400.012), peso específico (NTP 400.022 para agregados finos y NTP 400.021 para agregados gruesos), peso unitario (NTP 400.017), contenido de humedad (NTP 339.185), asentamiento con el cono de Abrams (ASTM C-143), resistencia a compresión (NTP 339.034 y ASTM C-39) y resistencia a la tracción indirecta (ASTM C-496 y NTG 41017-h15).

Se cuenta también con el apoyo de profesionales con experiencia. Se considera que este trabajo de investigación es viable económicamente ya que los gastos pueden ser solventados.

1.2.4. Justificación por relevancia

La presente investigación justifica su importancia ya que busca determinar la influencia de la junta fría con diferentes tiempos de formación en la ciudad del Cusco con agregados locales en la resistencia a compresión y tracción en los testigos de concreto. Ya que nos permitirá conocer cómo se ven afectadas las propiedades resistentes del concreto cuando el vaciado es interrumpido.

1.3. Limitaciones de la investigación

- a) Se limita al estudio de junta fría diagonal semi-rugosa con 45° de inclinación en los testigos de concreto.
- b) Se limita al estudio de juntas frías con tiempos de formación de 1, $1\frac{1}{2}$, 2, 3 y 4 horas.
- c) Se limita al ensayo de briquetas de diámetro de 10 cm y longitud de 20 cm.
- d) Se limita al análisis de probetas compactadas mediante chuseo y curado mediante inmersión.
- e) El estudio se limita al análisis de resistencia a compresión y tracción indirecta de concreto $f'c=210$ kg/cm².



- f) El tipo de cemento usado es el Portland Puzolánico tipo IP de marca Yura.
- g) El agua que se usó fue potable, que provee la empresa Seda Cusco.
- h) Los agregados utilizados fueron de la cantera Pillahuara–San Salvador y Cunyac.
- i) El método de diseño de mezcla de concreto es el ACI 211.1
- j) Se restringe a investigar analizar y comparar.
- k) El tiempo para realizar la investigación es parcial y limitado.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Analizar comparativamente la influencia de la junta fría diagonal con tiempos de formación de 1, $1\frac{1}{2}$, 2, 3 y 4 horas en la resistencia a compresión y tracción en testigos de concreto $f'c=210$ kg/cm² con agregados de las canteras Pillahuara y Cunyac a edades de 7, 14 y 28 días respecto al concreto patrón.

1.4.2. Objetivos específicos

Objetivo Especifico N° 1:

Determinar la variación de la resistencia a compresión de los testigos de concreto $f'c=210$ kg/cm² con agregados de las canteras Pillahuara y Cunyac con junta fría diagonal con tiempos de formación de 1, $1\frac{1}{2}$, 2, 3 y 4 horas con respecto al concreto patrón con vaciado ininterrumpido a edades de 7, 14 y 28 días.

Objetivo Especifico N° 2:

Determinar la variación de la resistencia a tracción de los testigos de concreto $f'c=210$ kg/cm² con agregados de las canteras Pillahuara y Cunyac con junta fría diagonal con tiempos de formación de 1, $1\frac{1}{2}$, 2, 3 y 4 horas con respecto al concreto patrón con vaciado ininterrumpido a edades de 7, 14 y 28 días



1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

La junta fría diagonal con tiempos de formación de 1, $1\frac{1}{2}$, 2, 3 y 4 horas en los testigos de concreto $f'c=210$ kg/cm² a edades de 7, 14 y 28 días con agregados de las canteras Pillahuara y Cunyac, disminuye la resistencia a compresión y tracción del concreto con junta fría respecto al concreto patrón.

1.5.2. Sub hipótesis

Sub Hipótesis N° 1:

Los testigos de concreto $f'c=210$ kg/cm² con junta fría diagonal con tiempos de formación de 1, $1\frac{1}{2}$, 2, 3 y 4 horas a edades de 7, 14 y 28 días con agregados de las canteras Pillahuara y Cunyac presentan una disminución en la resistencia a compresión con respecto al concreto patrón con vaciado ininterrumpido. Esta reducción es mayor conforme aumente el tiempo de interrupción de mezcla y la edad del concreto sea menor. La correlación entre la resistencia a compresión de las muestras y el tiempo de formación de la junta fría es positiva.

Sub Hipótesis N° 2:

Los testigos de concreto $f'c=210$ kg/cm² con junta fría diagonal con tiempos de formación de 1, $1\frac{1}{2}$, 2, 3 y 4 horas a edades de 7, 14 y 28 días con agregados de las canteras Pillahuara y Cunyac presentan una disminución en la resistencia a tracción con respecto al concreto patrón con vaciado ininterrumpido. Esta reducción es mayor conforme aumente el tiempo de interrupción de mezcla y la edad del concreto sea menor. La correlación entre la resistencia a tracción de las muestras y el tiempo de formación de la junta fría es positiva.

1.6. Definición de variables e indicadores

1.6.1. Variables independientes

- Concreto $f'c =210$ kg/cm² con junta fría



1.6.1.1. Indicadores de variables independientes

- Cantidad de agua (Lt)
- Cantidad de cemento (Kg)
- Cantidad de agregado (Kg)
- Tiempo de formación de junta fría en concreto (Horas)

1.6.2. Variables dependientes

- Resistencia a compresión
- Resistencia a tracción

1.6.2.1. Indicadores de variables dependientes

- Valor de la resistencia a compresión en kilogramo por centímetro cuadrado (Fuerza de compresión / área de resistencia a compresión)
- Valor de la resistencia a tracción en kilogramo por centímetro cuadrado (Fuerza de tracción / área de resistencia a tracción por compresión diametral)



1.6.3. Cuadro de operacionalización de variables.

VARIABLE	DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE	NIVEL	INDICADORES	INSTRUMENTOS
VARIABLE DEPENDIENTE				
Resistencia a compresión (f'c)	Esfuerzo axial simple determinado a partir del ensayo de testigos de concreto normado a edades de 7, 14 y 28 días.	Resistencia a compresión a los 7 días.	Valor de la resistencia a compresión en kilogramo por centímetro cuadrado (Fuerza de compresión / área de resistencia a compresión)	-Guías de observación de Laboratorio. -Fichas de recolección -NTP 339.034
		Resistencia a compresión a los 14 días.		
		Resistencia a compresión a los 28 días.		
Resistencia a tracción (T)	Esfuerzo del concreto sometido a la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto, determinado a partir del ensayo de tracción indirecta o ensayo brasileño en testigos de concreto normado a edades de 7, 14 y 28 días.	Resistencia a tracción a los 7 días.	Valor de la resistencia a tracción en kilogramo por centímetro cuadrado (Fuerza de tracción / área de resistencia a tracción)	-Guías de observación de Laboratorio. -Fichas de recolección -NTP 339.084
		Resistencia a tracción a los 14 días.		
		Resistencia a tracción a los 28 días.		
VARIABLE INDEPENDIENTE				
Concreto f'c =210 kg/cm2 con junta fría	El concreto es una mezcla, adecuadamente dosificada, de cemento, agua y agregados fino y grueso. Adicionalmente también puede tener en su composición aditivos, adiciones y fibra.	Lt.	Cantidad de agua	-Fichas técnicas -Hojas electrónicas
		Kg.	Cantidad de cemento	-Fichas técnicas -Hojas electrónicas
		Kg.	Cantidad de agregado	-Fichas técnicas -Hojas electrónicas
	La junta fría es una junta imprevista de hormigonado sin tratamiento. Resulta del vaciado de un concreto fresco sobre uno endurecido.	Tiempo de formación de 1 hora	Tiempo de formación de junta fría en concreto	-Fichas técnicas -Cronómetro
		Tiempo de formación de 1 1/2 horas		
		Tiempo de formación de 2 horas		
		Tiempo de formación de 3 horas		
Tiempo de formación de 4 horas				



CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes a nivel local

Autor : Guido Johann Alcázar Morales

Institución : Universidad Andina del Cusco

Año : 2014

Título : “Evaluación comparativa de la resistencia a la compresión y módulo de ruptura de un concreto elaborado con agregados de Vicho, Cunyac y cemento portland tipo IP, utilizando puente de adherencia frente a un concreto tradicional para resistencia de 210 y 280 kg/cm²”

Resumen : La investigación busca evaluar comparativamente el comportamiento y la variación de la resistencia a compresión ($f'c$) y módulo de ruptura (M_r) de concretos utilizando un puente de adherencia a base de resinas epóxicas, frente a concretos tradicionales de la ciudad del Cusco.

Se realizaron probetas cilíndricas (briquetas) y prismáticas (vigas) de concreto, las probetas elaboradas fueron tanto tradicionales como también utilizando el puente de adherencia, a las cuales se les sometió a los ensayos de compresión y flexión respectivamente.

Conclusión : La resistencia a compresión ($f'c$) de un concreto con puente de adherencia disminuye respecto a un concreto patrón, pero el módulo de ruptura mantiene valores similares. El concreto con puente de adherencia y textura rugosa en su junta, presenta un mejor desarrollo de resistencia a compresión que el concreto con puente de adherencia y textura lisa en su junta. Se observa que el tipo de textura en la junta entre concreto antiguo y nuevo, no es un factor determinante para la variación de módulos de ruptura o resistencias a flexión.



2.1.2. Antecedentes a nivel nacional

Autores : Cinthia Stefani Paredes López y Carlos Edmundo Reyes Cossio

Institución : Universidad Privada Antenor Orrego

Año : 2015

Título : “Influencia del uso de adhesivo epóxico ColmaFix 32 como puente adherente en vigas de concreto armado sujetas a flexión para la recuperación de su monolitismo”

Resumen : La investigación busca analizar la influencia del adhesivo epóxico ColmaFix 32 aplicado como puente adherente entre concretos de diferentes edades, construyendo tres vigas de concreto armado (una viga sin adhesivo, una con adhesivo sobre el eje neutro y otra bajo el eje neutro). Dichas vigas se sometieron a la aplicación de una carga, repartida en dos cargas puntuales.

Las vigas ensayadas contaban con una varilla de refuerzo en el interior del encofrado, se colocaron dados de concreto para asegurar el recubrimiento de 2.5 cm. En la primera etapa se elaboraron 3 vigas, una de ellas monolítica y dos con vaciado interrumpido. En la segunda etapa se colocó el adhesivo epóxico, limpiando la superficie del elemento, colocando el epóxico y vaciando el peralte restante. Es necesario resaltar que en esta investigación no se menciona el tiempo transcurrido entre los dos vaciados. Finalmente, a los 28 días de curado, se realizaron ensayos de flexión en una máquina universal de carga artesanal no reglamentada.

Conclusión : La aplicación del adhesivo ColmaFix 32 influye en la conservación de las características de una viga dependiendo la altura en la que se ubica el puente adherente. El adhesivo aplicado sobre el eje neutro incrementa la resistencia en un 9.09% en una viga de concreto armado en comparación a una viga monolítica. Pero cuando se aplica el adhesivo bajo el

eje neutro, la resistencia disminuye en un 2.5% en una viga con epóxico respecto a una viga monolítica.

2.1.3. Antecedentes a nivel internacional

Autor : Guillermo Andrés Castillo Fernández

Institución : Universidad Austral de Chile

Año : 2008

Título : “Comportamiento de juntas de hormigonado a los esfuerzos de compresión y flexotracción en hormigones H30, H25 y H20”

Resumen : La investigación estudia el comportamiento que tiene el concreto con juntas de hormigonado a los esfuerzos de compresión y flexotracción en hormigones H30 (300 kg/cm²), H20 (200 kg/cm²) y H25 (250 kg/cm²), a edades de 7, 14 y 28 días. Para lo cual se realizan probetas que asemejen esta condición. Se comparan los resultados de los concretos con junta de hormigonado (con tiempo de formación de 28 días) con los de un concreto que fue vaciado normalmente, sin interrupciones.

Conclusión : En los tres tipos de concreto ensayados, se nota una disminución de la resistencia a compresión a los 7 días, esta reducción es más perceptible en los ensayos a los 14 y 28 días. Esto puede deberse a que el hormigón envejecido, que ya alcanzó su resistencia de trabajo, en conjunto con el nuevo hormigón, que aún no está con su resistencia de trabajo, trabajan de manera tal que la resistencia que opone el patrón antiguo es más significativa, alcanzando una menor disminución de la resistencia a edades tempranas en comparación con hormigones patrones.

En lo que respecta a la resistencia a flexotracción, esta muestra una disminución considerable de hasta 37,80% a los 7 días, pero al aumentar la edad del concreto la resistencia disminuye en menor porcentaje, llegando hasta 9,82% a los 28 días.



2.2. Aspectos teóricos pertinentes

2.2.1. El concreto

“El concreto es una mezcla, adecuadamente dosificada, de cemento, agua y agregados fino y grueso. Adicionalmente también puede tener en su composición aditivos, adiciones y fibra.” (Rivva López, Materiales para el concreto, 2014)

Según Rivva López, Materiales para el concreto (2014):

El concreto es un producto artificial compuesto que consiste de un medio ligante denominado pasta, dentro del cual se encuentran embebidas partículas de un medio ligado llamado agregado. La pasta es el resultado de la combinación química del material cementante con el agua, es la fase continua del concreto dado que siempre está unida con algo de ella misma a través de todo el conjunto de éste. El agregado es la fase discontinua del concreto dado que sus diversas partículas no se encuentran unidas o en contacto unas con otras, sino que se encuentran separadas por espesores diferentes de la pasta endurecida. Las propiedades del concreto están determinadas fundamentalmente por las características físicas y químicas de sus materiales componentes.

La mezcla íntima de los componentes del concreto produce una masa plástica que puede ser moldeada y compactada con relativa facilidad, pero gradualmente pierde esta característica y al cabo de algunas horas se torna rígida y comienza a adquirir el aspecto, comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido, para convertirse finalmente en el material mecánicamente resistente que es el concreto endurecido. (...)

El comportamiento mecánico del concreto y su durabilidad en servicio dependen de tres aspectos básicos:

- a) Las características, composición y propiedades de la pasta de cemento.
- b) La calidad de los agregados en el sentido más amplio (dureza, granulometría, perfil, textura superficial, módulo de finura, limpieza, etc.)

- c) La afinidad de la pasta con los agregados y su capacidad para trabajar en conjunto

Figura 1: Componentes del concreto: cemento, agua, agregado fino y agregado grueso.



Fuente: Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, Diseño y control de mezclas de concreto (2004)

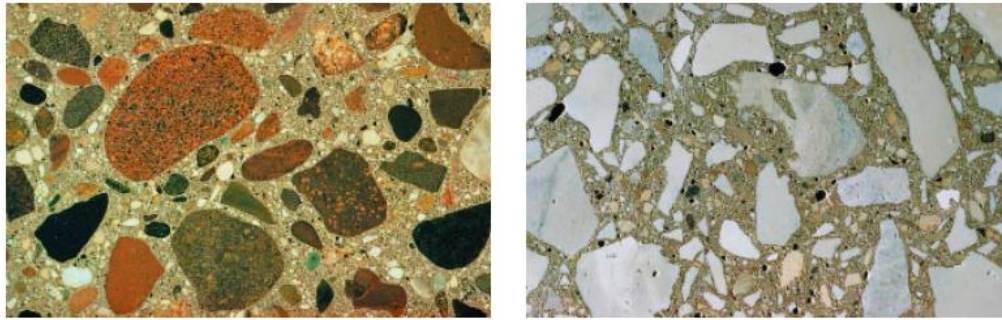
“La pasta se compone de materiales cementantes, agua y aire atrapado o aire incluido (intencionalmente incorporado). La pasta constituye aproximadamente del 25% hasta el 40% del volumen total del concreto.” (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

Figura 2: Proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto.

Aire = 1 % a 3 %
Cemento = 7 % a 15 %
Agua = 15 % a 22 %
Agregados = 60 % a 75 %

Fuente: Pasquel Carbajal, Tópicos de tecnología del concreto en el Perú (1998)

Figura 3: Sección transversal del concreto endurecido. La pasta de cemento y agua cubre completamente cada partícula de agregado y llena todos los espacios entre partículas.



Fuente: Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, Diseño y control de mezclas de concreto (2004)

2.2.1.1. Componentes del concreto

2.2.1.1.1. Agregados

Según Rivva López, Materiales para el concreto, (2014): “Se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas, de origen natural o artificial, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la Norma NTP 400.011-2008. Los agregados son la fase discontinua del concreto.”

Agregados de baja calidad, que generalmente se obtienen a un precio menor, significan un aumento en el precio de la mezcla de concreto porque, para obtener concretos que cumplan con las especificaciones, sería necesario adicionar más cemento del que se necesita para agregados certificados; esto implica que no es económico utilizar agregados de baja calidad. (Aragón Masís, 2006)

Rivva López, Materiales para el concreto, (2014) afirma que:

El agregado tiene un papel determinante en las propiedades del concreto, interviene en las resistencias mecánicas, la durabilidad, el comportamiento elástico, propiedades térmicas y acústicas, etc. Los agregados, los mayores constituyentes del concreto, son críticos para el comportamiento de éste, tanto en su estado fresco como en el endurecido. (...) El agregado debe estar constituido por partículas limpias y adecuadamente conformadas; que en su estructura deben entrar materiales resistentes y durables; que debe poseer una granulometría adecuada; que debe tener preferentemente perfil angular y



textura rugosa; que debe tener límites en su capacidad de absorción y de partículas inconvenientes.

Clasificación de los agregados

a) Por origen

Según Rivva López, Materiales para el concreto, (2014):

Por su origen los agregados se clasifican en:

- Agregados naturales; y
- Agregados artificiales

Se considera como agregados naturales las partículas que son el resultado de un proceso de obtención o transformación natural. Los agregados obtenidos por trituración mecánica y tamizado de rocas se consideran dentro de la clasificación de agregados naturales.

Entre los principales grupos de agregados naturales se encuentran la arena y el canto rodado de río o de cantera, las arenas naturales muy finas, la piedra pómez natural y la lava volcánica porosa.

Se define como agregados artificiales a las partículas obtenidas como el resultado de un proceso de transformación industrial de un elemento natural, como es el caso de las arcillas y esquistos expansionados; o como subproducto de un proceso industrial, como sería el caso de las escorias de alto horno.

b) Por tamaño

Según Rivva López, Materiales para el concreto, (2014):

Por su tamaño los agregados se clasifican en:

- Agregado fino
- Agregado grueso

La Norma define como agregado fino a aquel que pasa íntegramente por el Tamiz de 3/8" y como mínimo en un 95% el Tamiz N°4, quedando retenido en



el Tamiz N°200. Se define como agregado grueso aquel que queda retenido, como mínimo, en un 95% en el Tamiz N°4.

c) **Por su densidad**

Según Pasquel (1998):

Entendiendo densidad como la gravedad específica, es decir el peso entre el volumen de sólidos referido a la densidad del agua, se acostumbra clasificarlo en:

- **NORMALES:** con $g_e = 2.5$ a 2.75
- **LIGEROS:** con $g_e < 2.5$
- **PESADOS:** con $g_e > 2.75$. Cada uno de ellos marca comportamientos diversos en relación al concreto, habiéndose establecido técnicas y métodos de diseño y uso para cada caso.

Características físicas del agregado

“Los agregados fino y grueso seleccionados deberán ser manejados como materiales independientes. Cada tamaño de agregado grueso o la combinación de tamaños deberá cumplir con los requisitos de granulometría de las Normas NTP 400.037 o ASTM C 33.” (Rivva López, Materiales para el concreto, 2014)

En general son primordiales en los agregados las características de densidad, resistencia, porosidad y la distribución volumétrica de las partículas, que se acostumbra denominar granulometría o gradación.

Asociadas a estas características se encuentran una serie de ensayos o pruebas estándar que miden estas propiedades para compararlas con valores de referencia establecidos o para emplearlas en el diseño de mezclas. (Pasquel Carbajal, 1998, p.72)

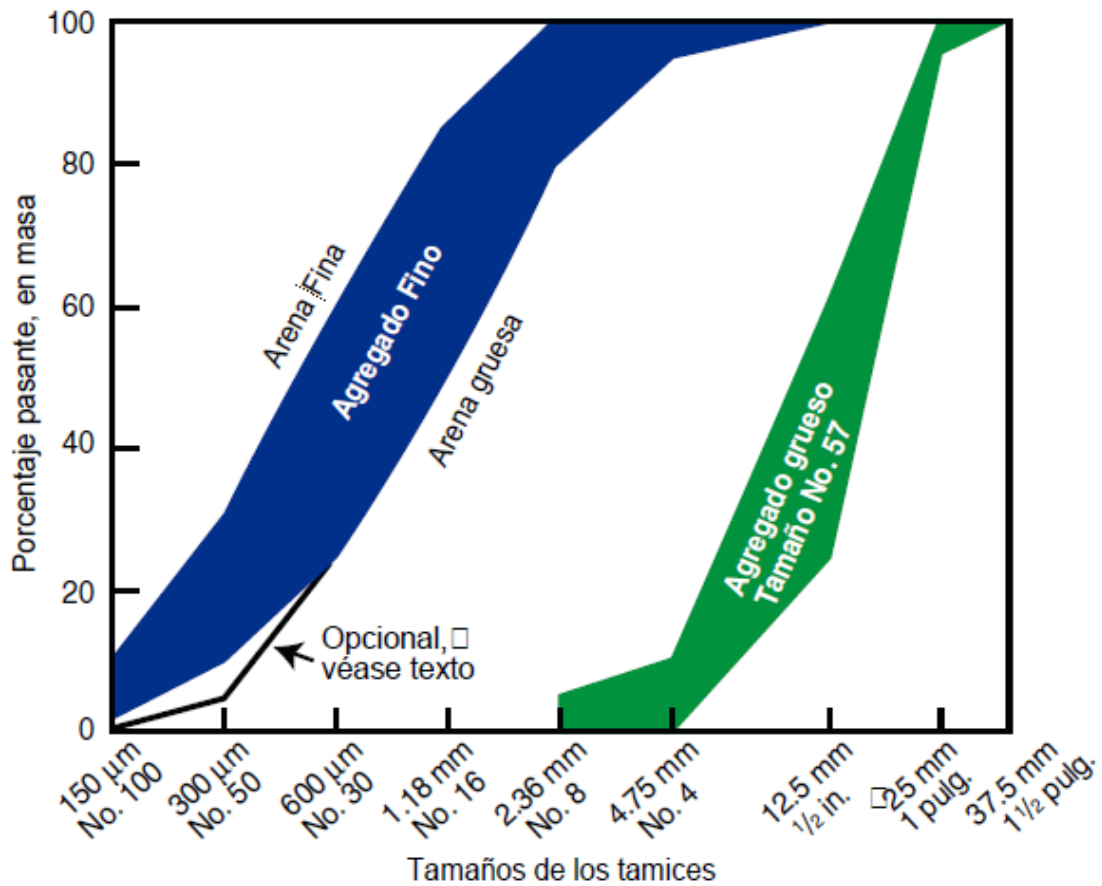
a) **Granulometría**

Rivva López, Materiales para el concreto (2014) afirma que:

Se define como granulometría de un agregado a la distribución por tamaños de las partículas del mismo, la que se logra por separación mediante el empleo de tamices de aberturas determinadas.

La granulometría seleccionada para el agregado deberá permitir obtener la máxima densidad del concreto con una adecuada trabajabilidad en función de las condiciones de colocación de la mezcla.

Figura 4: Las curvas indican los límites especificados en la AASHTO M6 y NTC 174 para el agregado fino y para un tamaño granulométrico de agregado grueso comúnmente utilizado.



Fuente: Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, Diseño y control de mezclas de concreto (2004)

Tabla 1: Tamices standart ASTM

DENOMINACION DEL TAMIZ	ABERTURA EN PULGADAS	ABERTURA EN MILIMETROS
3"	3.0000	75.0000
1 1/2"	1.5000	37.5000
3/4"	0.7500	19.0000
3/8"	0.3750	9.5000
No 4	0.1870	4.7500
No 8	0.0937	2.3600
No 16	0.0469	1.1800
No 30	0.0234	0.5900
No 50	0.0117	0.2950
No 100	0.0059	0.1475
No 200	0.0029	0.0737

Fuente: Pasquel Carbajal, Tópicos de tecnología del concreto en el Perú (1998)

a) Peso específico

Pasquel Carbajal (1998) afirma:

Es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen de las mismas sin considerar los vacíos entre ellas. Las Normas ASTM C-127 y C-128 establecen el procedimiento estandarizado para su determinación en laboratorio. (...) Su valor para agregados normales oscila entre 2,500 y 2,750 kg/m³.

- Para agregado grueso

Dónde:

A = peso de la muestra seca en el aire, gramos.

B = peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire, gramos.

C = peso en el agua de la muestra saturada.

Peso específico aparente del agregado grueso

“Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de la porción impermeable del agregado, a la masa en el aire de igual



volumen de agua destilada libre de gas.” (Norma Técnica Peruana 400.021, 2002)

Calculo de peso específico aparente (Pea)

$$Pea = \frac{A}{(A - C)}$$

Peso específico de masa del agregado grueso

Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de agregado (incluyendo los poros permeables e impermeables en las partículas, pero no incluyendo los poros entre partículas); a la masa en el aire de igual volumen de agua destilada libre de gas. (Norma Técnica Peruana 400.021, 2002)

- Calculo de peso específico de masa (Pem)

$$Pem = \frac{A}{(B - C)}$$

Peso específico de masa saturada superficialmente seca del agregado grueso

Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de agregado incluyendo la masa de agua de los poros llenos hasta colmarse por sumersión en agua por 24 horas aproximadamente (pero no incluyendo los poros entre partículas), comparada con la masa en el aire de un igual volumen de agua destilada libre de gas. (Norma Técnica Peruana 400.021, 2002)

- Calculo de peso específico de masa saturada con superficie seca ($PeSSS$)

$$PeSSS = \frac{B}{(B - C)}$$

- **Para agregado fino**

A= Peso en el aire de la muestra secada en el horno (gramos).

B= Peso del picnómetro lleno con agua (gramos).



C= Peso del picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración (gramos).

S= Peso de la muestra saturada y superficialmente seca (gramos).

Peso específico de la masa para agregado fino (Pem)

$$P_{em} = \frac{A}{B + S - C}$$

Peso específico de una masa saturada con superficie seca para agregado fino (PeSSS)

$$P_{eSSS} = \frac{S}{B + S - C}$$

Peso específico aparente para agregado fino (Pea)

$$P_{ea} = \frac{A}{B + A - C}$$

b) Peso unitario

Es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos. Al incluir los espacios entre partículas, está influenciado por la manera en que se acomodan estas, lo que lo convierte en un parámetro hasta cierto punto relativo.

La Norma ASTM C-29, define el método estándar para evaluarlo, en la condición de acomodo de las partículas luego de compactarlas en un molde metálico apisonándolas con 25 golpes con una varilla de 5/8" en 3 capas. El valor obtenido, es el que se emplea en algunos métodos de diseño de mezclas para estimar las proporciones y también para hacer conversiones de dosificaciones en peso a dosificaciones en volumen. (Pasquel, 1998)

Tenemos que:

PM=Peso del Molde

VM=Volumen del Molde

PT=Peso de (Molde + Agregado)



Peso de agregado: $PA=PT-PM$

Peso unitario del agregado: $PU=PA/VM$

Estas fórmulas son válidas tanto para peso unitario suelto como para compactado, para obtener valores confiables, se realizan 2 a 3 ensayos de peso unitario y se promedia.

c) Porcentaje de vacíos

Según Pasquel Carbajal (1998):

Es la medida del volumen expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas de agregados. Depende también del acomodo entre partículas, por lo que su valor es relativo como en el caso del peso unitario. La misma norma ASTM C-29 indicada anteriormente establece la fórmula para calcularlo, empleando los valores de peso específico y peso unitario estándar:

$$\% \text{ de Vacíos} = \frac{100((S * W) - PU)}{(S * W)}$$

Dónde:

PU: Peso unitario del agregado en Kg/m³

S: Peso específico de masa

W: Densidad del agua, 998 kg/m³

d) Absorción

Pasquel Carbajal (1998) afirma:

Es la capacidad de los agregados de llenar con agua los vacíos al interior de las partículas. El fenómeno se produce por capilaridad, no llegándose a llenar absolutamente los poros indicados pues siempre queda aire atrapado. Tiene importancia pues se refleja en el concreto reduciendo el agua de mezcla, con influencia en las propiedades resistentes y en la trabajabilidad, por lo que es necesario tenerla siempre en cuenta para hacer las correcciones necesarias.

Las normas ASTM C-127 y ASTM C-128 establecen la metodología para su determinación expresada en la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Absorción} = \frac{\text{Peso S.S.S} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco}}$$

e) Humedad

Pasquel Carbajal (1998) indica lo siguiente:

Es la cantidad de agua superficial retenida en un momento determinado por las partículas de agregado. Es una característica importante pues contribuye a incrementar el agua de mezcla en el concreto, razón por la que se debe tomar en cuenta conjuntamente con la absorción para efectuar las correcciones adecuadas en el proporcionamiento de las mezclas, para que se cumplan las hipótesis asumidas.

Tenemos:

Peso agua (P_{agua}) = $P_1 - P_2$

Peso de muestra seca (P_{ms}) = $P_2 - P_{\text{vasija}}$

$$\text{Contenido de humedad } (W) = \frac{P_{\text{agua}}}{P_{\text{ms}}} \times 100$$

f) Módulo de fineza

Se define como la suma de los porcentajes retenidos acumulativos de la serie Standard hasta el Tamiz No 100 y esta cantidad se divide entre 100.

Debe tenerse muy en claro que es un criterio que se aplica tanto a la piedra como a la arena, pues es general y sirve para caracterizar cada agregado independientemente o la mezcla de agregados en conjunto. La base experimental que apoya al concepto de Módulo de fineza es que granulometrías que tengan igual M.F. independientemente de la gradación individual, requieren la misma cantidad de agua para producir mezclas de concreto de similar plasticidad y resistencia lo que lo convierte en un parámetro ideal para el diseño y control de mezclas. (Pasquel Carbajal, 1998)

- El MF es un índice de finura del agregado – cuanto mayor el MF, más grueso es el agregado. Agregados con granulometrías diferentes pueden tener el mismo MF. El MF de los agregados finos es útil para



estimar las proporciones de agregados fino y grueso en el concreto.
(Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

Según la Norma NTP 400.012 (2001):

Cuando se requiera, calcular el módulo de fineza, sumando el porcentaje acumulado retenido de material de cada uno de los siguientes tamices (porcentaje acumulado retenido) y dividir la suma entre 100: N°100; N°50; N°30; N°16; N°8; N°4; 3/8"; 3/4"; 1 1/2"; 3" y 6".

Agregado fino

Rivva López, Materiales para el concreto (2014) afirma que:

El agregado fino consistirá en arena natural, arena manufacturada, o una combinación de ambas; definiéndosele como aquel proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, el cual pasa la malla de 3/8".

“El agregado fino estará compuesto de partículas limpias, de un perfil preferentemente angular, duro, compacto y resistente; libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas.” (Rivva López, Materiales para el concreto, 2014)

Granulometría

Rivva López (2014) indica que:

En relación con su granulometría, el agregado fino deberá estar graduado dentro de los límites indicados en las Normas NTP 400.037 o ASTM C 33.

Tabla 2: Análisis granulométrico para agregado fino

Tamiz	% que pasa
3/8" (9.50 mm)	100
N° 4 (4.75 mm)	95-100
N° 8 (2.36 mm)	80-100
N° 16 (1.18 mm)	50-85
N° 30 (600 μ m)	25-60
N° 50 (300 μ m)	10-30
• N° 100 (150 μ m)	2-10

Fuente: Rivva López, Materiales para el Concreto (2014)

Rivva López, Materiales para el concreto (2014) afirma que:

Adicionalmente en relación con su granulometría, el agregado fino deberá:

- a) Contener suficiente cantidad de material que pasa la malla N°50 a fin de obtener en el concreto adecuada trabajabilidad, ello especialmente en mezclas con pastas pobres.
- b) Tener un máximo de 3% a 5% de material que pasa la malla N° 200. No se confundirá los finos del agregado con el limo, la marga u otras impurezas indeseables.

Según Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi (2004):

Otros requisitos de la ASTM C33 son:

1. El agregado fino no debe contener más del 45% de material retenido entre dos tamices normalizados consecutivos.
2. El módulo de finura debe ser mayor que 2,3 y menor que 3,1. (...)

Agregado grueso

“Se define como agregado grueso al material retenido en el Tamiz NTP 4.75 mm (N° 4) y que cumple con los límites establecidos en la Norma 400.037.” (Rivva López, Materiales para el concreto, 2014)

Rivva López, Materiales para el concreto (2014) indica que:

El agregado grueso estará conformado por fragmentos cuyo perfil será preferentemente angular o semiangular, limpios, duros, compactos, resistentes, de textura preferentemente rugosa, y libres de material escamoso, materia orgánica, partículas blandas, tierra, polvo, limo, humus, incrustaciones superficiales, sales u otras sustancias dañinas.

- Granulometría

Rivva López, Materiales para el concreto (2014) nos indica que:

La granulometría seleccionada deberá preferentemente ser continua y permitir obtener la máxima densidad del concreto con una adecuada trabajabilidad en función de las condiciones de colocación de la mezcla.

En relación a su granulometría el agregado grueso deberá:

- a) Estar graduado dentro de los límites indicados en las normas NTP 400.037 o ASTM C33.

Tabla 3: Límites para agregados gruesos según las Normas NTP 400.037 y ASTM C 33

Huso	Tamaño Máximo Nominal	Requisitos Granulométricos del Agregado Grueso													
		Porcentaje que pasa por Tamices Normalizados													
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	300 mm
		4 pulg.	3 ½ pulg.	3 pulg.	2 ½ pulg.	2 pulg.	1 ½ pulg.	1 pulg.	¾ pulg.	½ pulg.	3/8 pulg.	N° 4	N° 8	N° 16	N° 50
1	90 mm a 37,5 mm	3 ½ pulg a 1 ½ pulg	100	90 a 100	----	25 a 60	----	0 a 15	----	0 a 15	----	----	----	----	----
2	63 mm a 37,5 mm	3 ½ pulg a 1 ½ pulg	----	----	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	----	0 a 5	----	----	----	----	----
3	50 mm a 25,0 mm	2 pulg a 1 pulg	----	----	----	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	----	0 a 15	----	----	----	----
357	50 mm a 4,75 mm	2 pulg a N°4	----	----	----	100	95 a 100	----	35 a 70	----	10 a 30	----	0 a 5	----	----
4	37,5 mm a 19,0 mm	1 ½ pulg a ¾ pulg	----	----	----	----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	----	0 a 5	----	----	----
467	37,5 mm a 4,75 mm	1 ½ pulg a N°4	----	----	----	----	100	95 a 100	----	35 a 70	----	10 a 30	0 a 5	----	----
5	25,0 mm a 9,5 mm	1 pulg a ½ pulg	----	----	----	----	----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	----	----	----
56	25,0 mm a 9,5 mm	1 pulg a 3/8 pulg	----	----	----	----	----	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	----	----
57	25,0 mm a 4,75 mm	1 pulg a N°4	----	----	----	----	----	100	95 a 100	----	25 a 60	----	0 a 10	0 a 5	----
6	19,0 mm a 9,5 mm	¾ pulg a 3/8 pulg	----	----	----	----	----	----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	----	----
67	19,0 mm a 4,75 mm	¾ pulg a N° 4	----	----	----	----	----	----	100	90 a 100	----	20 a 55	0 a 10	0 a 5	----
7	12,5 mm a 4,75 mm	½ pulg a N°4	----	----	----	----	----	----	----	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	----
8	9,5 mm a 2,36 mm	3/8 pulg a N°8	----	----	----	----	----	----	----	----	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5
89	9,5 mm a 1,18 mm	3/8 pulg a N°16	----	----	----	----	----	----	----	----	100	90 a 100	25 a 55	5 a 30	0 a 10
9	4,75 mm a 1,18 mm	N°4 a N°16	----	----	----	----	----	----	----	----	----	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10

Fuente: Rivva López, Diseño de Mezclas (2014)



Almacenamiento y manejo de los agregados

Según Rivva López, Materiales para el concreto (2014):

Los agregados seleccionados se procesarán, transportarán, manejarán, almacenarán y pesarán y utilizarán de manera tal que se garantice que:

- a) La pérdida de finos sea mínima
- b) Se mantenga su uniformidad
- c) No se produzca contaminación con sustancias extrañas
- d) No se produzca rotura o segregación importante.

2.2.1.1.2. Cemento

El cemento es el componente más importante y activo del concreto, por ello y recordando que las propiedades del concreto dependen tanto de la calidad como de la cantidad de sus componentes, la selección y empleo adecuado del cemento son fundamentales para obtener, en forma económica, las propiedades deseadas para una mezcla dada. Los cementos pertenecen al grupo de materiales de construcción denominados Aglomerados Hidráulicos, que comprende aquellos que se endurecen mezclados con el agua y al mismo tiempo resisten a la acción de esta. (Rivva López, Materiales para el concreto, 2014)

- **Fraguado del cemento**

Rivva López, Materiales para el concreto (2014) afirma:

Cuando el cemento se mezcla con agua, las reacciones químicas que se producen originan cambios en la estructura de la pasta, conservando la mezcla su plasticidad durante cierto tiempo, desde pocos minutos hasta varias horas, para luego ocurrir fenómenos sucesivos:

- a) Un aumento relativamente brusco de la viscosidad, acompañado de una elevación de la temperatura de la pasta. A este proceso se le conoce como principio de fraguado o fraguado inicial.
- b) Después de un periodo de algunas horas, la pasta se vuelve indeformable y se transforma en un bloque rígido. A este momento se



le conoce como el fin del fraguado o fraguado final. No corresponde a un fenómeno particular como el principio del fraguado, su determinación es tan solo teórica o convencional.

c) La resistencia aumenta con regularidad a medida que transcurre el tiempo.

- **Factores que intervienen en la duración del fraguado**

• **Materiales**

A menor contenido de agua corresponde un tiempo de fraguado más corto. El agua que contiene materia orgánica puede retardar la fragua. El agua de mar, empleada como agua de mezclado, puede modificar en algo los tiempos de fraguado.

La presencia de humus o sustancias orgánicas en el agregado pueden retardar el fraguado. (Rivva López, Materiales para el concreto, 2014)

• **Clima**

“El aumento de temperatura ambiente disminuye el tiempo de fraguado y una disminución de temperatura tiende a aumentarlo. El fraguado en el aire húmedo es más lento que en el aire seco.” (Rivva López, Materiales para el concreto, 2014)

• **Tiempo de fraguado**

“Una calidad normal de cemento fragua inicialmente a los 40-50 minutos o a los 30 minutos para los cementos de mayor grado de finura. Considerándose normal un tiempo de fraguado final entre 4 y 7 horas.” (Rivva López, Materiales para el concreto, 2014)

Tipos de cementos

Rivva López, Materiales para el concreto (2014) indica que:

Tipo I: De uso general, donde no se requiere propiedades especiales. Se usa donde el cemento o el concreto no está sujeto al ataque de factores específicos, como los sulfatos del suelo o del agua, o a elevaciones perjudiciales de temperatura, debido al calor generado por la hidratación.

El cemento Tipo IP es un cemento al cual se ha añadido puzolana en un porcentaje que oscila entre el 15% y el 40% del peso total.

Según Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi (2004):

Los cementos portland puzolánicos se designan como tipo IP o P. El tipo IP se lo puede usar para la construcción en general y el tipo P se usa en construcciones que no requieran altas resistencias iniciales. Se fabrican estos cementos a través de la molienda conjunta del Clinker de cemento portland con una puzolana adecuada, o por el mezclado de cemento portland o cemento de alto horno con puzolana, o con la combinación de la molienda y del mezclado. (...) Los ensayos de laboratorio indican que el desempeño de los concretos preparados con el cemento tipo IP es similar al concreto del cemento tipo I.

2.2.1.1.3. Agua

Rivva López, Materiales para el concreto (2014) indica lo siguiente:

El agua presente en la mezcla de concreto reacciona químicamente con el material cementante para lograr:

- La formación del gel.
- Permitir que el conjunto de la masa adquiriera las propiedades que:
 - a) En estado no endurecido faciliten una adecuada manipulación y colocación de la misma.
 - b) En estado endurecido se convierta en un producto de las propiedades y características deseadas. (Aragón Masís, 2006)

Según Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, (2004):

Para cualquier grupo de materiales y condiciones de curado, la calidad del concreto endurecido es fuertemente influenciada por la cantidad de agua usada con relación a la cantidad de cemento. Cuando grandes cantidades de agua son innecesariamente empleadas, ellas diluyen la pasta de cemento (la cola o pegamento del concreto).

2.2.1.2. Propiedades del concreto

2.2.1.2.1. Propiedades del concreto en estado fresco

a) Pérdida de consistencia

La pérdida de consistencia, o aumento de rigidez, de la pasta de concreto es entendido como el cambio del estado plástico al estado endurecido que una mezcla de concreto experimenta desde que sale de la mezcladora hasta que termina colocada y compactada en la estructura.

Lo ideal de este aspecto sería que la mezcla conservara su consistencia original durante todo este proceso, pero usualmente no es así y ocurre una pérdida gradual cuya evolución puede ser alterada por varios factores extrínsecos, entre los que destacan la temperatura ambiente, la presencia de sol y viento, y la manera de transportar el concreto desde la mezcladora hasta el lugar de vaciado, todos los cuales son aspectos que configuran las condiciones de trabajo en obra.

Para condiciones de trabajo dadas, la evolución de la pérdida de consistencia también puede resultar influida por factores intrínsecos de la mezcla de concreto, tales como la consistencia o fluidez inicial de esta, la humedad de los agregados, el empleo de determinados aditivos (plastificantes y superplastificantes) y las características y contenido unitario de cemento. (Rivva López, Materiales para el concreto, 2014)

b) Endurecimiento

Rivva López, Materiales para el concreto (2014) afirma que:

Se sabe que el producto principal de reacción del proceso de endurecimiento tiene configuración de gel, formado de agua y los constituyentes reactivos de las partículas de cemento. Si la pasta se mantiene húmeda, este proceso de hidratación del cemento y formación del gel, continúa a velocidades cada vez menores, mientras haya humedad.

Si, en cambio, la pasta no se mantiene húmeda, la hidratación del cemento cesará tan pronto como el agua evaporable se escape de aquella, de ahí la

importancia que tiene un curado inicial adecuado, después del cual, la hidratación del cemento continúa durante un tiempo variable, que depende de la temperatura ambiente y de accesibilidad a una fuente externa de calor. Cuando se cura concreto común durante un mes en condiciones de humedad de laboratorio, más del 80% del cemento alcanza a hidratarse. (...)

Puesto que la ganancia de resistencia se debe a un incremento en el grado de hidratación del cemento, el secado impide tanto el desarrollo de resistencia como el progreso de la hidratación.

2.2.1.2.2. Propiedades del concreto en estado endurecido.

a) Resistencia

- **Resistencia a compresión ($f'c$)**

Es una de las propiedades más valiosas del hormigón, a pesar que en algunos casos prácticos otras características, como la durabilidad o permeabilidad, pueden resultar más importantes. No obstante, la resistencia ofrece un panorama general de la calidad del hormigón porque está relacionada directamente con la estructura de la pasta endurecida del cemento. (Carrasco, s.f.)

Según Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi (2004):

La resistencia a compresión se puede definir como la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto. Normalmente se expresa en kilogramos por centímetros cuadrados (kg/cm^2), megapascuales (Mpa) o en libras por pulgadas cuadradas ($lb/pulg^2$) a una edad de 28 días. (...) La resistencia a compresión especificada se designa con el símbolo $f'c$ y la resistencia a compresión real del concreto fc debe excederla.

La determinación de la resistencia a compresión se da a través de ensayos (experimentación, prueba) en probetas (Muestras de prueba, muestras de ensayo, especímenes) de concreto o mortero.

La resistencia a compresión es una propiedad principalmente física y frecuentemente usada en los cálculos para diseño de puentes, edificios y otras estructuras.

Millones Prado (2008) afirma:

El esfuerzo a compresión de la muestra está calculado por el cociente de la máxima carga obtenida durante el ensayo entre el área de la sección transversal de la muestra.

Aparatos

Según la NTP 339.034, (1999):

La máquina de ensayo es de cualquiera de los tipos de uso corriente, de suficiente capacidad y capaz de mantener una velocidad de carga continua y uniforme. El porcentaje de error para las cargas, dentro del rango de su utilización, no excederá de $\pm 1,0\%$

Deberá tener espacio suficiente para colocar la probeta de ensayo con comodidad, así como los dispositivos de calibración.

Tolerancias de tiempo

Las probetas a ser ensayadas, estarán sujetas a las tolerancias de tiempo indicadas:

Tabla 4: Tiempo permisible de tolerancias.

Edad de ensayo	Tolerancia permisible
24 h	$\pm 0,5$ h ó 2,1%
3 d	± 2 h ó 2,8%
7 d	± 6 h ó 3,6%
28 d	± 20 h ó 3,0%
90 d	± 48 h ó 2,2%

Fuente: NTP 339.034

Mediciones

Según la NTP 339.034 (1999):

El diámetro de la probeta se determina, mediante un calibrador micrométrico, con la aproximación de 0,1 mm promediando las longitudes de dos diámetros normales medidos en la zona central de la probeta. La altura de la probeta,



incluyendo las capas de terminado se miden con aproximación de un milímetro.

Las muestras no se deben ensayar si cualquier diámetro individual de un cilindro difiere de cualquier otro diámetro del mismo cilindro en más de 2%. Cada cilindro ensayado se debe medir y el valor encontrado ser usado en los cálculos de la resistencia a la compresión de cada muestra. (ASTM C 39)

Colocación de la probeta

Antes de iniciar cada ensayo, se limpian cuidadosamente las superficies planas de contacto de los bloques superior e inferior de la máquina y también ambas bases de cada probeta. Se coloca la probeta sobre el bloque inferior de apoyo, y se centra sobre la superficie del mismo, tratando que la probeta quede centrada con el bloque superior. (ASTM C 39)

“Con el fin de conseguir una distribución uniforme de la carga, generalmente los cilindros se cabecean con mortero de azufre o con almohadillas de neopreno (ASTM C 1231).” (Instituto Mexicano del cemento y del concreto, 2010)

Velocidad de carga

Según la norma ASTM C-39:

La carga deberá ser aplicada continuamente (sin choque) con un rango de velocidad de 0.25 ± 0.05 MPa/s (35 ± 7 psi/s), desde el inicio hasta producir la rotura de la probeta registrando el valor de la carga máxima, el tipo de rotura y además toda otra observación relacionada con el aspecto del hormigón en la zona de la rotura. En los momentos finales del ensayo, cuando la probeta se deforma rápidamente, no se debe modificar la velocidad de aplicación de la carga.

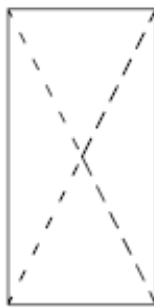
Si la relación L/D es 1.75 o menor, el valor calculado de esfuerzo se debe multiplicar por el factor de corrección determinado en la siguiente tabla.

Tabla 5: Factor de corrección según la relación L/D

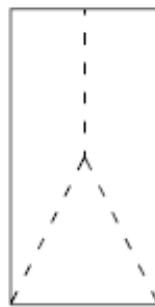
L/D	FACTOR DE CORRECCIÓN
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.93
1.00	0.87

Fuente: ASTM C-39

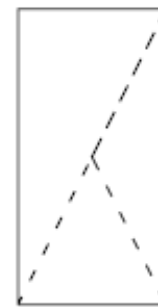
Figura 5: Tipos de fractura



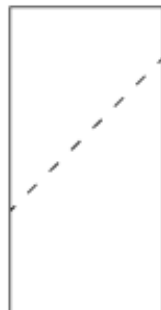
CONO (a)



CONO Y SEPARACION (b)



CONO Y CORTE (c)



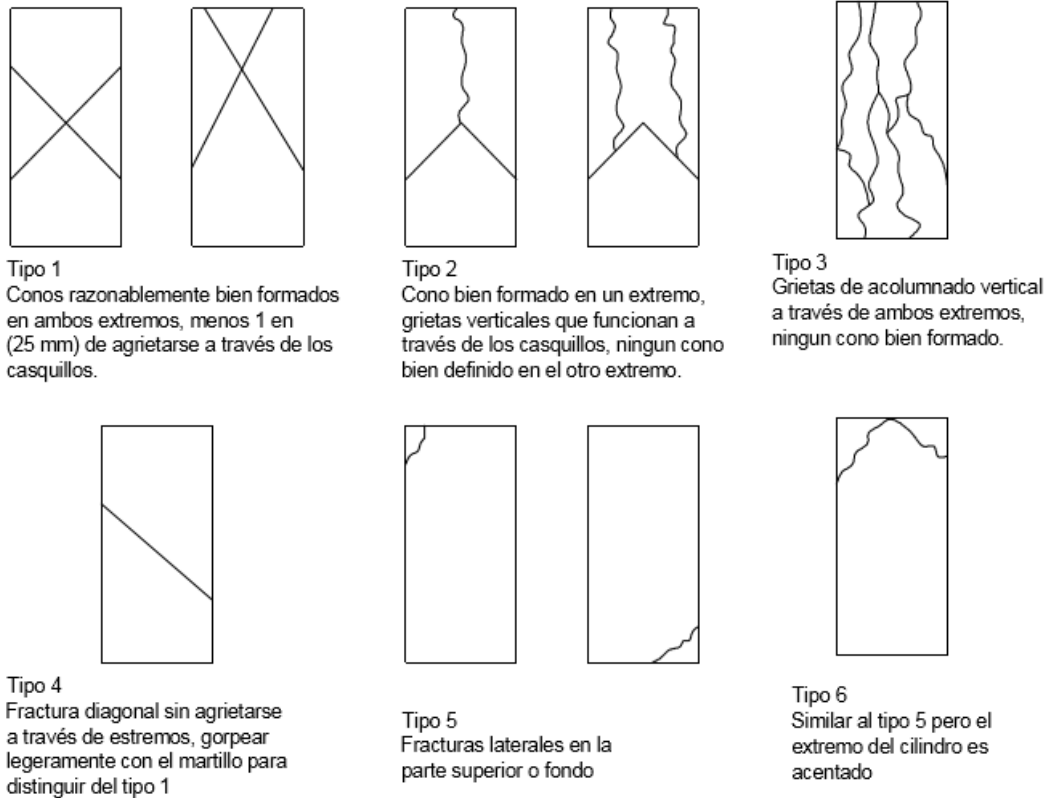
CORTE (d)



COLUMNAR (e)

Fuente: NTP 339.034

Figura 6: Diagrama esquemático de los patrones de fractura.



Fuente: ASTM C-39

Expresión de resultados

La resistencia a compresión de la probeta se calcula con la siguiente fórmula:

$$F'c = \frac{4G}{\pi d^2}$$

Dónde:

F'c: Resistencia de rotura a la compresión, en kg/cm²

G: Es la carga máxima de rotura, en Kg.

D: Es el diámetro de la probeta cilíndrica, en cm.

Según el Instituto Mexicano del cemento y del concreto, (2010):

El rango entre los cilindros compañeros del mismo conjunto y probados a la misma edad deberá ser en promedio de aproximadamente, 2 a 3% de la resistencia promedio. Si la diferencia entre los dos cilindros compañeros sobrepasa con demasiada frecuencia 8%, o 9.5% para tres cilindros

compañeros, se deberán evaluar y rectificar los procedimientos de ensaye en el laboratorio.

- **Resistencia a la tracción (T)**

Las resistencias a tracción y compresión están relacionadas, pero no en forma proporcional. A medida que la resistencia a compresión del hormigón aumenta, la resistencia a tracción también se incrementa, pero a una velocidad decreciente. Es decir, la relación tracción-compresión depende del nivel de resistencia, a mayor resistencia a compresión, menor es dicha relación. La misma depende de la interfaz y de las características de la pasta. También afectan la relación agua-cemento, el curado, el tipo de agregado y los aditivos presentes. (Carrasco, s.f.)

Según Harmsen, (2005):

La resistencia del concreto a la tracción es mucho menor que su resistencia a compresión, constituyendo aproximadamente entre un 8% a 15% de ésta. Para la determinación de este parámetro no se suele usar ensayos directos debido a las dificultades que se presentan sobre todo por los efectos secundarios que generan los dispositivos de carga. Para estimarlo se ha diseñado la prueba brasilera o split-test consiste en cargar lateralmente el cilindro estándar, a lo largo de uno de sus diámetros hasta que se rompa. El procedimiento está especificado en la norma ASTM-C-496-96.

Ensayo de tracción indirecta, tracción por hendimiento o split test.

En 1948, Lobo Carneiro en Brasil y casi simultáneamente Akazawa en Japón, idearon un procedimiento de ensaye indirecto en tensión, que se reconoce como el ensaye brasileño. En esencia consiste en someter un cilindro a compresión lineal diametral. La carga se aplica a través de un material relativamente suave, como triplay o corcho. (González Cuevas & Robles Fernandez, 2005)



Según la Norma ASTM C 496, (1996):

Este método de ensayo consiste en la aplicación de una fuerza de compresión diametral en el sentido longitudinal de una probeta cilíndrica de hormigón a una velocidad dentro de un rango establecido hasta que se produzca la falla. Esta carga induce a los esfuerzos de tracción sobre el plano que contiene las cargas aplicadas y los esfuerzos de compresión relativamente altos en el área inmediatamente circundante a la carga aplicada.

Ocurren fallas por tracción más que por compresión porque las áreas de aplicación de cargas se encuentran en un estado de compresión triaxial, permitiéndoles así soportar esfuerzos por compresión mucho mayores de lo que habrían sido indicados por los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión uniaxial.

“Se usa la resistencia a tracción por hendimiento para evaluar la resistencia al corte proporcionada por el hormigón en los elementos de hormigón armado con áridos livianos.” (ASTM C 496, 1996)

“Este método de ensayo consiste en aplicar una fuerza de compresión diametral a toda la longitud de un espécimen cilíndrico de hormigón (concreto), a una velocidad prescrita, hasta que ocurra la falla.” (Millones Prado, 2008)

Marcación, medición y posicionamiento

Según la Norma ASTM C 496 , (1996):

Dibuje líneas diametrales en cada extremo de la probeta usando un instrumento adecuado que le asegure que se encuentran en el mismo plano axial.

Determine el diámetro y la longitud de la probeta de ensayo, promediando al menos dos medidas .

Centre una de las franjas de apoyo a lo largo del centro del bloque inferior de apoyo. Coloque la probeta sobre la franja de apoyo y alínee de manera que las líneas marcadas en los extremos de la probeta se encuentren en forma vertical y centradas sobre la franja de apoyo. Coloque una segunda franja de



apoyo a lo largo del cilindro, centrada en las líneas marcadas en los extremos del cilindro.

“Durante el ensayo debe asegurarse que la probeta permanece centrada cuando comienza la carga y durante la aplicación de esta, el plato superior ha de estar paralelo con el inferior. La carga se aplica sin brusquedades y se incrementa continuamente.” (Norma Técnica Guatemalteca 41017-h15)

Velocidad de carga

Según la Norma ASTM C 496 , (1996):

Aplique la carga de forma continua y sin golpes, a una velocidad constante dentro del rango de 100 a 200 psi/min (689 a 1380 Kpa/min) de tracción por hendimiento hasta que ocurra la falla de la probeta. Registre la carga máxima aplicada indicada en la máquina de ensayo en la falla. Anote el tipo de falla y la apariencia del hormigón.

Expresión de resultados

La resistencia a tracción por compresión diametral de la probeta se calcula con la siguiente fórmula:

$$T = \frac{2P}{\pi Ld}$$

Dónde:

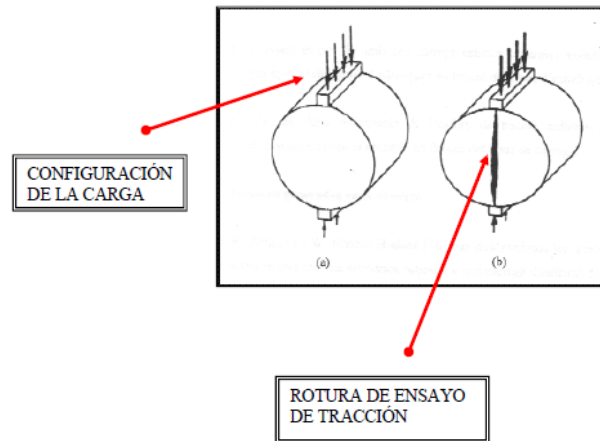
T: Resistencia a la tracción por compresión diametral, psi (kPa).

P: Máxima carga aplicada indicada por la máquina de ensayo, lbf (kN).

L: Longitud, pulg, (mm).

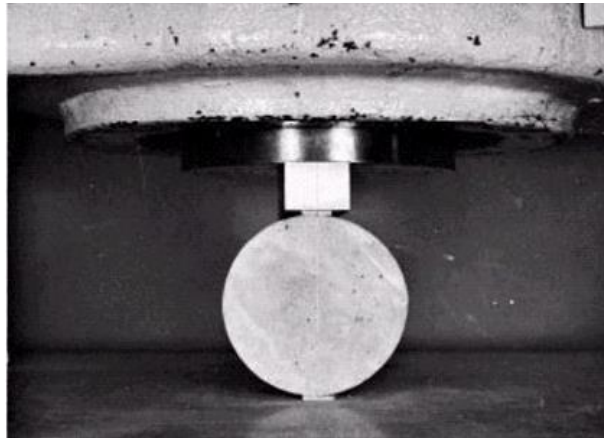
D: Diámetro, pulg, (mm).

Figura 7: Ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral.



Fuente: Millones Prado (2008), Concreto de alta densidad con superplastificante.

Figura 8: Probeta colocada en máquina de ensayo para determinar la resistencia a la tracción por hendimiento.



Fuente: Norma ASTM C 496 (1996).

2.2.1.3. Diseño de mezcla

“Las cuatro variables que se consideran al hacer una mezcla de concreto son: la relación agua/cemento, el contenido de cemento (relación cemento-agregado), la distribución granulométrica de los agregados, y la consistencia de la mezcla fresca.” (Aragón Masís, 2006, p.08)

Según Rivva López, Diseño de Mezclas (2014):

La selección de las proporciones de materiales integrantes de la unidad cúbica de concreto, conocida usualmente como diseño de la mezcla, puede ser definida como el proceso de selección de los ingredientes más adecuados y de la combinación más conveniente y económica de los mismos, con la finalidad de obtener un producto que en el estado no endurecido tenga la



trabajabilidad y consistencia adecuadas; y que endurecido cumpla con los requisitos establecidos por el diseñador o indicados en los planos y/o las especificaciones de obra. (...)

La selección de las proporciones de la unidad cúbica de concreto deberá permitir que éste alcance a los 28 días, o la edad seleccionada, la resistencia en compresión promedio elegida. El concreto deberá ser dosificado de manera tal de minimizar la frecuencia de resultados de resistencia inferiores a la resistencia de diseño especificada.

2.2.1.3.1. Selección de las proporciones del concreto método del comité 211 del ACI.

Está basado en que los agregados cumplan con los requisitos físicos y granulométricos establecidos por ASTM C-33, define el agua de mezcla empíricamente en función del Tamaño Máximo del agregado y del slump como medida de trabajabilidad, establece de manera empírica el volumen de agregado grueso compactado en seco en función del Tamaño Máximo de la piedra y el Módulo de Fineza de la arena exclusivamente, y correlaciona la relación Agua /Cemento en peso con la Resistencia en compresión. (Pasquel Carbajal, 1998)

1. Selección de la resistencia promedio a partir de la resistencia en compresión especificada y la desviación estándar de la compañía constructora.

“Un diseño de mezcla que se encuentre en uso o que fue previamente utilizado se lo puede usar en un nuevo proyecto si los datos de ensayo de resistencia y las desviaciones padrones muestren que la mezcla es aceptable.” (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

– Método 1

Según Norma E.060 Concreto Armado (2006):

Si se posee un registro de resultados de obras anteriores, deberá calcularse la desviación estandar.

El registro deberá:

- a) Representar materiales, procedimientos de control de calidad y condiciones similares a aquellas que se esperan en la obra que se va a iniciar.
- b) Representar a concretos preparados para alcanzar una resistencia de diseño $f'c$ que esté dentro del rango de ± 70 kg/cm² de la especificada para el trabajo a iniciar.
- c) Consistir de por lo menos 30 ensayos consecutivos o de dos grupos de ensayos consecutivos que totalicen por lo menos 30 ensayos.

Si tenemos por lo menos 30 resultados de ensayos consecutivos, según Rivva López, Diseño de Mezclas (2014), la desviación estándar se calculará a partir de los resultados con que se cuenta, aplicando la siguiente ecuación:

$$S_s = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(1)$$

S_s : Desviación estándar.

n : Número de ensayos de la serie.

$X_1, X_2 \dots X_n$: Resultados de resistencia de muestras de ensayo individuales.

\bar{X} : Promedio de todos los ensayos individuales de una serie.

- Rivva López, Diseño de Mezclas (2014) afirma:
Si se utiliza dos grupos de registros de resultados de muestras de ensayo para totalizar por lo menos 30, la desviación estándar a ser empleada en el cálculo de la resistencia promedio, deberá ser el promedio estadístico de los valores calculados para cada grupo de ensayos. Para determinarla se utilizará la siguiente ecuación:

$$\bar{s} = \sqrt{\frac{(n_1-1)(s_1)^2 + (n_2-1)(s_2)^2}{n_1+n_2-2}} \dots\dots\dots(2)$$

Ecuación en la que:

\bar{s} : Promedio estadístico de las desviaciones estándar cuando se utiliza los registros de ensayo para calcular la desviación estándar, en kg/cm².

s_1, s_2 : Desviación estándar calculada para los grupos 1 y 2 respectivamente, en kg/cm².

n_1, n_2 : Número de ensayos en cada grupo, respectivamente.

– Método 2

Según Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi (2004):

Si están disponibles sólo de 15 a 29 pruebas consecutivas, se puede obtener una desviación (desvío) estándar corregida multiplicando la desviación estándar (S) de los 15 a 29 ensayos por el factor de corrección. Los datos deben representar, por lo menos, 45 días de pruebas.

Tabla 6: Factor de corrección para la desviación estándar cuando se tienen menos de 30 ensayos

Número de Ensayos	Factor de corrección para la desviación estándar
Menos de 15	Use tabla 7
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o más	1.00

Fuente: Norma Técnica de Edificación E.060, Concreto Armado (2009).

Según Rivva López, Diseño de mezclas (2014):

La resistencia a la compresión promedio requerida, la cual ha de emplearse como base para la selección de las proporciones de la mezcla de concreto, deberá ser el mayor de los valores obtenidos a partir de la solución de las ecuaciones 3 o 4, en las que se empleará, según el caso, la desviación estándar calculada.

$$f'_{cr} = f'_c + 1,34 s \dots \dots \dots (3)$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2,33 s - 3,5 \dots \dots \dots (4)$$

f'_{cr} : Resistencia a compresión media del concreto requerida como base para la elección de las proporciones de la mezcla. (Kg/cm²)

f'_c : Resistencia a compresión especificada del concreto. (Kg/cm²)

S: Desviación estándar, (kg/cm²)

La ecuación 3 da una probabilidad de 1 en 100 de que el promedio de tres resultados de ensayos esté por debajo de la resistencia de diseño especificada. La ecuación 4 da una probabilidad similar de que los resultados individuales de ensayos estén 35 kg/cm² por debajo de la resistencia de diseño especificada.

Cuando no se cuente con un registro de ensayos que permitan utilizar la Tabla 6, el f'_{cr} se puede obtener la resistencia promedio requerida con la Tabla 7

Tabla 7: Resistencia a compresión media requerida cuando no hay Datos disponibles para establecer la desviación estándar

Resistencia a compresión especificada, f'_c , kg/cm ²	Resistencia a compresión media requerida, kg/cm ²
Menos de 210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 85$
Más de 350	$1,1(f'_c) + 50$

Fuente: Norma Técnica de Edificación E.060, Concreto Armado (2009).

2. Selección de tamaño máximo nominal del agregado

Rivva López, Diseño de Mezclas (2014) indica que:

En la selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso, el Ingeniero deberá tener en consideración que el concreto deberá ser colocado sin dificultad en los encofrados y que en todos los lugares de ellos, especialmente esquinas y ángulos, espacio entre barras, ductos y elementos embebidos, secciones altamente reforzadas, y paredes de encofrados, no deberán quedar espacios vacíos ni cangrejeras.

Según la Norma E.060 Concreto Armado (2006):

La granulometría seleccionada para el agregado deberá permitir obtener la máxima densidad del concreto con una adecuada trabajabilidad en función de las condiciones de colocación de la mezcla.

El tamaño máximo nominal del agregado grueso no deberá ser mayor de:

- Un quinto de la menor dimensión entre las caras del encofrado, o
- Un tercio del peralte de la losa, o

- c) Tres cuartos del menor espacio libre entre barras de refuerzo individuales o en paquetes o tendones o ductos de presfuerzo.

Estas limitaciones pueden ser obviadas si, a criterio del Inspector, la trabajabilidad y los procedimientos de compactación permiten colocar el concreto sin formación de vacíos o cangrejas.

3. Selección del asentamiento

Rivva López, Diseño de Mezclas (2014) afirma que:

La consistencia es aquella propiedad del concreto no endurecido que define el grado de humedad de la mezcla. De acuerdo a su consistencia, las mezclas de concreto la clasifican en:

Tabla 8: Consistencia y asentamientos

Consistencia	Asentamiento
Seca	0" (0 mm) a 2" (50 mm)
Plástica	3" (75 mm) a 4" (100 mm)
Fluida	≥5" (125 mm)

Fuente: Diseño de Mezclas de Concreto, Laura Huanca (2006)

El asentamiento a emplearse en obra deberá ser aquel indicado en las especificaciones.

Si las especificaciones de obra no indican el asentamiento que debe tener el concreto, se seguirá alguno de los criterios siguientes:

- El concreto se dosificará para una consistencia plástica, con un asentamiento entre tres y cuatro pulgadas (75 mm a 100 mm) si la consolidación es por vibración; y de cinco pulgadas o menos (125 mm o menos) si a compactación es por varillado.
- Se seleccionará el valor más conveniente empleando la Tabla 9 preparada por el Comité 211 del ACI. Los rangos indicados en esta Tabla corresponden a concretos consolidados por vibración. Deberá emplearse mezclas de la mayor consistencia posible compatible con una adecuada colocación.

Tabla 9: Revenimiento

Tipo de construcción	Máxima	Mínima
Zapatas y muros de cimentación armados	3"	1"
Cimentaciones simples, cajones y subestructuras de muros	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas de edificios	4"	1"
Losas y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

Fuente: Rivva López, Diseño de Mezclas (2014)

El asentamiento puede incrementarse en 1" si se emplea un método de consolidación diferente a la vibración.

Podrá aceptarse en obra una tolerancia hasta de 25 mm (1") sobre el valor indicado en el acápite anterior para una muestra individual, siempre que el promedio de cinco muestras consecutivas no excede el límite indicado.

4. Selección de volumen unitario del agua de diseño

Según Rivva López, Diseño de Mezclas (2014):

La selección del volumen unitario de agua se refiere a la determinación de la cantidad de agua que se debe incorporar a la mezcladora, por unidad cúbica de concreto, para obtener una consistencia determinada cuando el agregado está en estado seco.

No presentándose generalmente el agregado en estado seco, la cantidad de agua seleccionada deberá posteriormente ser corregida en función del porcentaje de absorción y contenido de humedad del agregado. (...)

– Criterios de la selección

La tabla 10 ha sido preparada en base a las recomendaciones del Comité 211 del ACI. Ella permite seleccionar el volumen unitario de agua, para agregados en estado seco, en concretos preparados con y sin aire incorporado; teniendo como factores al ser considerados la consistencia que se desea para la mezcla y el tamaño máximo nominal del agregado grueso seleccionado.

Dependiendo de la textura y perfil del agregado grueso, los requisitos de agua dados en la Tabla 10 pueden ser algo más altos o más bajos que los valores necesarios, pero son suficientemente seguros para una primera estimación.

Tabla 10: Volumen unitario de agua

Asentamiento	Agua, en l/m^3 , para los tamaños máx. nominales de agregado grueso y consistencia indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concretos sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	...
Concretos con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	...

Fuente: Rivva López, Diseño de Mezclas (2014)

- Esta tabla ha sido confeccionada por el comité 211 del ACI.
- Los valores de esta tabla se emplearán en la determinación del factor cemento en mezclas preliminares de prueba. Son valores máximos y corresponden al agregado grueso de perfil angular y granulometría comprendida dentro de los límites de la Norma ASTM C 33. Si el valor del tamaño máximo nominal del agregado grueso es mayor de 1 1/2", el asentamiento se determinará después de retirar, por cernido húmedo, las partículas mayores de 1 1/2".

Manteniéndose otras condiciones comparables, la cantidad de agua de la mezcla se reduce conforme al tamaño máximo del agregado se incrementa. Igualmente, las texturas rugosas y los perfiles angulares requieren más agua que las texturas suaves o los perfiles redondeados.

$$\text{Volumen de agua (m}^3\text{)} = \frac{\text{Contenido de agua de mezclado } \left(\frac{\text{lbs}}{\text{m}^3}\right)}{\text{Peso específico del agua } \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}$$

5. Selección del contenido de aire

Rivva López, Diseño de Mezclas (2014) afirma:

Las burbujas de aire pueden estar presentes en la pasta como resultado de las operaciones propias del proceso de puesta en obra, en cuyo caso se le conoce como aire atrapado o aire natural; o pueden encontrarse en la mezcla debido a que han sido intencionalmente incorporadas a ella, en cuyo caso se les conoce como aire incorporado.

En los concretos siempre hay un pequeño porcentaje de aire atrapado, el cual depende del aporte de los materiales, las condiciones de operación y la granulometría y tamaño máximo del agregado. Las burbujas de aire atrapadas se caracterizan por su diámetro cercano a 1 mm y su perfil irregular.

Selección del contenido de aire atrapado

La tabla 11 da el porcentaje aproximado de aire atrapado, en mezclas sin aire incorporado, para diferentes tamaños máximos nominales de agregado grueso adecuadamente graduado dentro de los requisitos de la Norma NTP 400.037 o ASTM C 33.

Tabla 11: Contenido de aire atrapado

Tamaño Máximo Nominal	Aire Atrapado
3/8"	3.0 %
1/2"	2.5 %
3/4"	2.0 %
1"	1.5 %
1 1/2"	1.0 %
2"	0.5 %
3"	0.3 %
6"	0.2 %

Fuente: Rivva López, Diseño de Mezclas (2014)

Selección del contenido de aire incorporado

Si es necesario o se desea trabajar con aire incorporado, la tabla 12 da tres niveles de aire total, los cuales dependen de los propósitos de empleo del aire incorporado y de la severidad de las condiciones del clima.

La tabla 12 admite una tolerancia del 1.5%. La determinación del contenido total de aire podrá efectuarse de acuerdo a los requisitos de las Normas ASTM C 231, C 173, o C 138.

Tabla 12: Contenido de aire incorporado y total

Tamaño Máximo Nominal	Contenido de aire total, en %		
	Exposición Suave	Exposición Moderada	Exposición Severa
3/8"	4,5	6,0	7,5
1/2"	4,0	5,5	7,0
3/4"	3,5	5,0	6,0
1"	3,0	4,5	6,0
1 1/2"	2,5	4,5	5,5
2"	2,0	4,0	5,0
3"	1,5	3,5	4,5
6"	1,0	3,0	4,0

Fuente: Rivva López, Diseño de Mezclas (2014)

El contenido de aire incorporado se determina restando del valor de esta tabla, el del aire atrapado dado por la tabla 11.

6. Selección de la relación agua/cemento por resistencia y por durabilidad

Rivva López, Diseño de Mezclas (2014) afirma:

Desde que la mayoría de propiedades deseables en el concreto endurecido dependen de la calidad de la pasta, producto final del proceso de hidratación del cemento, se considera que una de las etapas fundamentales en la selección de las proporciones de una mezcla de concreto es la elección de la relación agua/cemento más adecuada.

La relación agua/cemento requerida por una mezcla de concreto es función de la resistencia, durabilidad y requisitos de acabado del mismo.

La relación agua/cemento de diseño, que es el valor a ser seleccionado de las Tablas, se refiere a la cantidad de agua que interviene en la mezcla cuando el agregado está en condición de saturado superficialmente seco, es decir; no toma ni aporta agua. La relación agua/cemento efectiva se refiere a la cantidad de agua de la mezcla cuando se tiene en consideración la condición real de humedad del agregado. (...)

Criterios en la selección

○ Por resistencia

Esta Tabla da valores aproximados y relativamente conservadores para concretos con cemento portland normal Tipo I. Para materiales que cumplen con las Normas ASTM C 33 o NTP 400.037, las relaciones agua/cemento de esta Tabla deberían permitir obtener las resistencias indicadas, las cuales corresponden a probetas ensayadas a los 28 días de vaciadas después de ser curadas bajo condiciones estándar de laboratorio.

Tabla 13: Relación agua/cemento por resistencia.

f'_{cr} (28 días)	Relación agua/cemento de diseño en peso	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
150	0,80	0,71
200	0,70	0,61
250	0,62	0,53
300	0,55	0,46
350	0,48	0,40
400	0,43	...
450	0,38	...

Fuente: Rivva López, Diseño de Mezclas (2014)

- Esta Tabla es una adaptación de la confeccionada por el Comité 211 del ACI.
- Las relaciones agua/cemento se basan en tamaños máximos nominales del agregado grueso comprendidos entre $\frac{3}{4}$ " y 1". La resistencia producida por una relación agua/cemento dada deberá incrementarse conforme al tamaño máximo nominal disminuye.

- **Por durabilidad**

En aquellos casos que deba seleccionarse la relación agua/cemento por resistencia y durabilidad, se utilizará en la selección de las proporciones de la mezcla el menor de los dos valores, aun cuando con ello se obtengan resistencias en compresión mayores que la resistencia promedio seleccionada. (...) Los valores de la tabla 14 contemplan los casos de exposición severa y moderada dependiendo del grado de exposición a la humedad o a sales descongelantes y estableciendo para cada uno de ellos el contenido de aire total. (Rivva López, Diseño de Mezclas, 2014, p.72)

Tabla 14: Condiciones especiales de exposición

Condiciones de exposición	Relación a/c máxima, en concretos con agregados de peso normal	Resistencia a la compresión mínima en concretos con agregado liviano
Concretos de baja permeabilidad		
a) Expuesto a agua dulce	0,50	260
b) Expuesto a agua de mar o aguas solubles	0,45	
c) Expuesto a la acción de aguas cloacales	0,45	
Concretos expuestos a procesos de congelación y deshielo en condición húmeda		300
a) Sardineles, cunetas, secciones delgadas	0,45	
b) Otros elementos	0,50	
Protección contra la corrosión de concreto expuesto a la acción de agua de mar, aguas salobres, neblina o rocío de estas aguas	0,40	325
Si el recubrimiento mínimo se incrementa en 15 mm	0,45	300

Fuente: Rivva López, Diseño de Mezclas (2014)

La resistencia f'_c no deberá ser menor de 245 kg/cm² por razones de durabilidad.

7. Determinación del Factor Cemento

Según Rivva López, Diseño de Mezclas (2014):

Conocidos el volumen unitario de volumen del concreto y la relación agua/cemento seleccionada, se puede determinar el factor cemento por unidad cúbica de concreto mediante la división del volumen unitario de agua,

expresada en litros por metro cúbico entre la relación agua/cemento, obteniéndose el número de kilos de cemento por unidad cubica de concreto.

Si las especificaciones de obra indican un mínimo de cemento, además de aquel que puede haber sido seleccionado a partir de los requisitos de durabilidad o resistencia, deberá elegirse aquel de los criterios que dé el mayor contenido de cemento.

$$\text{Factor cemento} = \frac{\text{Volumen unitario de agua}}{\text{Relación agua/cemento}}$$

8. Determinación del contenido de agregado grueso

Según Rivva López, Diseño de Mezclas (2014):

La Tabla 15, elaborada por el Comité 211 del ACI es función del tamaño máximo nominal del agregado grueso y del módulo de finura del agregado fino. Ella permite obtener un coeficiente b/b_0 resultante de la división del peso seco del agregado grueso requerido por la unidad cúbica de concreto entre el peso unitario seco y varillado del agregado grueso, expresado en kg/m³.

Tabla 15: Agregado grueso por unidad de volumen del concreto

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso	Volumen del agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen de concreto, para diversos módulos de finura del fino (b/b_0)			
	2,40	2,60	2,80	3,00
3/8"	0,50	0,48	0,46	0,44
1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4"	0,66	0,64	0,62	0,60
1"	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2"	0,75	0,73	0,71	0,69
2"	0,78	0,76	0,74	0,72
3"	0,82	0,80	0,78	0,76
6"	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: Rivva López, Diseño de Mezclas (2014)

Multiplicando el coeficiente b/b_0 , obtenido en la tabla 15, por el peso unitario seco varillado del agregado grueso, se obtiene de acuerdo al método ACI, la

cantidad de agregado grueso seco y compactado que debe emplearse en la mezcla.

$$\text{Peso seco del agregado grueso } \left(\frac{kg}{m^3}\right) = b/b_o \times \text{Peso unitario compactado del A. G.}$$

9. Determinación de la suma de los volúmenes absolutos de cemento, agua de diseño, aire y agregado grueso

$$\text{Vol. agregado grueso (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso seco del A. Grueso}}{\text{Peso específico del A. Grueso}}$$

$$\text{Vol. agregado fino (m}^3\text{)} = 1 - (\text{Vol. agua} + \text{Vol. aire} + \text{Vol. cemento} + \text{Vol. agregado grueso})$$

10. Determinación del peso seco del agregado fino

$$\text{Peso agregado fino } \left(\frac{kg}{m^3}\right) = \text{Vol. A. fino} \times \text{Peso específico A. Fino}$$

11. Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado

Según Rivva López, Diseño de Mezclas (2014):

Las proporciones de los materiales que integran la unidad cúbica de concreto deben ser corregidos en función de las condiciones de humedad de los agregados fino y grueso, a fin de obtener los valores utilizados en obra.

Pesos húmedos:

$$\text{Peso A. grueso húmedo (kg)} = (\text{Peso A. grueso seco}) \times \left(1 + \frac{\%Wg}{100}\right)$$

$$\text{Peso A. fino húmedo (kg)} = (\text{Peso A. fino seco}) \times \left(1 + \frac{\%Wf}{100}\right)$$

Humedad superficial del agregado:

$$\text{Humedad superficial del agregado \%} = +(\%W - \%a)$$

Aporte de humedad:

$$\text{A. H Agregado grueso } \left(\frac{lt}{m^3}\right) = (\text{Peso de A. grueso seco}) \times \left(\frac{\%Wg - \%ag}{100}\right) = X$$

$$\text{A. H Agregado fino } \left(\frac{lt}{m^3}\right) = (\text{Peso de A. fino seco}) \times \left(\frac{\%Wf - \%af}{100}\right) = Y$$

El agua efectiva se determinará restando del volumen unitario de agua, la suma de los aportes de humedad de los agregados finos y gruesos.

$$\text{Agua efectiva} \left(\frac{\text{lt}}{\text{m}^3} \right) = \text{Agua de diseño} - (X - Y)$$

Dónde:

$\%W_g$: Contenido de humedad del agregado grueso

$\%W_f$: Contenido de humedad del agregado fino

$\%a_g$: Porcentaje de absorción del agregado grueso

$\%a_f$: Porcentaje de absorción del agregado fino

12. Determinación de la proporción en peso, de diseño y de obra

Para determinar la proporción de los materiales dividiremos los pesos de los materiales entre el peso del cemento.

Cemento : agregado fino : agregado grueso / agua

$$\frac{\text{Peso cemento}}{\text{peso cemento}} : \frac{\text{Peso A.fino húmedo}}{\text{peso cemento}} : \frac{\text{Peso A.grueso húmedo}}{\text{peso cemento}} / \frac{\text{Agua efectiva}}{\frac{\text{peso de cemento}}{42.5 \text{ kg}}} \left(\frac{\text{lt}}{\text{bolsa}} \right)$$

Para determinar la proporción del agua, se divide el agua efectiva entre la cantidad de bolsas de cemento (42.5 kg) a utilizar por m³ de concreto.

13. Determinación de los pesos por tanda de una bolsa

“Para conocer la cantidad de materiales que se necesitan en una tanda de una bolsa, es necesario multiplicar la proporción en peso, ya corregida por humedad del agregado, por el de una bolsa de cemento.” (Rivva López, Diseño de Mezclas, 2014)

14. Proporciones en volumen

Cemento : agregado fino : agregado grueso / agua

$$\frac{\text{Vol.cemento}}{\text{Vol.cemento}} : \frac{\text{Vol.A.fino}}{\text{Vol.cemento}} : \frac{\text{Vol A.grueso}}{\text{Vol cemento}} / \frac{\text{Agua efectiva}}{\frac{\text{peso de cemento}}{42.5 \text{ kg}}} \left(\frac{\text{lt}}{\text{bolsa}} \right)$$



2.2.1.4. Mezclado y manejo del concreto

- **Mezclado**

Según la Norma Técnica E.060 de Concreto Armado, (2006):

El concreto preparado en obra se debe mezclar de acuerdo a lo siguiente:

- a) El concreto deberá ser mezclado en una mezcladora capaz de lograr una combinación total de los materiales, formando una masa uniforme dentro del tiempo especificado y descargando el concreto sin segregación.
- b) El mezclado debe hacerse en una mezcladora de un tipo aprobado.
- c) La mezcladora debe hacerse girar a la velocidad recomendada por el fabricante.
- d) El mezclado debe efectuarse por lo menos durante 90 segundos después de que todos los materiales estén dentro del tambor.

- **Manejo**

“El concreto empieza a endurecerse en el momento que se mezclan los materiales cementantes y el agua, pero el grado de endurecimiento que ocurre en los primeros 30 minutos no es un problema.” (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

“Si el encofrado es metálico o plástico, deberá estar limpio, sin residuos de concreto, polvo, grasas entre otros; antes de vaciar el concreto en la superficie que estará en contacto con éste se aplicará un agente desmoldante.” (Torre, 2014, p.16)

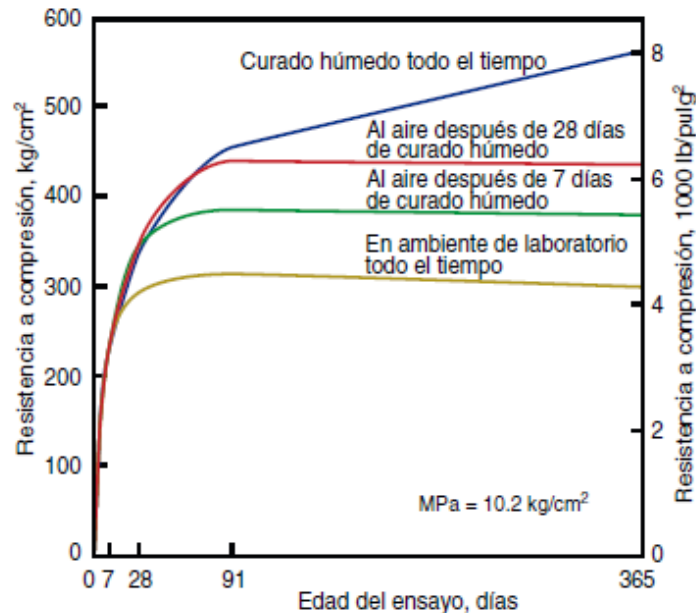
“El concreto debe ser transportado desde la mezcladora hasta el sitio final de colocación empleando métodos que eviten la segregación o la pérdida de material.” (Torre, 2014)

2.2.1.5. Curado del concreto

Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi (2004) afirman que:

El método de curado con agua consiste en la inmersión total del elemento de concreto. Este método se usa normalmente en laboratorio para el curado de especímenes (probetas) de ensayo.

Figura 9: Resistencia a compresión del concreto según la edad y el tiempo de curado húmedo.



Fuente: Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, Diseño y control de mezclas de concreto (2004)

Como se puede observar en el gráfico, el aumento de la resistencia a compresión del concreto con la edad, depende del tiempo de curado.

2.2.1.6. Juntas frías

La estabilidad de una estructura está condicionada, además de la calidad del hormigón (resistencia, impermeabilidad, etc.) al monolitismo o continuidad permanente que debe tener todo elemento en sí y su unión con los otros elementos que conforman la estructura. (Castillo Fernández, 2008)

Según Supervisión de Obras, (2015) sobre el concreto:

La colocación debe efectuarse a una velocidad tal que el concreto conserve su estado plástico en todo momento y fluya fácilmente dentro de los espacios entre el refuerzo. El proceso de colocación deberá efectuarse en una operación continua o en capas de espesor tal que el concreto no sea depositado sobre otro que ya haya endurecido lo suficiente para originar la formación de juntas o planos de vaciado dentro de la sección. (...)



Según Rathi & Kolase (2013) Effect of Cold Joint on Strenght of Concrete. (Trans.):

Un plano de debilidad o discontinuidad que se forma cuando un lote de concreto endurece antes que el siguiente lote sea vaciado encima es llamado junta fría. Las juntas frías usualmente están caracterizadas por una unión pobre a menos que se tomen medidas de prevención antes de la colocación de la siguiente tanda de concreto fresco sobre el concreto endurecido.

Torres Palacio (2014) afirma:

Cuando se están fundiendo elementos que requieren la colocación de varios lotes de concreto, la interrupción del concreto entre una mezcla y otra puede generar un plano de debilidad en la interfaz de las dos mezclas. Este plano de debilidad también es conocido como junta fría que es definida por el comité 116 de la ACI como: *“una articulación o vacío resultante de un retraso en la colocación de concreto, de una duración suficiente para que no permita la adherencia del material en dos vertimientos sucesivos de concreto, mortero, o similares”*. Al tiempo que transcurre entre la colocación del concreto sobre el que se ha fundido inicialmente se le llama tiempo de formación de junta fría, si es que esta se ha presentado en el elemento.

Bernal de León (2014) afirma:

El efecto de junta fría se define como la impresión o marca profunda, que resulta de emplear una junta de construcción; la marca se produce cuando el concreto recién vaciado empieza a fraguar sobre el concreto endurecido. Ese efecto produce una lesión mecánica que atraviesa la sección transversal del elemento, provocando que el concreto no sobrepase el límite de resistencia de cualquiera de las dos masas.

El efecto se aplica a todos los elementos estructurales de concreto armado, como vigas, muros de corte, losas, columnas, etc. Este se considera como una línea de falla que atraviesa el elemento, provocando una pérdida pequeña o total de la resistencia a la tensión del concreto en la zona donde se localiza la junta. Esto causa la separación de las dos masas de concreto y tiende a

incluir esfuerzos de tensión, flexión cortante y torcedura al refuerzo longitudinal.

La manera adecuada de contrarrestar el efecto de junta fría, es mediante planificación, tratamiento y diseño estructural de la junta de construcción; esto proporcionará que el elemento tenga una resistencia igual o mayor que en zonas donde no se posea el efecto.

Figura 10: Probetas de concreto con junta fría horizontal, diagonal y vertical



Fuente: Torres Palacio, (2014). Simulación numérica del efecto de las juntas frías en la resistencia pico de cilindros normalizados de concreto.

Según Suprenant & Basham (1993):

Otras circunstancias pueden generar ocasionalmente una junta fría o agravarla tales como la consolidación inadecuada de una mezcla que se ha colocado sobre otra, las condiciones ambientales y las condiciones en que se encuentre la superficie de concreto que se ha colocado primero antes de fundir la segunda capa de mezcla, por lo que se recomienda hacer el suministro continuo de concreto para la construcción de los elementos, realizar un correcto vibrado de las dos capas y preparar la superficie de concreto antes de colocar una segunda mezcla sobre ella.

Cuando se forma una junta fría a pesar de hacer los tratamientos recomendados, se tendrán consecuencias en el comportamiento y características del elemento. Habrá disminuciones de resistencias de los elementos de acuerdo con el tiempo de formación de la junta fría, la edad del concreto y la orientación del plano de debilidad con respecto a las cargas impuestas. La durabilidad se verá afectada por la penetración de sustancias indeseables que atacan al concreto y aceros de refuerzo, ocasionando



también un impacto en la estética del elemento cuando las consecuencias del ataque de estas sustancias se perciban en la superficie del elemento. (Torres & Botia, 2010)

2.2.2. Análisis de datos

2.2.2.1. Análisis de correlación

Arriaza Balmón nos indica que:

El objetivo de este análisis es cuantificar la relación entre dos variables métricas u ordinales. Si bien un alto grado de correlación, medido por el coeficiente de correlación, puede sugerir una relación causa-efecto lo contrario no siempre es cierto. Esto es debido a que el análisis de correlación mide el grado de relación lineal entre dos variables. Conviene además aclarar que un coeficiente de correlación alto no implica necesariamente una relación de causalidad, ya que dos variables independientes pueden moverse en la misma dirección por efecto de otra tercera sin ser una el resultado de la otra.

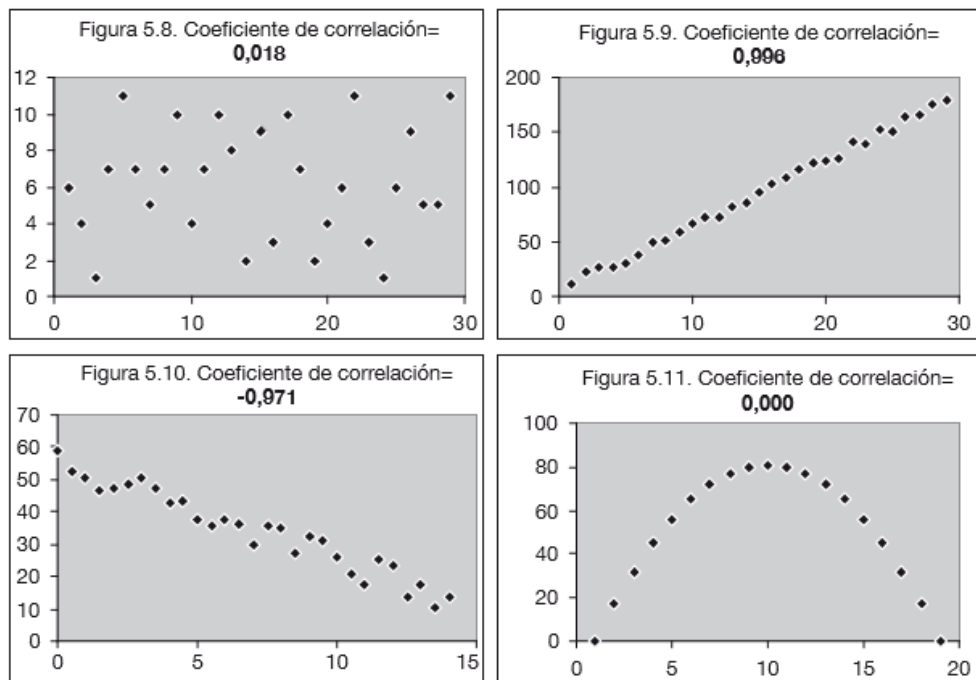
Coeficiente de Pearson:

Según Arriaza Balmón:

Para el análisis de correlación calculamos el coeficiente de Pearson.

En la figura 5.8 las dos variables son independientes por lo que el coeficiente de correlación es prácticamente 0. En la Figura 5.9 la relación es positiva y casi lineal por lo que el coeficiente de correlación alcanza un valor cercano al 1. Igualmente, en la Figura 5.10 la relación es casi lineal pero negativa por lo que el valor se aproxima a -1. Finalmente, en la figura 5.11 el coeficiente de correlación es 0 pero, a diferencia de la figura 5.8, las dos variables tienen una relación de dependencia perfecta. A la vista de este último caso, conviene ser cauteloso a la hora de afirmar la independencia de dos variables por tener un coeficiente de correlación cercano a cero.

Figura 11: Ejemplos de correlación entre dos variables



Fuente: Arriaza Balmón, Guía práctica de análisis de datos.

Según Camacho Martínez:

El coeficiente de correlación de Pearson es un índice de fácil ejecución e, igualmente, de fácil interpretación. Digamos, en primera instancia que sus valores oscilan entre 0 y 1. Esto es, si tenemos dos variables X e Y, y definimos el coeficiente de correlación de Pearson entre estas dos variables como r_{xy} entonces:

$$0 \leq r_{xy} \leq 1$$

Ha de indicarse que la magnitud de la relación vienen especificada por el valor numérico del coeficiente, reflejando el signo la dirección de tal valor. En este sentido, tan fuerte es una relación +1 como de -1. En el primer caso la relación es perfecta positiva y en el segundo perfecta negativa.

El grosor de la nube da una cierta idea de la magnitud de la correlación; cuanto más estrecha menor será el margen de variación en Y para los valores de X, y por tanto, más acertado los pronósticos, lo que implica una mayor correlación.



2.2.2.2. Líneas de tendencia

Las líneas de tendencia pueden ser utilizadas para recoger datos representados en los ejes x-y, y se les puede asignar funciones matemáticas sobre la base de su forma. Esto puede hacerse matemáticamente usando técnicas de análisis numérico o automáticamente usando hojas de cálculo u otro software. Los académicos pueden entonces extrapolar estas líneas de tendencia para estimar los valores pasados y futuros de los datos o interpolado para estimar los valores de datos entre los puntos acumulados.

Una línea de tendencia es más fiable cuando su valor R cuadrado está en o cerca de 1.

Línea de tendencia polinómica

Si los puntos de datos trazados cambian de dirección más de una vez, entonces el tipo de línea de tendencia debe ser polinómica.

Una línea de tendencia polinómica es una línea curva que se utiliza cuando los datos fluctúan.

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

3.1. Metodología de la investigación

3.1.1. Tipo de investigación

La investigación es cuantitativa y aplicada.

- POR SU FINALIDAD

Esta investigación es aplicada porque se utiliza un conjunto de conocimientos para solucionar un problema relacionado con la ingeniería civil, obteniendo un producto final después de la investigación.

- POR SU ENFOQUE

La investigación es cuantitativa porque según Hernández Sampieri, Baptista Lucio, & Fernández Collado, (2010): La recolección de datos se fundamenta en la medición, esta recolección se lleva a cabo al utilizar procedimientos estandarizados y aceptados por una comunidad científica.

La presente investigación se fundamenta en resultados medibles, obtenidos de ensayos en campo y laboratorio normados, se recogen y analizan datos cuantitativos sobre las variables como el concreto $f'c=210$ kg/cm² con junta fría, la resistencia a la compresión y la resistencia a tracción.

3.1.2. Nivel de la investigación

Según Hernández Sampieri, Baptista Lucio, & Fernández Collado, (2010):

Los estudios descriptivos pretenden medir o recoger información sobre conceptos o las variables a las que se refieren sin indicar cómo se relacionan estas.

Por lo tanto, la investigación es de nivel descriptivo porque se hace el análisis y descripción de las variables que intervienen en la investigación. Se analizan el concreto patrón $f'c$ 210kg/cm² y los concretos con junta fría con diferentes tiempos de formación y su estado endurecido para el ensayo de compresión y tracción.



La investigación también tiene una connotación correlacional ya que mediante el coeficiente de Pearson se cuantifica la correlación entre dos variables.

3.1.3. Método de investigación

El método de la investigación es Hipotético-Deductivo según Hernández Sampieri, Baptista Lucio, & Fernández Collado , (2010) ya que en la tesis se plantea la hipótesis general y sub hipótesis con respecto a la influencia de la junta fría con diferentes tiempos de formación en la resistencia a compresión y a tracción en un concreto $f'c=210$ kg/cm², cuyas afirmaciones son verificadas por medio de ensayos y análisis correspondientes, siendo finalmente elaboradas conclusiones que respondan a la hipótesis de la investigación.

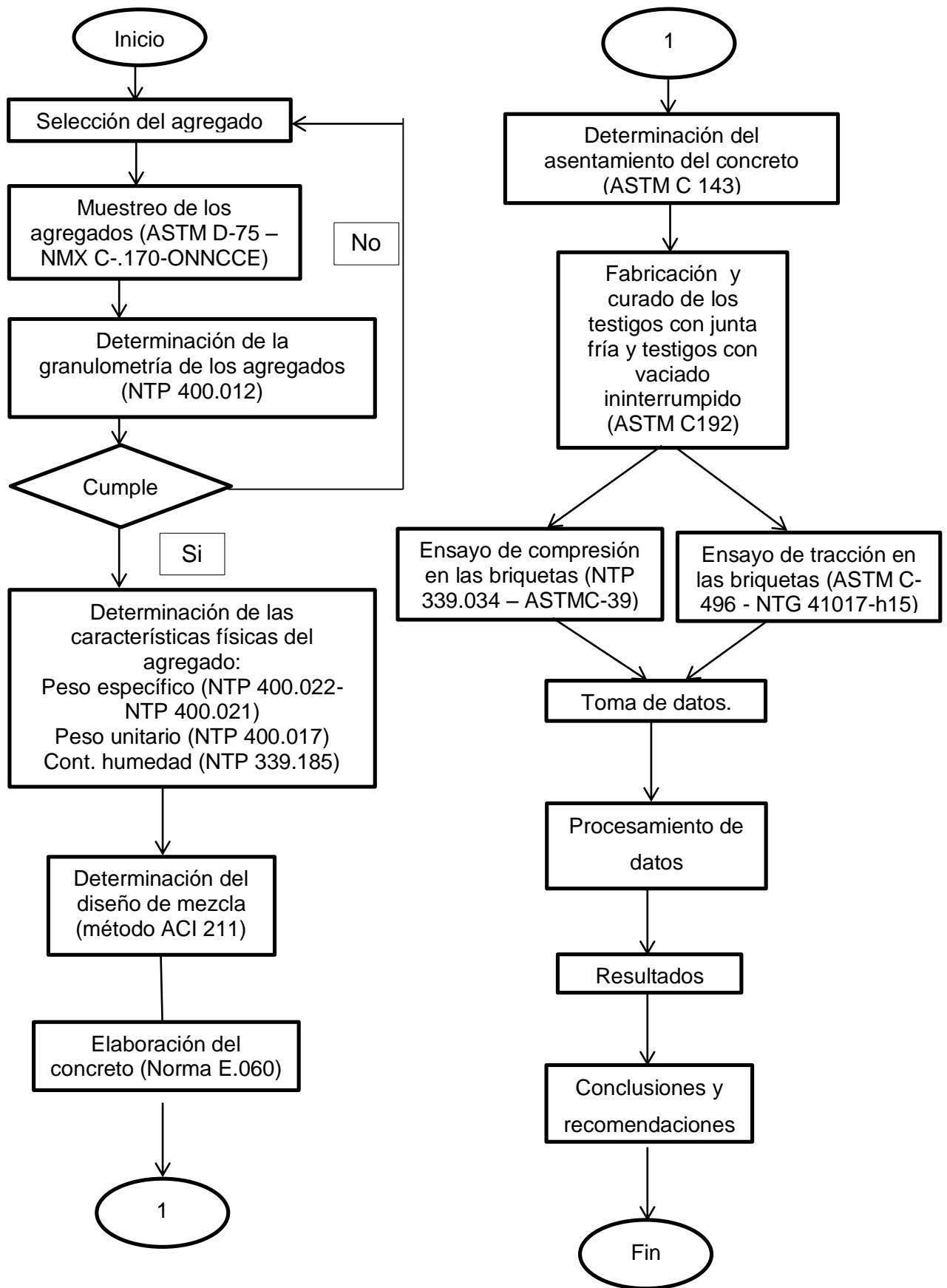
3.2. Diseño de la investigación

3.2.1. Diseño metodológico

El diseño metodológico de la investigación es Cuasi Experimental, se acuerdo a Hernández Sampieri, Baptista Lucio, & Fernández Collado , (2010): Los diseños cuasiexperimentales manipulan al menos una variable independiente para evaluar su efecto y relación con una o más variables dependientes.

En esta investigación se evalúa la relación causa-efecto de las variables independientes y dependientes, se analiza el efecto del concreto con junta fría con tiempos de formación de 1, 1 ½, 2, 3 y 4 horas en la resistencia a compresión y tracción del concreto $f'c=210$ kg/cm². Se difiere de otros diseños en grado de seguridad o confiabilidad, ya que se tienen agentes externos que influyen en esta investigación como el clima, temperatura, etc.

3.2.2. Diseño de ingeniería





3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

3.3.1.1. Descripción de la población

La población de la presente investigación está compuesta por testigos de concreto patrón y testigos con junta fría diagonal con tiempos de formación de 1, 1 ½, 2, 3 y 4 horas. Ambos concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con agregado grueso de la cantera de Pillahuara y agregado fino de la cantera de Cunyac.

3.3.1.2. Cuantificación de la población

Ya que se analizan comparativamente dos tipos de concreto, uno patrón y otro con junta fría con diferentes tiempos de formación, se tiene una población de 108 testigos.

3.3.2. Muestra

3.3.2.1. Descripción de la muestra

La muestra coincide con la población, está compuesta por testigos de concreto patrón y testigos con junta fría diagonal con tiempos de formación de 1, 1 ½, 2, 3 y 4 horas. Ambos concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con agregado grueso de la cantera de Pillahuara y agregado fino de la cantera de Cunyac.

3.3.2.2. Cuantificación de la muestra

La muestra es de tipo censal y coincide con la población por lo tanto son 108 testigos.

La dosificación del diseño de mezcla es única, se tienen 3 testigos de concreto por cada tiempo de formación y para cada edad para los ensayos de resistencia a compresión y tracción indirecta (7, 14 y 28 días). El número total de briquetas ensayadas en la tesis es de 108.

3.3.2.3. Método de muestreo

El método es no probabilístico porque se fabricó el concreto con junta fría con diferentes tiempos de formación.

“En las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o de quien hace la muestra.” (Hernández Sampieri, Baptista Lucio, & Fernández Collado , 2010)

3.3.2.4. Criterios de evaluación de muestra

Tabla 16: Cantidad de muestras a ensayar

Testigos de concreto f'c=210 kg/cm2					
Tiempo de formación de junta fría diagonal	Ensayo	Edad del concreto			Subtotal de testigos
		7 días	14 días	28 días	
Sin junta fría (concreto patrón)	Compresión	3 testigos	3 testigos	3 testigos	18 Testigos
	Tracción	3 testigos	3 testigos	3 testigos	
1 hora	Compresión	3 testigos	3 testigos	3 testigos	18 Testigos
	Tracción	3 testigos	3 testigos	3 testigos	
1 ½ horas	Compresión	3 testigos	3 testigos	3 testigos	18 Testigos
	Tracción	3 testigos	3 testigos	3 testigos	
2 horas	Compresión	3 testigos	3 testigos	3 testigos	18 Testigos
	Tracción	3 testigos	3 testigos	3 testigos	
3 horas	Compresión	3 testigos	3 testigos	3 testigos	18 Testigos
	Tracción	3 testigos	3 testigos	3 testigos	
4 horas	Compresión	3 testigos	3 testigos	3 testigos	18 Testigos
	Tracción	3 testigos	3 testigos	3 testigos	
TOTAL					108 testigos

Fuente: Elaboración propia.

Se fabricaron 108 testigos de concreto para ser evaluados, estas probetas fueron repartidas en seis grupos de 18 briquetas cada uno, de acuerdo al tiempo de formación de la junta fría. En cada grupo se ensayaron testigos a 7, 14 y 28 días,



según la norma ASTM C 192 usualmente se moldean tres o más probetas para cada edad y condiciones de ensayo, se compactaron las muestras mediante chuseo y fueron curadas por inmersión.

Los testigos fueron evaluados mediante los ensayos de resistencia a compresión (NTP 339.034 y ASTM C-39) y tracción indirecta (ASTM C-496 y NTG 41017-h15)

Es conveniente mencionar que los testigos con junta fría fueron elaborados con los mismos materiales, dosificación y equipos utilizados en la elaboración de los testigos patrón.

3.3.3. Criterios de inclusión

3.3.3.1. Testigos con junta fría

- Cemento tipo IP, de la marca “Yura”.
- Agua potable de los laboratorios de la Universidad Andina del Cusco.
- Briquetas cilíndricas de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura.
- Briquetas elaboradas con agregado grueso de la cantera de Pillahuara y agregado fino de la cantera de Cunyac.
- Los testigos de concreto son elaborados en el laboratorio de la Universidad Andina del Cusco.
- Los testigos de concreto con junta fría diagonal de 45°.
- Los testigos de concreto con junta fría con tiempos de formación de 1, 1 1/2, 2, 3 y 4 horas a edades de 7, 14 y 28 días.
- Testigos de concreto curados y protegidos de acuerdo a la norma ASTM C-192 (Práctica normalizada para la preparación y curado de las muestras de ensayo de hormigón en el laboratorio), compactados mediante chuseo y curado por inmersión.
- Para la aceptación de los testigos, estos tenían que cumplir con las dimensiones estipuladas en la norma ASTM C 470 (Especificaciones normalizadas para la fabricación de los moldes para ensayos de hormigón).



3.3.3.2. Testigos con vaciado ininterrumpido

- Cemento tipo IP, de la marca “Yura”.
- Agua potable de los laboratorios de la Universidad Andina del Cusco.
- Briquetas cilíndricas de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura.
- Briquetas elaboradas con agregado grueso de la cantera de Pillahuara y agregado fino de la cantera de Cunyac.
- Los testigos de concreto son elaborados en el laboratorio de la Universidad Andina del Cusco.
- Los testigos con vaciado ininterrumpido.
- Testigos de concreto curados y protegidos de acuerdo a la norma ASTM C-192 (Práctica normalizada para la preparación y curado de las muestras de ensayo de hormigón en el laboratorio), compactados mediante chuseo y curado por inmersión.
- Para la aceptación de los testigos, estos tenían que cumplir con las dimensiones estipuladas en la norma ASTM C 470 (Especificaciones normalizadas para la fabricación de los moldes para ensayos de hormigón).


3.4. Instrumentos

3.4.1. Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos

3.4.1.1. Guías de observación de campo


Se elaboraron fichas de los diferentes ensayos que se realizaron en laboratorio para recopilar toda la información necesaria para la investigación.

Tabla 17: Formato para recolección de datos en ensayo de granulometría (basado en la norma NTP 400.012)

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
ENSAYOS DE LABORATORIO			
TESIS: "Análisis comparativo de la influencia de la junta fría diagonal con tiempos de formación de 1, 1 $\frac{1}{2}$, 2, 3 y 4 horas en la resistencia a compresión y tracción en testigos de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con agregados de las canteras Pillahuara y Cunyac a edades de 7, 14 y 28 días."			
Tesista: Mónica Gabriela Quispe Gonzáles			Fecha: .../.../2016
GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO			
Lavado:	SI	NO	
Cantera:			
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	
#4	4,75		
#8	2,36		
#16	1,18		
#30	0,6		
#50	0,3		
#100	0,15		
#200	0,075		
FONDO			
TOTAL			
GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO			
Lavado:	SI	NO	Fecha: .../.../2016
Cantera:			
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	
3"	75		
2 $\frac{1}{2}$ "	63		
2"	50		
1 $\frac{1}{2}$ "	37,5		
1"	25		
$\frac{3}{4}$ "	19		
$\frac{1}{2}$ "	12.5		
$\frac{3}{8}$ "	9.5		
N°04	4.75		
N°08	2.36		
FONDO			
TOTAL			


Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18: Formato de recolección de datos de ensayo de peso específico y absorción (Basado en la NTP 400.022 y NTP 400.021)

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYOS DE LABORATORIO		
TESIS: “Análisis comparativo de la influencia de la junta fría diagonal con tiempos de formación de 1, 1 $\frac{1}{2}$, 2, 3 y 4 horas en la resistencia a compresión y tracción en testigos de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con agregados de las canteras Pillahuara y Cunyac a edades de 7, 14 y 28 días.”		
Tesista: Mónica Gabriela Quispe Gonzáles		Fecha: .../.../2016
PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS FINOS Y ABSORCIÓN		
Canteras:		
A: Peso en el aire de la muestra secada al horno (gramos).		
B: Peso del picnómetro lleno con agua (gramos).		
C: Peso del picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración (gramos).		
S: Peso de la muestra saturada y superficialmente seca (gramos).		
PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS GRUESOS Y ABSORCIÓN		
Canteras:		Fecha: .../.../2016
A: Peso de la muestra seca en el aire (gramos).		
B: Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire (gramos).		
C: Peso en el agua de la muestra saturada (gramos).		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19: Formato de recolección de datos de ensayo de contenido de humedad (basado en la NTP 339.185)

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYOS DE LABORATORIO		
TESIS: “Análisis comparativo de la influencia de la junta fría diagonal con tiempos de formación de 1, 1 $\frac{1}{2}$, 2, 3 y 4 horas en la resistencia a compresión y tracción en testigos de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con agregados de las canteras Pillahuara y Cunyac a edades de 7, 14 y 28 días.”		
Tesista: Mónica Gabriela Quispe Gonzáles		Fecha: .../.../2016
CONTENIDO DE HUMEDAD EN AGREGADO FINO		
Canteras:		
Peso de la vasija con tapa (gramos).		
P1: Peso de vasija más tapa y la muestra húmeda (gramos).		
P2: Peso de vasija más tapa y la muestra seca (gramos).		
CONTENIDO DE HUMEDAD EN AGREGADO GRUESO		
Canteras:		

Peso de la vasija con tapa (gramos).	
P1: Peso de vasija más tapa y la muestra húmeda (gramos).	
P2: Peso de vasija más tapa y la muestra seca (gramos).	


Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20: Formato de recolección de datos de ensayo de peso unitario (basado en la NTP 400.017)

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYOS DE LABORATORIO		
<p>TESIS: "Análisis comparativo de la influencia de la junta fría diagonal con tiempos de formación de 1, 1 $\frac{1}{2}$, 2, 3 y 4 horas en la resistencia a compresión y tracción en testigos de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con agregados de las canteras Pillahuara y Cunyac a edades de 7, 14 y 28 días."</p>		
Tesista: Mónica Gabriela Quispe Gonzáles		Fecha: .../.../2016
PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS FINOS		
Cantera:		
Peso unitario suelto		
Diámetro del molde (cm.)		
Altura del molde (cm.)		
PM: Peso del molde (gramos)		
PT: Peso del molde más muestra suelta (gramos)		
Peso unitario compactado		
Diámetro del molde (cm.)		
Altura del molde (cm.)		
PM: Peso del molde (gramos)		
PT: Peso del molde más muestra compactada (gramos)		
PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS GRUESOS		
Cantera:		Fecha: .../.../2016
Peso unitario suelto		
Diámetro del molde (cm.)		
Altura del molde (cm.)		
PM: Peso del molde (gramos)		
PT: Peso del molde más muestra suelta (gramos)		
Peso unitario compactado		
Diámetro del molde (cm.)		
Altura del molde (cm.)		
PM: Peso del molde (gramos)		
PT: Peso del molde más muestra compactada (gramos)		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21: Formato de recolección de datos de ensayo de asentamiento con el cono de Abrams (basado en la ASTM C-143)

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYOS DE LABORATORIO 		
TESIS: “Análisis comparativo de la influencia de la junta fría diagonal con tiempos de formación de 1, 1 $\frac{1}{2}$, 2, 3 y 4 horas en la resistencia a compresión y tracción en testigos de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con agregados de las canteras Pillahuara y Cunyac a edades de 7, 14 y 28 días.”		
Tesista: Mónica Gabriela Quispe Gonzáles		
SLUMP		
Tiempo de formación de junta fría diagonal	Vaciado	SLUMP (pulg.)
Sin junta fría (concreto patrón)	Continuo	
1 hora	1° vaciado	
	2° vaciado	
1 $\frac{1}{2}$ horas	1° vaciado	
	2° vaciado	
2 horas	1° vaciado	
	2° vaciado	
3 horas	1° vaciado	
	2° vaciado	
4 horas	1° vaciado	
	2° vaciado	

Fuente: Elaboración propia.

- Cesta metálica
- Vasija resistente al calor, con tapa.
- Regla de acero graduada de 30 cm
- Vernier
- Superficie plana rectangular de acero.
- Molde cónico metálico
- Apisonador de metal
- Recipiente cilíndrico o molde de volumen conocido.
- Varilla de 5/8" de diámetro y aproximadamente 60 cm de longitud.
- Briquetera de 10 centímetros de diámetro y 20 centímetros de altura
- Varilla de 3/8"
- Plomada
- Placas de acero

Equipos:

- Balanza de precisión.

Figura 12: Balanza de precisión



Fuente: Elaboración propia.

- Serie de tamices: Tamiz N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200

Figura 13: Serie de tamices para agregado fino



Fuente: Elaboración propia.

- Serie de tamices: Tamiz 1/2", 3/4", 3/8, N°4 y N°8

Figura 14: Serie de tamices para agregado grueso



Fuente: Elaboración propia.

- Bomba de vacíos

Figura 15: Bomba de vacíos



Fuente: Elaboración propia.

- Horno: Capaz de mantener la temperatura a 110°C

Figura 16: Horno



Fuente: Elaboración propia.

- Máquina de compresión axial: Capaz de mantener una velocidad de carga uniforme.

Figura 17: Máquina de compresión



Fuente: Elaboración propia.

- Agitador mecánico de tamices

Figura 18: Agitador mecánico de tamices



Fuente: Elaboración propia.

- Cocina a gas
- Cono de Abrams
- Secadora
- Mezcladora

Figura 19: Mezcladora



Fuente: Elaboración propia.



3.5. Procedimientos de recolección de datos

3.5.1. Selección y muestreo de los agregados

3.5.1.1. Objetivo

Obtener muestras representativas de los áridos con los que se elaboró el concreto, para realizar los ensayos y estudiar sus propiedades.

3.5.1.2. Equipos y materiales

- Agregado fino y grueso
- Brocha
- Regla de madera
- Espátula
- Balanza de precisión
- Bolsa o Saco
- Balde

3.5.1.3. Procedimientos

- Se seleccionó la zona de procedencia del agregado para lo cual se tomaron en cuenta anteriores tesis de investigación de la Universidad Andina del Cusco, en las que se utilizó el agregado fino de la cantera de Cunyac para la elaboración del concreto. El agregado grueso fue seleccionado de la cantera Pillahuara por ser uno de los pocos áridos de río chancados comercializados en nuestra ciudad.
- Los agregados se obtuvieron con apoyo de los transportistas locales.
- Seguidamente el agregado fue almacenado dentro de baldes en un lugar seco que evitó cambios de humedad o contaminación del material. Para la obtención de muestras representativas se tomaron en cuenta las especificaciones de las normas NTP 400.010 y ASTM D 75. Para cada tipo de agregado, se tomaron 3 muestras iguales de material, seleccionados al azar y fueron combinadas.

Figura 20: Cuarteo de muestra, pasos a, b y c.

a) La muestra en forma de cono.

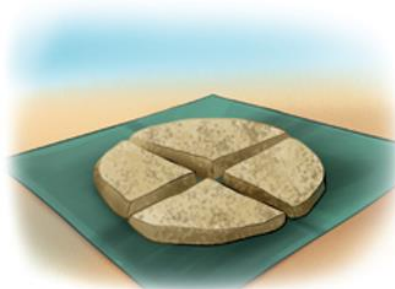


b) El aplanado de la mezcla.



c) El cuarteo después de aplanar el cono.

Fuente: Insituto Mexicano del cemento y concreto, (2010). El concreto en la obra, problemas, causas y soluciones.

Figura 21: Cuarteo de muestra, pasos d y e.

d) La muestra dividida en cuartos.



e) Retener los cuartos y retirar los otros dos cuartos.

Fuente: Insituto Mexicano del cemento y concreto, (2010). El concreto en la obra, problemas, causas y soluciones.

- Se colocó la muestra de campo sobre una superficie plana, dura y limpia, donde no hubo pérdida de material ni contaminación con materias extrañas. Se mezcló el material completamente traspaleando toda la muestra en una pila cónica, depositando cada paleada sobre la anterior. Por medio de la pala se ejerció presión sobre el vértice; se aplanó con cuidado la pila hasta que se obtuvo un espesor y un diámetro uniformes, cuidando de que el diámetro sea aproximadamente de cuatro a ocho veces el espesor.
- Se dividió la pila aplanada en cuatro partes iguales con la pala o la cuchara de albañil y fueron eliminadas dos de las partes diagonalmente opuestas, incluyendo todo el material fino cepillando los espacios vacíos para limpiarlos. Se mezcló el material restante y se cuarteó sucesivamente hasta reducir la muestra al tamaño requerido para las pruebas. (Norma Mexicana NMX C-170-ONNCCE, 1997)

Figura 22: Pila de agregado seleccionado para el muestreo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 23: Cuarteo del material



Fuente: Elaboración propia.

Figura 24: Colocación de la muestra cuarteada en recipiente para evitar su contaminación



Fuente: Elaboración propia.

3.5.2. Granulometría de los agregados finos y gruesos

3.5.2.1. Objetivo

Determinar la distribución por tamaño de las partículas del agregado grueso y fino.

3.5.2.2. Equipos y materiales

- Balanza de precisión
- Brocha
- Serie de tamices para agregado fino (N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200)
- Serie de tamices para agregado grueso (3 ½", 3", 2 ½", 2", 1 ½", 1", ½", ¾", 3/8", N°4 y N°8)
- Horno
- Agitador mecánico de tamices
- Recipiente de metal

Figura 25: Materiales utilizados para realizar en ensayo de granulometría de agregados.



Fuente: Elaboración propia.

3.5.2.3. Procedimientos

- Después de la obtención de la muestra representativa, se realizaron los ensayos de granulometría según la NTP 400.012 (2001). Para el agregado fino se debía usar una muestra de mínimo 300 gramos y para

el agregado grueso el peso debía ser de 2 kg (cantidad de muestra mínima para piedra chancada de 1/2”).

Tabla 24: Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso o global.

Tamaño Máximo Nominal Aberturas Cuadradas mm (pulg)	Cantidad de la Muestra de Ensayo, Mínimo kg (lb)
9,5 (3/8)	1 (2)
12,5 (1/2)	2 (4)
19,0 (3/4)	5 (11)
25,0 (1)	10 (22)
37,5 (1 1/2)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 (2 1/2)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 1/2)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
125 (5)	300 (660)

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 400.012 (2001).

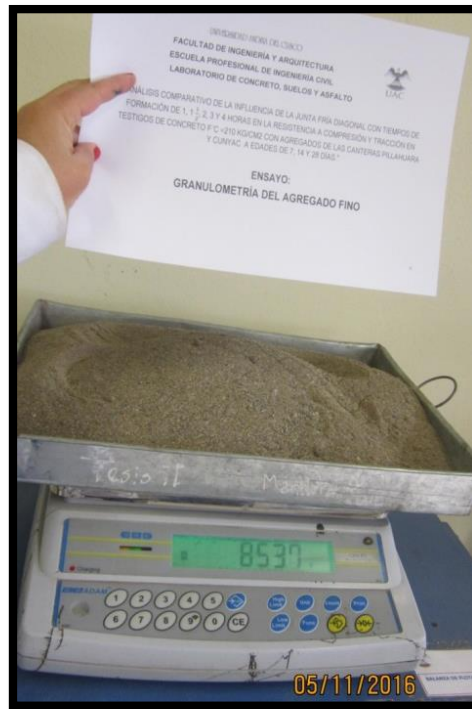
- Se secó la muestra a una temperatura constante en el horno por 24 horas, posteriormente se encajaron los tamices correspondientes al tipo de agregado en orden de abertura decreciente desde la tapa hasta el fondo.

Figura 26: Agregado fino secado por 24 horas en el horno.



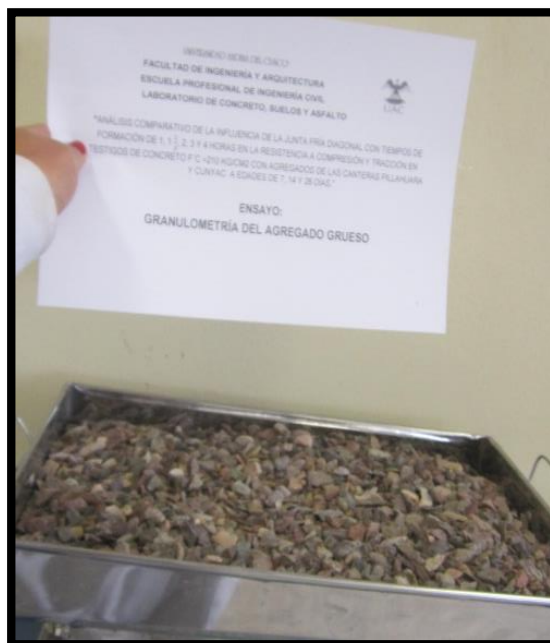
Fuente: Elaboración propia.

Figura 27: Pesaje de agregado fino seco



Fuente: Elaboración propia.

Figura 28: Muestra de agregado grueso



Fuente: Elaboración propia.

- Se colocó una parte de la muestra en los tamices, para evitar la sobrecarga de material, posteriormente los tamices ordenados fueron situados en el agitador mecánico de tamices.

Figura 29: Tamizado de muestra de agregado grueso en la máquina agitadora



Fuente: Elaboración propia.

- La muestra fue tamizada por un período suficiente, seguidamente se pesó el material retenido en cada tamiz y en el fondo. El proceso fue repetido hasta ensayar todo el material.

Figura 30: Agregado fino tamizado por las mallas N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200



Fuente: Elaboración propia.

3.5.2.4. Observaciones

Se realizaron dos ensayos de granulometría a los agregados finos, ya que en el primer ensayo, no tenía la granulometría adecuada para la elaboración del concreto. Por lo tanto el agregado fue modificado de la siguiente forma:

- Agregado fino: Modificado por tamizado.

Posterior a esta alteración se realizó un segundo ensayo de granulometría al agregado fino.

3.5.2.5. Toma de datos

Tabla 25: Datos del primer ensayo de granulometría de agregado fino

GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO					
Lavado:	SI	NO	Fecha: 05/11/2016		
Cantera: Cunyac					
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)			
#4	4,75	40.2			
#8	2,36	63.1			
#16	1,18	73.8			
#30	0,6	148.7			
#50	0,3	349.1			
#100	0,15	142.6			
#200	0,075	25.8			
FONDO		10.5			
TOTAL		853.72			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26: Datos del segundo ensayo de granulometría de agregado fino

GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO						
Lavado:	SI	NO	Fecha: 07/11/2016			
Cantera: Cunyac						
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)				
#4	4,75	21.86	19.66	20.78	22.35	
#8	2,36	34.76	31.04	32.99	35.42	
#16	1,18	41.48	36.86	39.06	41.96	
#30	0,6	97.78	86.61	91.71	98.93	
#50	0,3	193.14	173.65	181.68	195.97	
#100	0,15	79.74	70.02	74.24	79.89	
#200	0,075	13.95	12.61	13.16	14.15	
FONDO		5.57	4.97	5.37	5.68	
TOTAL		1877.04				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27: Datos del ensayo de granulometría de agregado grueso

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO					
Lavado:	SI	NO	Fecha:09/11/2016		
Cantera: Pillahuara					
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)			
3"	75	-			
2 1/2"	63	-			
2"	50	-			
1 1/2"	37,5	-			
1"	25	-			
3/4"	19	0.0	0.0	0.0	0.0
1/2"	12.5	15.0	8.2	10.3	5
3/8"	9.5	640.0	857.9	676.0	348.9
N°04	4.75	669.9	750.0	671.6	415.1
N°08	2.36	4.9	4.8	4.2	1.6
FONDO		0.5	1.1	0.8	0.6
TOTAL		5086.4			

Fuente: Elaboración propia.

3.5.3. Modificación de la granulometría del agregado fino

3.5.3.1. Objetivo

Modificar la granulometría del agregado fino con el fin de que esta sea la adecuada para la elaboración de concreto.

3.5.3.2. Equipos

- Carretilla
- Malla # 16
- Malla # 30
- Pala
- Manguera
- Balanza
- Baldes

3.5.3.3. Procedimientos

Para el agregado fino:

- Una porción de material fue tamizado por la malla #16, el material que quedó retenido fue desechado. La porción que no fue tamizada será llamada agregado A.

Figura 31: Tamizado del agregado fino por las mallas N°16 y N° 30



Fuente: Elaboración propia

- Seguidamente el agregado restante fue tamizado por la malla #30, esta vez se desechó el material que pasó la malla, conservando el agregado retenido al que llamaremos agregado B.

Figura 32: Tamizado del agregado fino por la malla N°30



Fuente: Elaboración propia

Figura 33: Material que pasa la malla N°16 y retenido en la malla N°30



Fuente: Elaboración propia

- El agregado fino que no fue tamizado por ninguna de las dos mallas, es decir el agregado A, fue pesado (por partes debido a la capacidad limitada de la balanza), prontamente se mezcló con el agregado B con ayuda de una pala.

Figura 34: Acumulación del agregado B o agregado retenido entre las mallas N°16 y N°30



Fuente: Elaboración propia

- El peso del agregado B añadido fue el 3.2% del peso del agregado A.

Figura 35: Mezcla del agregado tamizado y el agregado no modificado por peso.



Fuente: Elaboración propia

- Este material mezclado fue almacenado en baldes para evitar su contaminación.

3.5.4. Peso específico de los agregados gruesos

3.5.4.1. Objetivo

Obtener el peso específico del agregado grueso para obtener los datos necesarios para el diseño de mezcla del concreto.

3.5.4.2. Equipos y materiales

- Balanza
- Cesta metálica
- Balde
- Horno
- Bandeja metálica

3.5.4.3. Procedimientos

Según la Norma Técnica Peruana NTP 400.021:

- Se obtuvo una muestra de agregado mediante cuarteo y lavado por la malla #4 mayor a 3 Kg.

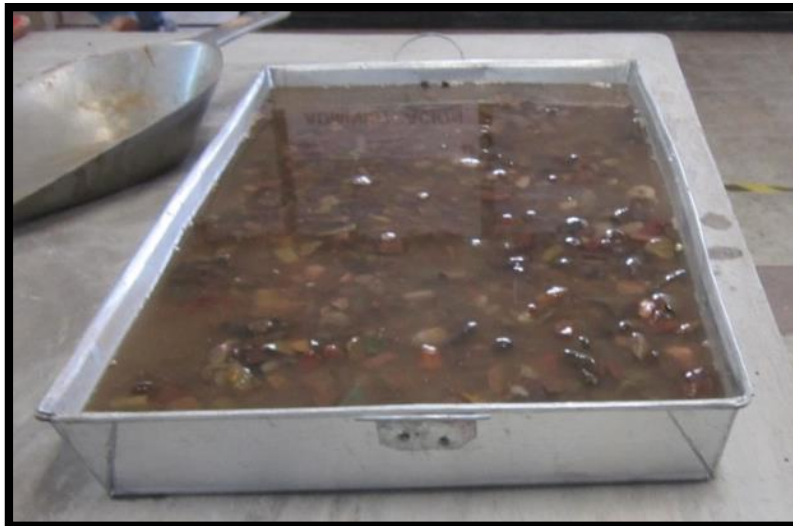
- La muestra fue colocada en el horno para su secado hasta peso constante, seguidamente se enfrió a temperatura ambiente y fue saturada en un depósito con agua por 24 horas.

Figura 36: Secado de muestras de agregado en el horno



Fuente: Elaboración propia

Figura 37: Agregado grueso saturado por 24 horas.



Fuente: Elaboración propia

- Transcurrido el tiempo de saturación, se retiró el agua con cuidado para no perder agregado. Posteriormente con una franela se quitó la humedad hasta que toda la superficie esté sin agua (estado saturado superficialmente seco).

Figura 38: Secado de agregado grueso hasta el estado saturado superficialmente seco



Fuente: Elaboración propia

- Se pesó la muestra y se la colocó en un cesto de alambre y se la sumergió completamente en un balde para determinar el peso sumergido de la muestra.

Figura 39: Determinación del peso sumergido del agregado grueso.



Fuente: Elaboración propia

- Se colocó la muestra en el horno por segunda vez hasta peso constante, enfriándola a temperatura ambiente por q a 3 horas y tomando su peso.

Figura 40: Toma de peso de la muestra de agregado grueso secado al horno



Fuente: Elaboración propia

3.5.4.4. Toma de datos

Tabla 28: Datos del ensayo de peso específico del agregado grueso

PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS GRUESOS Y ABSORCIÓN	
Cantera:	Fecha:09/11/2016
A: Peso de la muestra seca en el aire (gramos).	6080.0
B: Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire (gramos).	6133.4
C: Peso en el agua de la muestra saturada (gramos).	3819.3

Fuente: Elaboración propia.

3.5.5. Peso específico de los agregados finos

3.5.5.1. Objetivo

Obtener el peso específico del agregado fino para obtener los datos necesarios para el diseño de mezcla del concreto.

3.5.5.2. Equipos y materiales

- Balanza
- Picnómetro
- Molde cónico metálico
- Apisonador de metal
- Bomba de vacíos
- Horno

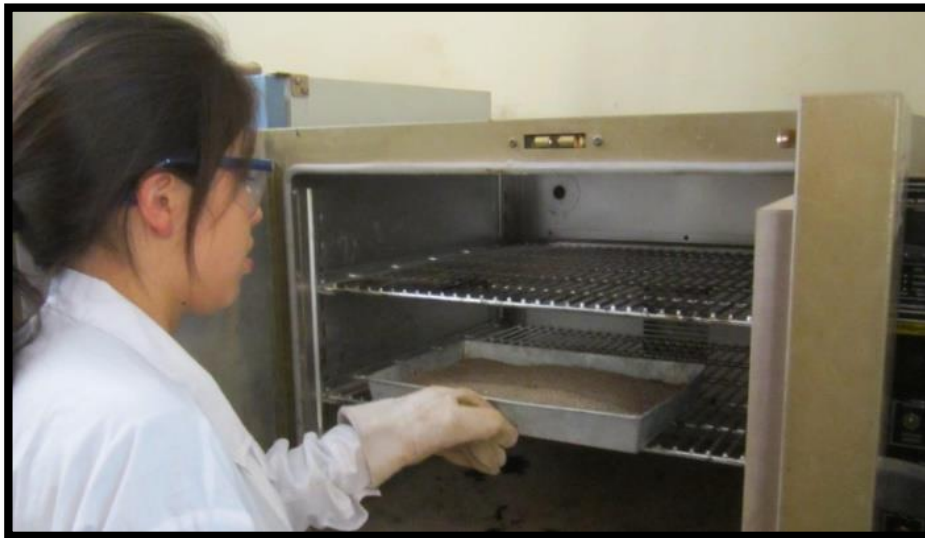
- Agua destilada
- Embudo
- Recipiente metálico
- Bandeja metálica

3.5.5.3. Procedimientos

Según la Norma Técnica Peruana NTP 400.022:

- Mediante el método del cuarteo, se obtuvo una muestra de agregado fino que fue tamizado por la malla N° 4, esta muestra fue de más de 1 Kg. Seguidamente se la colocó en el horno a 110°C hasta peso constante.

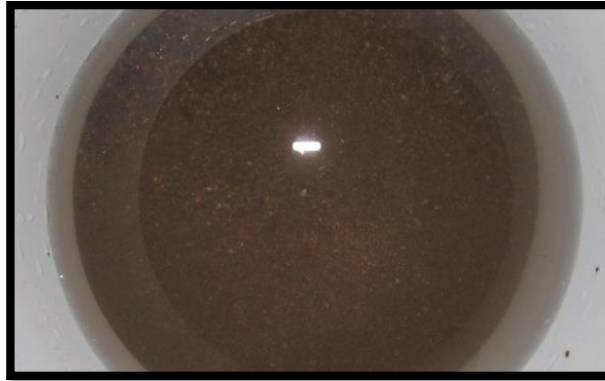
Figura 41: Muestra de agregado fino tamizado por la malla N°4 puesta en el horno para su secado



Fuente: Elaboración propia.

- Posteriormente la muestra se enfrió a temperatura ambiente por una a tres horas y se sumergió en un balde con agua por 24 horas para saturar el agregado.
- Se llenó el picnómetro con agua destilada hasta el nivel de 500 mililitros, se eliminaron las burbujas de aire y se anotó el peso.

Figura 42: Agregado fino sumergido en agua por 24 horas



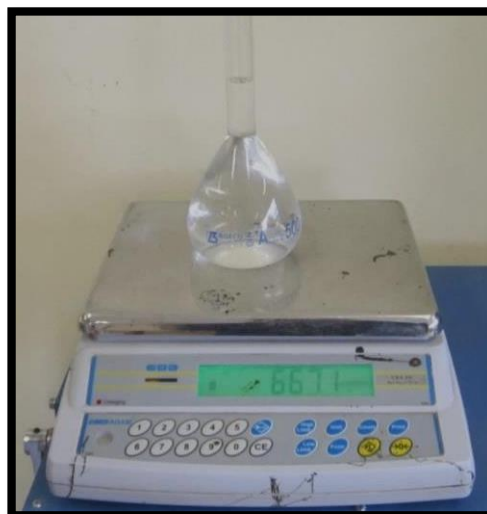
Fuente: Elaboración propia.

Figura 43: Eliminación de burbujas de aire del agua con la bomba de vacíos



Fuente: Elaboración propia.

Figura 44: Toma de peso del agua en el picnómetro sin burbujas de aire.



Fuente: Elaboración propia.

- Se vertió el agua del balde, evitando la pérdida de material. El agregado fue colocado en una bandeja y se procedió a secarlo en la cocina y con la secadora para que pierda humedad gradualmente hasta que esté saturado superficialmente seco. Para lo cual se realizó la prueba del cono, colocando el agregado en el cono metálico y dando 25 golpes con el apisonador, se enrasa y se retira el cono:
 - a) Si se queda con forma tronco-cónica, tiene más humedad que la correspondiente al estado saturado superficialmente seco.
 - b) Si se queda con forma cónica terminada en punta sin desmoronarse, tiene la humedad correspondiente al estado saturado superficialmente seco.
 - c) Si se desmorona, tiene menos humedad que la correspondiente al estado saturado superficialmente seco.
- Se verifica que se quede con forma cónica terminada en punta sin desmoronarse.

Figura 45: Secado de la muestra de agregado fino hasta estado saturado superficialmente seco



Fuente: Elaboración propia.

Figura 46: Ensayo del cono metálico con el agregado fino



Fuente: Elaboración propia.

Figura 47: Arena en forma cónica terminada en punta después de ensayo con el cono metálico



Fuente: Elaboración propia.

- Se pesaron 500 gr. de material que fueron colocados en el picnómetro y los otros 500 gr. fueron llevados al horno hasta peso constante.

Figura 48: Toma de peso de agregado fino saturado superficialmente seco



Fuente: Elaboración propia.

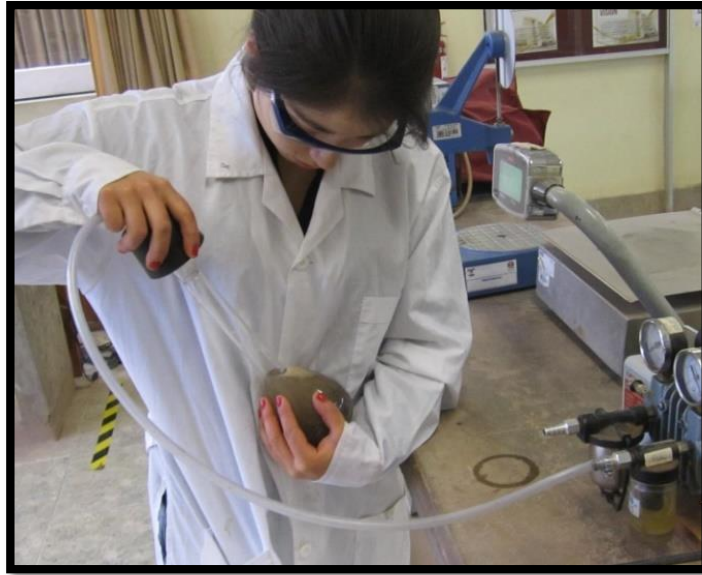
Figura 49: Colocación de agregado fino saturado superficialmente seco en el horno para su secado.



Fuente: Elaboración propia.

- A la muestra colocada en el picnómetro se le añadió agua destilada hasta el nivel de 500 ml, seguidamente con la bomba de vacíos se le quitaron las burbujas de aire y los vicios que tenía el material, finalmente se tomó el peso.

Figura 50: Eliminación de burbujas de aire de la muestra de agregado fino en el picnómetro



Fuente: Elaboración propia.

Figura 51: Toma de peso de muestra de agregado fino en picnómetro sin burbujas de aire



Fuente: Elaboración propia.

Figura 52: Peso de muestra de agregado fino en picnómetro



Fuente: Elaboración propia.

3.5.5.4. Toma de datos

Tabla 29: Datos del ensayo de peso específico del agregado fino

PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS FINOS Y ABSORCIÓN	
Cantera:	Fecha: 09/11/2016
A: Peso en el aire de la muestra secada al horno (gramos).	490.3
B: Peso del picnómetro lleno con agua (gramos).	667.1
C: Peso del picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración (gramos).	977.8
S: Peso de la muestra saturada y superficialmente seca (gramos).	500

Fuente: Elaboración propia.

3.5.6. Peso unitario de los agregados fino y grueso

3.5.6.1. Objetivo

Obtener el peso específico de los agregados finos y gruesos para ser usado en la dosificación del concreto.

3.5.6.2. Equipos y materiales

- Balanza
- Recipiente cilíndrico o molde de volumen conocido
- Varilla de 5/8" de diámetro y 60 cm de longitud
- Horno
- Pala de mano
- Bandeja de metal

3.5.6.3. Procedimientos

Según Norma Técnica Peruana NTP 400.017, (1999):

- Se coloca el material obtenido de cuarteo en la bandeja metálica y se pone al horno hasta peso constante, seguidamente se enfría a temperatura ambiente.

Peso unitario suelto de los agregados fino y grueso:

- Se tomaron las medidas del diámetro interno, altura y peso del molde.

- Se colocó el material en el molde con la pala, tomando en cuenta que la altura de caída del material no debe ser mayor a 5 centímetros sobre el borde superior del molde.

Figura 53: Distribución del agregado fino en el molde para determinar el peso unitario suelto



Fuente: Elaboración propia.

Figura 54: Distribución del agregado grueso en el molde para determinar el peso unitario suelto



Fuente: Elaboración propia.

- Se enrasó con la varilla de 5/8"

Figura 55: Enrasado de agregado fino



Fuente: Elaboración propia.

- Se anotó el peso del molde más el material. El procedimiento se realizó 3 veces.

Figura 56: Toma de peso de molde con agregado fino



Fuente: Elaboración propia.

Peso unitario compactado de los agregados fino y grueso:

- Se tomaron las medidas del diámetro interno, altura y peso del molde.
- Se colocó el material en el molde con la pala, hasta la tercera parte de la altura del recipiente. Se tomó en cuenta que la altura de caída del material no debe ser mayor a 5 centímetros sobre el borde superior del molde.

- Se dieron 25 golpes con la varilla para compactar el recipiente sin tocar el fondo, se agitó suavemente el molde para mejorar el acomodo del material. Se repitió el proceso dos veces más hasta llenar el molde.

Figura 57: Compactado del agregado fino en el molde para determinar el peso unitario compactado



Fuente: Elaboración propia.

Figura 58: Compactado del agregado grueso en el molde para determinar el peso unitario compactado del agregado.



Fuente: Elaboración propia.

- Se enrasó con la varilla de 5/8"

Figura 59: Enrasado de agregado fino en molde para determinar el peso unitario compactado



Fuente: Elaboración propia.

Figura 60: Enrasado del agregado grueso en el molde para determinar el peso unitario compactado



Fuente: Elaboración propia.

- Se anotó el peso del molde más el material. El procedimiento se realizó 3 veces.

Figura 61: Determinación del peso unitario compactado del agregado grueso



Fuente: Elaboración propia.

3.5.6.4. Toma de datos

Tabla 30: Datos de peso unitario suelto y compactado del agregado fino

PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS FINOS			
Cantera:	Fecha:08/11/2016		
Peso unitario suelto			
Diámetro del molde (cm.)	15.1		
Altura del molde (cm.)	16.7		
PM: Peso del molde (gramos)	7515		
PT: Peso del molde más muestra suelta (gramos)	12210	12160	12160
Peso unitario compactado			
Diámetro del molde (cm.)	15.1		
Altura del molde (cm.)	16.7		
PM: Peso del molde (gramos)	7515		
PT: Peso del molde más muestra compactada (gramos)	12550	12520	12550

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31: Datos de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso

PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS GRUESOS			
Cantera:	Fecha:08/11/2016		
Peso unitario suelto			
Diámetro del molde (cm.)	15.1		
Altura del molde (cm.)	16.7		
PM: Peso del molde (gramos)	7515		
PT: Peso del molde más muestra suelta (gramos)	11420	11450	11440
Peso unitario compactado			
Diámetro del molde (cm.)	15.1		
Altura del molde (cm.)	16.7		
PM: Peso del molde (gramos)	7515		
PT: Peso del molde más muestra compactada (gramos)	11890	11900	11920

Fuente: Elaboración propia.

3.5.7. Contenido de humedad

3.5.7.1. Objetivo

Determinar el contenido de humedad de los agregados fino y grueso para realizar la corrección de los valores de diseño por humedad del agregado.

3.5.7.2. Equipos y materiales

- Balanza
- Horno
- Muestra de agregado

- Recipiente resistente al calor

3.5.7.3. Procedimientos

Según Norma Técnica Peruana NTP 339.185, (2002):

- Se tomó el peso de la vasija, se colocó el agregado que fue obtenido mediante cuarteo. Para realizar el ensayo, como mínimo la muestra de agregado fino debe ser de 0.5 Kg. y para el agregado grueso de 1/2" la masa correspondiente es de 2 Kg. como mínimo.

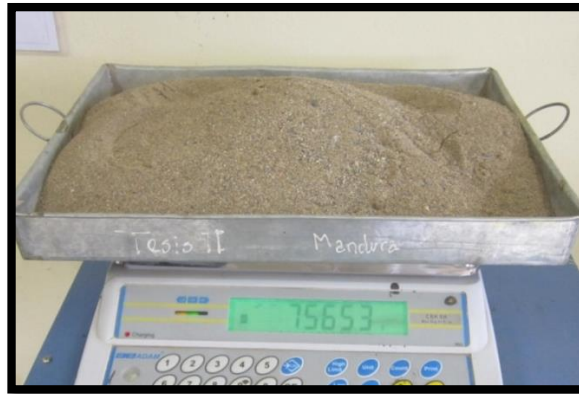
Tabla 32: Cantidad mínima de espécimen para ensayo de contenido de humedad.

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE AGREGADO MM (PULG)	MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE AGREGADO DE PESO NORMAL EN KG
4.75 (0.187) (n°4)	0.5
9.5 (3/8)	1.5
12.5 (1/2)	2
19.0 (3/4)	3
25.0 (1)	4
37.5 (1 1/2)	6
50.0 (2)	8
63.0 (2 1/2)	10
75.0 (3)	13
90.0 (3 1/2)	16
100.0 (4)	25
150 (6)	50

Fuente: NTP 339.185 (2002)

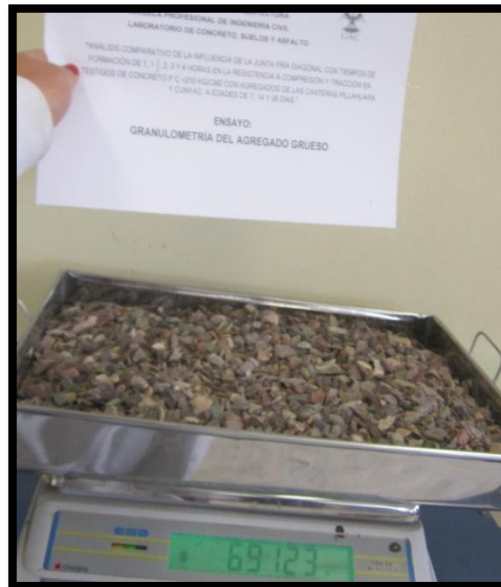
- Se pesó la muestra con la vasija, seguidamente se colocó la muestra en el horno hasta peso contante.

Figura 62: Peso de la muestra de agregado fino con el recipiente



Fuente: Elaboración propia.

Figura 63: Peso de la muestra de agregado grueso con el recipiente



Fuente: Elaboración propia.

- Pasadas 24 horas se retiró la muestra del horno, se dejó enfriar y se pesó.

Figura 64: Muestra de agregado grueso seca, retirada del horno



Fuente: Elaboración propia.

Figura 65: Toma de peso de agregado fino seco



Fuente: Elaboración propia.

Figura 66: Toma de peso del agregado grueso seco



Fuente: Elaboración propia.

Figura 67: Toma de peso de agregado grueso seco para determinar el contenido de humedad



Fuente: Elaboración propia.

3.5.7.4. Toma de datos

Tabla 33: Datos de contenido de humedad del agregado fino

CONTENIDO DE HUMEDAD EN AGREGADO FINO	
Cantera: Cunyac	
Peso de la vasija con tapa (gramos).	652.2
P1: Peso de vasija más tapa y la muestra húmeda (gramos).	7565.3
P2: Peso de vasija más tapa y la muestra seca (gramos).	7514.2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34: Datos de contenido de humedad del agregado grueso

CONTENIDO DE HUMEDAD EN AGREGADO GRUESO	
Cantera: Pillahuara	
Peso de la vasija con tapa (gramos).	614.3
P1: Peso de vasija más tapa y la muestra húmeda (gramos).	6912.3
P2: Peso de vasija más tapa y la muestra seca (gramos).	6897.1

Fuente: Elaboración propia.

3.5.8. Elaboración del diseño de mezcla según el método ACI 211.1

3.5.8.1. Objetivo

Determinar las proporciones de agregado fino, grueso, cemento y agua adecuadas para obtener un concreto $f'c=210$ kg/cm².

3.5.8.2. Equipos y materiales

- Norma ACI 211.1
- Norma E.060 (2009)

3.5.8.3. Procedimientos

Con los datos obtenidos de los ensayos realizados en los agregados, se realiza el diseño de mezcla según el ACI 211.1 con los siguientes pasos:

1.- Selección de la resistencia promedio a partir de la resistencia en compresión especificada.

La resistencia promedio requerida (f'_{cr}) se obtuvo utilizando la tabla 7.

2.- Selección de tamaño máximo nominal del agregado



Para la selección del tamaño máximo nominal se tomó en cuenta que el agregado grueso no debía ser mayor que:

- a) Un quinto de la menor dimensión entre las caras del encofrado, o
- b) Un tercio del peralte de la losa, o
- c) Tres cuartos del menor espacio libre entre barras de refuerzo individuales o en paquetes o tendones o ductos de presfuerzo.

3.- Selección del asentamiento

Se eligió el asentamiento de acuerdo a la consistencia requerida, se usaron las tablas 8 y 9.

4.- Selección de volumen unitario del agua de diseño

Al seleccionar el volumen unitario de agua se consideraron las recomendaciones del Comité 211 del ACI. Se utilizó la tabla 10 y con el valor obtenido se consiguió el valor del volumen de agua con la siguiente fórmula:

5.- Selección del contenido de aire

Para la selección del contenido de aire atrapado se utilizó la tabla 11 ya que la mezcla no contiene aire incorporado.

6.- Selección de la relación agua/cemento por resistencia y por durabilidad

Para obtener la relación agua/cemento cuando el agregado está en condición saturado superficialmente seco, se tomaron en cuenta los criterios de selección por resistencia, usando la tabla 13.

7.- Determinación del Factor Cemento

Para la determinación del factor cemento se utilizó la siguiente formula:

$$Factor\ cemento = \frac{Volumen\ unitario\ de\ agua}{Relación\ agua/cemento}$$

8.- Determinación del contenido de agregado grueso

Para determinar el contenido del agregado grueso se utilizó la tabla 15 con los datos del tamaño máximo nominal del agregado grueso y el módulo de finura del

agregado fino, obteniendo un coeficiente b/b_0 , el que fue multiplicado por el peso unitario seco varillado del agregado grueso. Obteniendo el peso seco del agregado grueso.

$$\text{Peso seco del agregado grueso } \left(\frac{kg}{m^3}\right) = b/b_0 \times \text{Peso unitario compactado del A. G.}$$

9.- Determinación de la suma de los volúmenes absolutos de cemento, agua de diseño, aire y agregado grueso

Se utilizaron las siguientes formulas:

$$\text{Vol. agregado grueso (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso seco del A. Grueso}}{\text{Peso específico del A. Grueso}}$$

$$\text{Vol. agregado fino (m}^3\text{)} = 1 - (\text{Vol. agua} + \text{Vol. aire} + \text{Vol. cemento} + \text{Vol. agregado grueso})$$

10.- Determinación del peso seco del agregado fino

$$\text{Peso agregado fino } \left(\frac{kg}{m^3}\right) = \text{Vol. A. fino} \times \text{Peso específico A. Fino}$$

11.- Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado

Para corregir las proporciones de los materiales en función a las condiciones de humedad de los agregados, se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$\text{Peso A. grueso húmedo (kg)} = (\text{Peso A. grueso seco}) \times \left(1 + \frac{\%Wg}{100}\right)$$

$$\text{Peso A. fino húmedo (kg)} = (\text{Peso A. fino seco}) \times \left(1 + \frac{\%Wf}{100}\right)$$

Humedad superficial del agregado:

$$\text{Humedad superficial del agregado \%} = +(\%W - \%a)$$

Aporte de humedad:

$$\text{A. H Agregado grueso } \left(\frac{lt}{m^3}\right) = (\text{Peso de A. grueso seco}) \times \left(\frac{\%Wg - \%ag}{100}\right) = X$$

$$\text{A. H Agregado fino } \left(\frac{lt}{m^3}\right) = (\text{Peso de A. fino seco}) \times \left(\frac{\%Wf - \%af}{100}\right) = Y$$

El agua efectiva se determinó restando del volumen unitario de agua, la suma de los aportes de humedad de los agregados finos y gruesos.

$$\text{Agua efectiva} \left(\frac{\text{lt}}{\text{m}^3} \right) = \text{Agua de diseño} - (X - Y)$$

Dónde:

$\%W_g$: Contenido de humedad del agregado grueso

$\%W_f$: Contenido de humedad del agregado fino

$\%a_g$: Porcentaje de absorción del agregado grueso

$\%a_f$: Porcentaje de absorción del agregado fino

12.- Determinación de la proporción en peso de diseño

Para determinar la proporción de los materiales dividimos los pesos de los materiales entre el peso del cemento.

Cemento : agregado fino : agregado grueso / agua

$$\frac{\text{Peso cemento}}{\text{peso cemento}} : \frac{\text{Peso A.fino húmedo}}{\text{peso cemento}} : \frac{\text{Peso A.grueso húmedo}}{\text{peso cemento}} / \frac{\text{Agua efectiva}}{\frac{\text{peso de cemento}}{42.5 \text{ kg}}} \left(\frac{\text{lt}}{\text{bolsa}} \right)$$

13.- Determinación de la proporción de los materiales para los vaciados

Para determinar la proporción de materiales, primeramente se determinó el volumen de las muestras y el del cono de Abrams. Este valor obtenido fue multiplicado por los valores de diseño de mezcla final que se encuentran en kg/m³ o lt/m³, para obtener los pesos de los materiales necesarios.

3.5.9. Elaboración de las briquetas de concreto

3.5.9.1. Objetivo

Elaborar las briquetas de concreto vaciado ininterrumpido y con junta fría de 1, 1 ½, 2, 3 y 4 horas para realizar los ensayos de compresión y tracción posteriormente.



3.5.9.2. Equipos y materiales

- Mezcladora
- Briquetas de 10 cm. de diámetro y 20 cm. de altura.
- Varilla de metal de 3/8"
- Baldes
- Balanza
- Cucharon metálico
- Franela
- Petróleo
- Molde de madera con corte de 45° de inclinación de 10 cm de diámetro.
- Carretilla
- Martillo de goma

3.5.9.3. Procedimientos

Para obtener resultados dignos de confianza deberán seguirse las siguientes reglas según la norma ASTM C-192:

Los moldes para probetas de ensayo en contacto con el hormigón deben ser de acero, hierro fundido u otro material no absorbente, no reactivo con el hormigón que contiene cemento Portland u otros cementos hidráulicos. Los moldes deben cumplir con las dimensiones y tolerancias especificadas en el método para el que se necesita la probeta. Los moldes deben mantener sus dimensiones y forma bajo todas las condiciones de uso.

“Los moldes deben tener una altura nominal interior igual a dos veces el diámetro nominal interior.” (ASTM C 470)

- Las briquetas fueron ubicadas cerca al lugar de elaboración del concreto en una superficie plana, con ayuda de una franela se empaparon de petróleo las paredes interiores de los moldes, ya que este material fue usado como desmoldante.

Figura 68: Colocación de desmoldante en las briqueteras



Fuente: Elaboración propia.

- Se colocaron los materiales en los baldes y se pesaron en la balanza, según la dosificación obtenida en el diseño de mezcla. Seguidamente se prendió la mezcladora colocando los materiales en este orden: Un poco de agua, piedra, arena, cemento y el agua restante.

Figura 69: Determinación de peso del agregado de acuerdo al diseño de mezcla para la elaboración de concreto



Fuente: Elaboración propia.

- Los materiales fueron mezclados durante un minuto y el concreto fue depositado en la carretilla.

Figura 70: Concreto fresco



Fuente: Elaboración propia.

- Después se realizó el ensayo de consistencia con el cono de Abrams.
- Se volvió a mezclar el hormigón en el recipiente de mezclado con la cuchara metálica para evitar la segregación durante el moldeo de probetas.

A continuación se detalla el procedimiento de vaciado de concreto para testigos con y sin junta fría.

Para testigos con vaciado ininterrumpido:

- Se consideró lo que indica la norma ASTM C-143.

“Todos los moldes se llenarán uniformemente; es decir, se colocará y compactará la primera capa en todos ellos, después la segunda capa en todos, etc.” (Aragón Masís, 2006)

Tabla 35: Número de capas necesarias para las probetas

Tipo y tamaño de la probetas,	Modo de compactación	Nº de capas de aprox. igual altura
Cilindros:		
Diám. pulg [mm]		
3 ó 4 [75 a 100]	apisonado	2
6 [150]	apisonado	3
9 [225]	apisonado	4
Sobre 9 [225]	vibración	2
Prismas y cilindros horizontales para fluencia:		
Altura, pulg [mm]		
Hasta 8 [200]	apisonado	2
Sobre 8 [200]	apisonado	3 ó más
Hasta 8 [200]	vibración	1
Sobre 8 [200]	vibración	2 ó más

Fuente: ASTM C-192

Tabla 36: Diámetro del pisón y número de golpes que se usan para moldear las probetas de ensayo

Cilindros		
Diámetro del cilindro, pulg (mm)	Diámetro del pisón, pulg (mm)	Nº de golpes/capa
2 (50) a < 6 (150)	3/8 (10)	25
6 (150)	5/8 (16)	25
8 (200)	5/8 (16)	50
10 (250)	5/8 (16)	75
Vigas y prismas		
Area superficial de la probeta pulg ² (cm ²)	Diámetro del pisón, pulg (mm)	Nº de golpes/capa
25 (160) o menos	3/8 (10)	25
26 a 49 (165 a 310)	3/8 (10)	1 por cada 1pulg ² (7cm ²) de de superficie
50 (320) o más	5/8 (16)	1 por cada 2pulg ² (14cm ²) de de superficie
Cilindros horizontales para fluencia		
Diámetro del cilindro, pulg (mm)	Diámetro del pisón, pulg (mm)	Nº de golpes/capa
6 (150)	5/8 (16)	50 en total, 25 en ambos lados del eje

Fuente: ASTM C-192

- Los moldes fueron llenados con concreto en dos capas, a cada una se le dieron 25 golpes con la varilla de 3/8” cuidando que el pisón penetre a través de la capa que está siendo apisonada hasta la capa anterior aproximadamente 1 pulg.
- Se dan entre 10 a 15 golpes suaves con el martillo de goma en la parte exterior del cilindro para liberar las burbujas grandes de aire que pudieran haber quedado atrapadas.

Figura 71: Enrasado de muestras de concreto



Fuente: Elaboración propia.

- Después de llenar y compactar el molde, se retira el exceso de concreto con la varilla, manipulándose lo menos posible, dejando la cara lisa.

Figura 72: Enrasado de muestras de concreto



Fuente: Elaboración propia.

- Los cilindros fueron desmoldados pasadas 24 horas con ayuda de un inflador. Se colocaron los datos del testigo en la superficie y seguidamente

fueron sumergidos en un cilindro con agua limpia, el cual fue cubierto para evitar su contaminación.

Figura 73: Desmoldado de muestras de concreto a las 24 horas después de su vaciado



Fuente: Elaboración propia.

Para testigos con junta fría de 1, 1 ½, 2, 3 y 4 horas:

- Para la elaboración de los testigos con junta fría también se consideraron las indicaciones de la norma ASTM C-143 citada en el procedimiento de elaboración de testigos de concreto con vaciado ininterrumpido.

Figura 74: Colocación de concreto fresco en carretilla para facilitar su manejo



Fuente: Elaboración propia.

- Al colocar la primera capa de concreto, se le dieron 25 golpes con la varilla de 3/8", seguidamente se colocó el molde de madera y se dieron los 10 golpes con el martillo de goma en la parte exterior del cilindro.

Figura 75: Compactación de primera capa de concreto fresco



Fuente: Elaboración propia.

Figura 76: Colocación del molde de madera y compactación con el martillo de goma



Fuente: Elaboración propia.

Figura 77: Moldes de madera para dar forma diagonal a la junta



Fuente: Elaboración propia.

- Posteriormente se retiró el molde de madera, quedando la superficie del concreto con una inclinación de 45° y una superficie semi-rugosa.

Figura 78: Junta fría diagonal en la primera capa de concreto



Fuente: Elaboración propia.

Figura 79: Primera capa de concreto en muestras con junta fría diagonal



Fuente: Elaboración propia.

- Los testigos con vaciado interrumpido reposaron 1, 1 ½, 2, 3 o 4 horas de acuerdo al tiempo de formación de la junta fría correspondiente.
- Mientras el tiempo de formación de la junta fría transcurría, se realizó el mezclado de una nueva tanda de concreto, el cual fue colocado sobre el concreto vaciado previamente.
- El concreto nuevo fue compactado con 25 golpes con la varilla de 3/8" y 10 golpes suaves con el martillo de goma en la parte exterior del cilindro.

Figura 80: Colocación y compactación de la segunda capa de concreto en las muestras con junta fría



Fuente: Elaboración propia.

- Después de llenar y compactar el molde, se retira el exceso de concreto con la varilla, manipulándose lo menos posible, para dejar la cara lisa, de forma tal que cumpla con el acabado requerido.

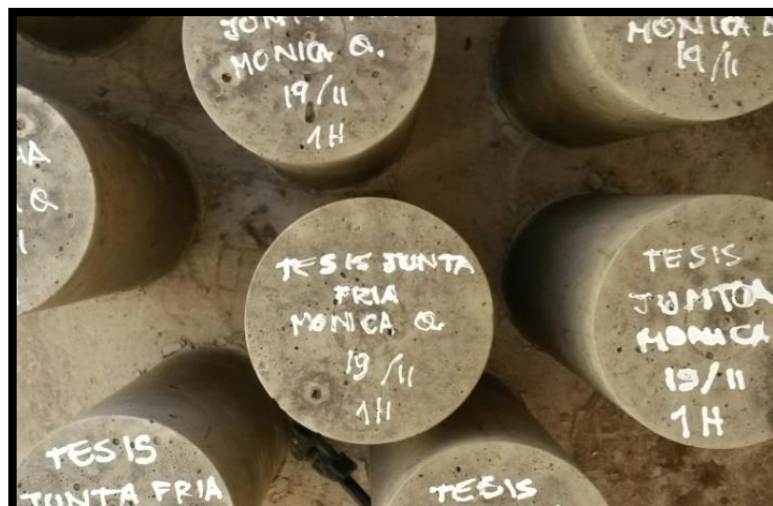
Figura 81: Muestras de concreto con junta fría con tiempo de formación de 2 y 1 1/2 horas enrasadas.



Fuente: Elaboración propia.

- Los cilindros fueron desmoldados pasadas 24 horas con ayuda de un inflador. Se colocaron los datos del testigo en la superficie y seguidamente fueron sumergidos en un cilindro con agua limpia, el cual fue cubierto para evitar su contaminación.

Figura 82: Muestras desmoldadas de concreto con junta fría con tiempo de formación de 1 hora



Fuente: Elaboración propia.

Figura 83: Muestras de concreto con junta fría desmoldadas



Fuente: Elaboración propia.

Figura 84: Muestra de concreto con junta fría en pozo de curado



Fuente: Elaboración propia.

3.5.10. Consistencia de la mezcla con el cono de Abrams

3.5.10.1. Objetivo

Medir la consistencia o fluidez del hormigón en estado fresco antes de su colocación.

3.5.10.2. Equipos y materiales

- Cono de Abrams
- Varilla de 16 milímetros de diámetro (5/8" y 60 cm de longitud)
- Bandeja o placa de metal
- Wincha

3.5.10.3. Procedimientos

El procedimiento fue realizado según la norma ASTM C-143.

- Se colocó el cono de Abrams sobre la bandeja o placa de metal no absorbente, seguidamente se colocó el concreto hasta 1/3 de volumen y se compactó con la varilla de 5/8" (con el extremo redondeado) dando 25 golpes en toda la superficie en forma de espiral.
- Posteriormente se llenó la segunda capa hasta 2/3 del volumen del cono y se compactó con 25 golpes con la varilla. Se tuvo cuidado que la varilla penetre ligeramente la capa anterior.

Figura 85: Compactación de las capas de concreto para el determinar el revenimiento



Fuente: Elaboración propia.

- Se llenó la última capa de concreto con un ligero exceso, se compactó con 25 golpes al igual que las otras capas y retiró el exceso de concreto con la varilla.
- Se retiró el molde cónico con un movimiento limpio hacia arriba, esto debió durar entre 3 y 7 segundos y evitando acomodar el concreto con el cono.

- Se colocó el cono a lado del concreto, se colocó la varilla encima del cono y con ayuda de la wincha se midió el asentamiento como se indica en la figura

Figura 86: Medida de consistencia de la mezcla con el cono de Abrams



Fuente: Aragón Masís, Manual de elaboración de concreto en obra (2006)

Figura 87: Retiro del molde cónico para ensayo del cono de Abrams



Fuente: Elaboración propia.

Figura 88: Medida del asentamiento con el cono de Abrams



Fuente: Elaboración propia.

Figura 89: Medida del asentamiento con el cono de Abrams



Fuente: Elaboración propia.

3.5.10.4. Toma de datos

Tabla 37: Datos del ensayo de consistencia con el cono de Abrams

SLUMP		
Tiempo de formación de junta fría diagonal	Vaciado	SLUMP (pulg.)
Sin junta fría (concreto patrón)	Continuo	2.7
1 hora	1° vaciado	2.8
	2° vaciado	3.0
1 ½ horas	1° vaciado	3.2
	2° vaciado	2.8
2 horas	1° vaciado	2.5
	2° vaciado	3.3
3 horas	1° vaciado	3.2
	2° vaciado	3.5
4 horas	1° vaciado	2.6
	2° vaciado	3.3

Fuente: Elaboración propia

3.5.11. Resistencia a la compresión de los testigos de concreto

3.5.11.1. Objetivo

Determinar el esfuerzo a la compresión de los testigos de concreto $f'_c=210$ Kg/cm² con vaciado interrumpido y con junta fría con tiempo de formación de 1, 1 ½, 2, 3 y 4 horas.

3.5.11.2. Equipos

- Máquina de compresión
- Placas de metal
- Almohadillas de neopreno
- Brocha
- Wincha
- Vernier
- Balanza

3.5.11.3. Procedimientos

- Se limpiaron las probetas de ensayo y se pesaron en la balanza. Posteriormente se tomaron 4 medidas del diámetro con el vernier y dos medidas de la longitud de la probeta con la wincha. Los datos fueron registrados

Figura 90: Toma de datos del peso de las muestras de concreto



Fuente: Elaboración propia.

Figura 91: Toma de datos de medida de las muestras



Fuente: Elaboración propia.

Figura 92: Toma de medidas de las muestras de concreto



Fuente: Elaboración propia.

- Seguidamente se colocaron las almohadillas de neopreno en la probeta.
- Se colocaron las placas de metal en la máquina de compresión para facilitar la aplicación de la carga.
- Se situó la probeta en la máquina de compresión centrándola con los bloques inferior y superior.

Figura 93: Ensayo de compresión de la muestra de concreto



Fuente: Elaboración propia.

- Se aplicó la carga teniendo cuidado que la carga sea aplicada continuamente sin chocar bruscamente con la muestra de ensayo.

Figura 94: Máquina de compresión



Fuente: Elaboración propia.

- Al producirse la rotura de la briqueta se detuvo la carga y se tomaron los datos correspondientes, registrando el valor de la carga máxima y el tipo de rotura.

Figura 95: Muestra C-3-B-28 de concreto sometida a compresión axial, con falla tipo 2



Fuente: Elaboración propia.

Figura 96: Muestra C-3-D-28 de concreto sometida a compresión axial, con falla tipo 2



Fuente: Elaboración propia.

Figura 97: Muestra C-1-A-14 de concreto sometida a compresión axial, con falla tipo 4



Fuente: Elaboración propia.

3.5.11.4. Toma de datos

Tabla 38: Datos de ensayos de resistencia a la compresión en testigos con 7 días de edad

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN													
Nombre de la muestra				Tiempo de formación de junta fría (horas)	Diámetro (cm)				Altura (cm)		Peso (kg)	Fuerza (kg)	Tipo de falla
					1	2	3	4	1	2			
C	P	A	7	Patrón	10.26	10.25	10.12	10.12	20.80	20.90	3936.00	14610	6
C	P	B	7	Patrón	10.17	10.20	10.10	10.15	20.80	20.90	3932.30	15480	2
C	P	C	7	Patrón	10.26	10.23	10.12	10.21	21.00	20.90	3955.40	15080	5
C	1	A	7	1	10.14	10.13	10.26	10.26	20.80	20.80	3923.90	13140	3
C	1	B	7	1	10.12	10.15	10.23	10.24	20.80	20.80	3918.70	15070	2
C	1	C	7	1	10.15	10.15	10.26	10.20	20.90	20.80	3928.60	15610	2
C	1.5	A	7	1 1/2	10.14	10.13	10.21	10.26	20.90	20.90	3875.00	13780	3
C	1.5	B	7	1 1/2	10.13	10.13	10.16	10.24	20.90	20.80	3891.40	15510	2
C	1.5	C	7	1 1/2	10.13	10.08	10.23	10.21	20.80	20.80	3906.80	14370	2
C	2	A	7	2	10.12	10.13	10.17	10.21	21.00	21.00	3940.20	13140	2
C	2	B	7	2	10.13	10.10	10.20	10.23	20.90	21.00	3937.60	14210	5
C	2	C	7	2	10.12	10.09	10.18	10.22	20.80	20.90	3922.80	15130	3
C	3	A	7	3	10.29	10.29	10.16	10.14	20.90	20.90	3922.20	15590	2
C	3	B	7	3	10.22	10.19	10.19	10.13	20.90	21.00	3930.50	13250	2
C	3	C	7	3	10.17	10.22	10.15	10.12	21.00	20.90	3907.80	13680	3
C	4	A	7	4	10.11	10.25	10.10	10.06	20.90	20.90	3914.30	14790	3
C	4	B	7	4	10.18	10.20	10.09	10.12	20.90	20.90	3872.80	14280	2
C	4	C	7	4	10.21	10.15	10.12	10.12	20.80	20.90	3868.20	12800	4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39: Datos de ensayos de resistencia a la compresión en testigos con 14 días de edad

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN													
Nombre de la muestra				Tiempo de formación de junta fría (horas)	Diámetro (cm)				Altura (cm)		Peso (kg)	Fuerza (kg)	Tipo de falla
					1	2	3	4	1	2			
C	P	A	14	Patrón	10.23	10.30	10.10	10.13	20.90	20.90	3903.80	16530	5
C	P	B	14	Patrón	10.23	10.26	10.17	10.22	20.90	21.00	3912.90	18110	5
C	P	C	14	Patrón	10.27	10.30	10.10	10.12	20.80	20.90	3871.70	16950	5
C	1	A	14	1	10.22	10.17	10.13	10.08	20.80	20.90	3955.70	16270	4
C	1	B	14	1	10.13	10.12	10.16	10.14	20.80	20.80	3913.70	18090	4
C	1	C	14	1	10.13	10.12	10.22	10.20	20.90	21.00	3951.70	16050	2
C	1.5	A	14	1.5	10.10	10.10	10.20	10.22	20.90	20.90	3890.50	17680	2
C	1.5	B	14	1.5	10.10	10.10	10.24	10.22	21.00	20.90	3913.30	15880	2
C	1.5	C	14	1.5	10.10	10.09	10.20	10.23	20.90	20.80	3871.10	16930	3
C	2	A	14	2	10.09	10.04	10.18	10.22	21.00	20.90	3927.20	16550	4
C	2	B	14	2	10.10	10.09	10.19	10.20	20.90	20.80	3929.00	17590	2
C	2	C	14	2	10.10	10.09	10.20	10.10	20.90	20.90	3929.00	14840	2
C	3	A	14	3	10.27	10.19	10.12	10.13	20.80	20.80	3896.20	15680	4
C	3	B	14	3	10.23	10.23	10.10	10.10	21.00	21.00	3943.70	16380	3
C	3	C	14	3	10.25	10.21	10.08	10.13	21.00	21.00	3960.70	17230	2
C	4	A	14	4	10.17	10.23	10.14	10.14	20.80	20.90	3903.50	15680	2
C	4	B	14	4	10.24	10.20	10.14	10.09	20.90	20.90	3934.40	15470	4
C	4	C	14	4	10.24	10.21	10.11	10.13	20.80	20.90	3904.80	16910	6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40: Datos de ensayos de resistencia a la compresión en testigos con 28 días de edad

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN													
Nombre de la muestra		Tiempo de formación de junta fría (horas)	Diámetro (cm)				Altura (cm)		Peso (kg)	Fuerza (kg)	Tipo de falla		
			1	2	3	4	1	2					
C	P	A	28	Patrón	10.24	10.20	10.14	10.18	21.00	20.90	3896.20	20910	3
C	P	B	28	Patrón	10.20	10.22	10.13	10.11	20.90	20.90	3938.10	18170	3
C	P	C	28	Patrón	10.25	10.20	10.10	10.13	20.90	20.90	3951.80	20490	5
C	1	A	28	1	10.10	10.07	10.23	10.18	20.80	20.80	3882.50	20190	2
C	1	B	28	1	10.11	10.12	10.20	10.22	20.80	20.70	3919.70	18990	2
C	1	C	28	1	10.13	10.14	10.17	10.21	20.70	20.70	3896.80	20120	2
C	1.5	A	28	1 1/2	10.13	10.14	10.20	10.23	20.80	20.90	3875.20	20010	2
C	1.5	B	28	1 1/2	10.12	10.14	10.21	10.21	20.90	20.90	3900.30	18970	3
C	1.5	C	28	1 1/2	10.13	10.14	10.18	10.23	21.00	20.90	3850.30	20390	2
C	2	A	28	2	10.10	10.13	10.22	10.23	20.80	20.90	3850.30	19960	2
C	2	B	28	2	10.12	10.12	10.24	10.23	20.90	21.00	3890.10	19360	2
C	2	C	28	2	10.12	10.06	10.20	10.21	20.90	20.90	3885.00	19630	2
C	3	A	28	3	10.20	10.21	10.11	10.09	20.80	20.80	3813.00	19170	4
C	3	B	28	3	10.22	10.23	10.10	10.14	20.90	21.00	3869.80	20390	2
C	3	C	28	3	10.19	10.25	10.14	10.13	20.80	20.90	3841.10	18540	2
C	4	A	28	4	10.18	10.25	10.13	10.09	20.80	20.80	3840.90	19960	2
C	4	B	28	4	10.24	10.23	10.13	10.15	20.90	20.90	3817.00	18490	4
C	4	C	28	4	10.20	10.23	10.14	10.12	20.80	20.90	3844.00	19420	2

Fuente: Elaboración propia.

3.5.12. Resistencia a la tracción indirecta de los testigos de concreto

3.5.12.1. Objetivo

Determinar el esfuerzo a la tracción de los testigos de concreto $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con vaciado interrumpido y con junta fría con tiempo de formación de 1, 1 ½, 2, 3 y 4 horas por el método de compresión diametral de especímenes cilíndricos de hormigón.

3.5.12.2. Equipos

- Máquina de compresión
- Placas de metal
- Brocha
- Wincha
- Vernier
- Balanza
- Plomada

- Listones de madera prensada de 3mm de espesor, 1" de ancho y 22cm de largo.

3.5.12.3. Procedimientos

- Se limpiaron las probetas de ensayo y se pesaron en la balanza. Posteriormente se tomaron 4 medidas del diámetro con el vernier y dos medidas de la longitud de la probeta con la wincha. Los datos fueron registrados.

Figura 98: Toma de medidas de las muestras de concreto



Fuente: Elaboración propia.

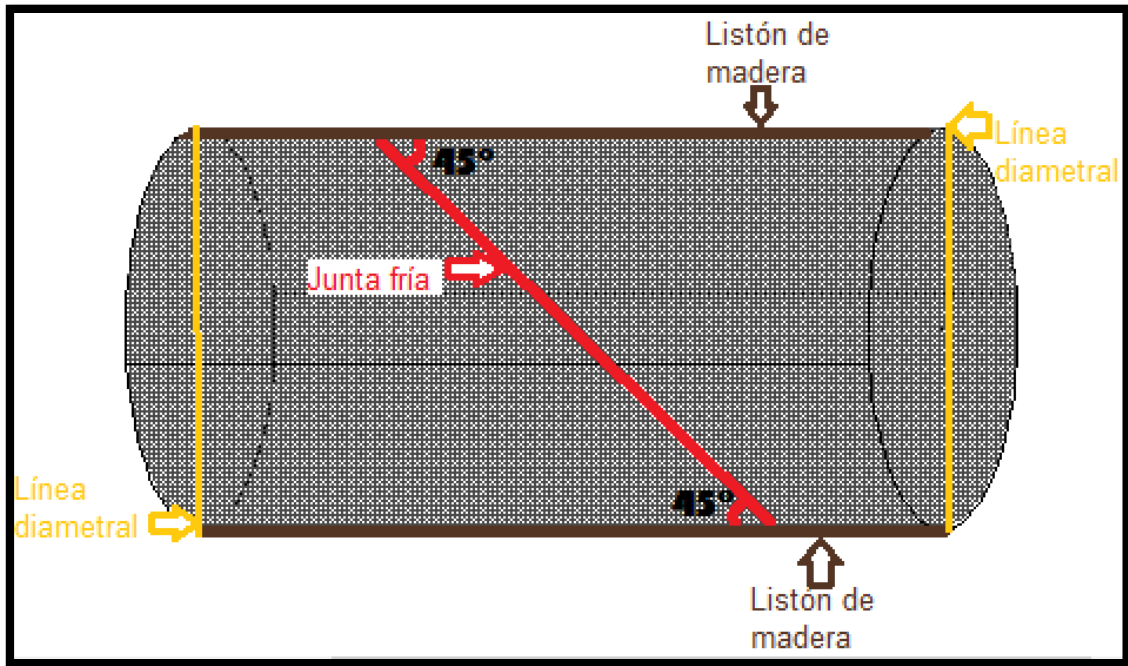
Figura 99: Toma de medidas de las muestras de concreto



Fuente: Elaboración propia.

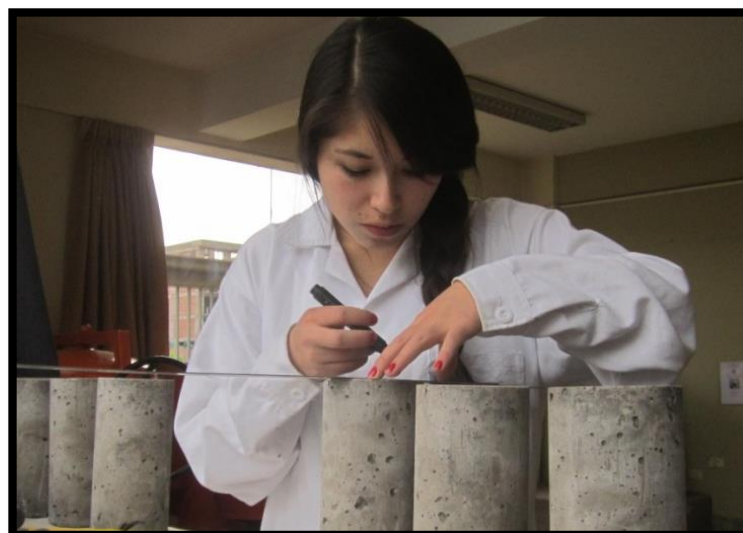
- Tomando en cuenta la orientación de la junta fría (para el caso de briquetas con juntas frías) se dibujaron líneas diametrales en cada extremo de la probeta usando la plomada para asegurar que queden en el mismo plano axial.

Figura 100: Orientación de la briqueta con junta fría para el ensayo de tracción



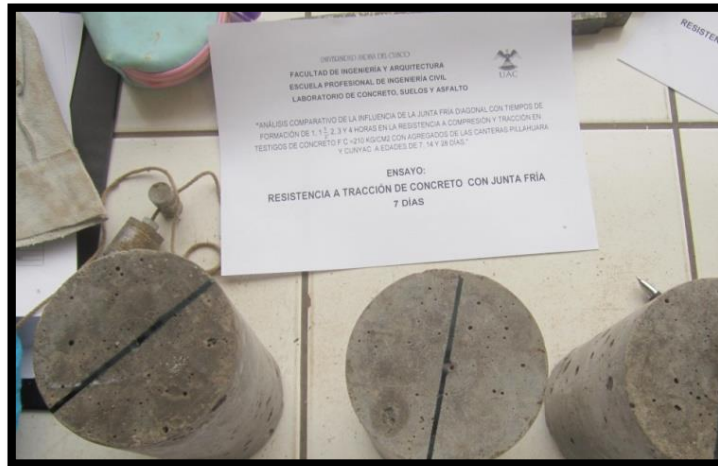
Fuente: Elaboración propia.

Figura 101: Dibujo de líneas en las briquetas para el ensayo de tracción indirecta



Fuente: Elaboración propia.

Figura 102: Muestras de concreto con líneas dibujadas para su ubicación en la máquina de compresión



Fuente: Elaboración propia.

- Se colocaron las placas de metal en la máquina de compresión para facilitar la aplicación de la carga. Estas placas fueron de mayor longitud que la altura de la probeta, para que la carga sea aplicada a lo largo de la misma.
- Se colocaron los listones de madera prensada en las zonas en las que la briqueta estará en contacto con las placas de metal. Estos listones solo fueron usados una sola vez por cada ensayo.

Figura 103: Muestra de concreto colocada en la máquina de compresión para el ensayo de tracción indirecta



Fuente: Elaboración propia.

- Se situó la probeta en la máquina de compresión centrándola con los bloques inferior y superior, con ayuda de las líneas marcadas previamente, asegurando que dichas marcas queden en forma vertical sobre la franja de apoyo.
- Durante el ensayo se verificó que la probeta esté centrada.
- Se aplicó la carga teniendo cuidado que la carga sea aplicada continuamente sin chocar bruscamente con la muestra de ensayo.
- Al producirse la rotura de la briqueta se detuvo la carga y se tomaron los datos correspondientes, registrando el valor de la carga máxima y el tipo de rotura.

Figura 104: Muestra de concreto ensayada a tracción indirecta



Fuente: Elaboración propia.

Figura 105: Muestra de concreto ensayada a tracción indirecta



Fuente: Elaboración propia.

Figura 106: Muestra de concreto ensayada a tracción



Fuente: Elaboración propia.

Figura 107: Muestra de concreto ensayada a tracción



Fuente: Elaboración propia.

Figura 108: Muestras de concreto ensayadas a tracción indirecta



Fuente: Elaboración propia.

3.5.12.4. Toma de datos

Tabla 41: Datos de ensayos de resistencia a la tracción indirecta en testigos con 7 días de edad

ENSAYO DE RESISTENCIA A TRACCIÓN												
Nombre de la muestra			Tiempo de formación de junta fría (horas)	Diámetro (cm)				Altura (cm)		Peso (kg)	Fuerza (kg)	
				1	2	3	4	1	2			
T	P	A	7	Patrón	10.18	10.22	10.14	10.14	20.90	21.00	3909.30	7930
T	P	B	7	Patrón	10.21	10.29	10.14	10.18	20.90	21.00	3923.80	7670
T	P	C	7	Patrón	10.26	10.22	10.14	10.14	20.80	20.90	3933.90	6370
T	1	A	7	1	10.11	10.13	10.26	10.22	20.90	21.00	3956.90	6220
T	1	B	7	1	10.14	10.11	10.27	10.22	20.90	21.00	3939.00	6020
T	1	C	7	1	10.23	10.22	10.13	10.04	20.90	20.80	3953.10	7880
T	1.5	A	7	1 1/2	10.13	10.13	10.20	10.27	20.90	20.90	3903.80	6450
T	1.5	B	7	1 1/2	10.14	10.10	10.23	10.21	20.90	20.90	3892.20	7820
T	1.5	C	7	1 1/2	10.14	10.11	10.24	10.20	21.00	20.90	3914.40	7370
T	2	A	7	2	10.20	10.07	10.20	10.18	20.90	21.00	3946.80	6850
T	2	B	7	2	10.08	10.14	10.24	10.21	20.90	20.80	3918.70	6070
T	2	C	7	2	10.13	10.09	10.23	10.20	20.90	21.00	3935.40	7650
T	3	A	7	3	10.25	10.25	10.16	10.14	20.90	21.00	3932.80	5730
T	3	B	7	3	10.26	10.27	10.14	10.15	20.90	20.80	3907.60	6980
T	3	C	7	3	10.24	10.23	10.13	10.14	20.90	21.00	3948.10	7220
T	4	A	7	4	10.15	10.22	10.12	10.13	20.90	21.00	3880.50	5890
T	4	B	7	4	10.22	10.19	10.12	10.11	20.90	21.00	3905.30	7330
T	4	C	7	4	10.20	10.22	10.12	10.10	20.90	21.00	3860.60	6580

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42: Datos de ensayos de resistencia a la tracción indirecta en testigos con 14 días de edad

ENSAYO DE RESISTENCIA A TRACCIÓN												
Nombre de la muestra			Tiempo de formación de junta fría (horas)	Diámetro (cm)				Altura (cm)		Peso (kg)	Fuerza (kg)	
				1	2	3	4	1	2			
T	P	A	14	Patrón	10.19	10.30	10.11	10.12	20.90	20.80	3905.50	8730
T	P	B	14	Patrón	10.24	10.22	10.18	10.10	20.80	20.80	3904.30	7850
T	P	C	14	Patrón	10.28	10.24	10.13	10.08	20.90	20.90	3900.00	8260
T	1	A	14	1	10.12	10.14	10.19	10.22	20.90	21.00	3957.50	8180
T	1	B	14	1	10.19	10.23	10.13	10.10	20.90	20.80	3924.90	6970
T	1	C	14	1	10.13	10.12	10.20	10.23	20.70	20.80	3939.50	8680
T	1.5	A	14	1 1/2	10.11	10.09	10.18	10.20	21.00	20.90	3931.20	7580
T	1.5	B	14	1 1/2	10.10	10.09	10.20	10.21	20.90	20.90	3936.70	8830
T	1.5	C	14	1 1/2	10.10	10.12	10.22	10.13	20.90	20.90	3927.60	8270
T	2	A	14	2	10.09	10.10	10.21	10.24	20.90	21.00	3898.20	7940
T	2	B	14	2	10.10	10.09	10.20	10.25	20.90	20.90	3935.00	8230
T	2	C	14	2	10.10	10.06	10.20	10.17	21.00	20.90	3927.50	6810
T	3	A	14	3	10.24	10.20	10.09	10.10	20.90	21.00	3925.90	8310
T	3	B	14	3	10.23	10.20	10.13	10.12	21.00	21.00	3960.80	7980
T	3	C	14	3	10.23	10.25	10.12	10.12	20.90	21.00	3947.70	7670
T	4	A	14	4	10.25	10.20	10.13	10.14	20.80	20.90	3904.80	7580
T	4	B	14	4	10.21	10.20	10.14	10.13	20.90	20.90	3885.10	7050
T	4	C	14	4	10.23	10.20	10.14	10.14	20.80	20.90	3882.30	8110

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43: Datos de ensayos de resistencia a la tracción indirecta en testigos con 28 días de edad

ENSAYO DE RESISTENCIA A TRACCIÓN												
Nombre de la muestra			Tiempo de formación de junta fría (horas)	Diámetro (cm)				Altura (cm)		Peso (kg)	Fuerza (kg)	
				1	2	3	4	1	2			
T	P	A	28	Patrón	10.25	10.23	10.11	10.10	20.90	20.90	3920.30	9320
T	P	B	28	Patrón	10.25	10.15	10.12	10.09	20.80	20.80	3926.40	10520
T	P	C	28	Patrón	10.13	10.12	10.23	10.20	20.90	20.90	3926.30	10890
T	1	A	28	1	10.12	10.11	10.23	10.21	20.90	20.90	3865.20	9690
T	1	B	28	1	10.13	10.13	10.23	10.19	20.90	20.80	3865.50	8730
T	1	C	28	1	10.12	10.13	10.22	10.23	20.90	20.80	3835.10	11060
T	1.5	A	28	1 1/2	10.11	10.12	10.24	10.19	20.90	21.00	3850.10	9180
T	1.5	B	28	1 1/2	10.11	10.13	10.21	10.24	20.90	21.00	3875.20	11030
T	1.5	C	28	1 1/2	10.10	10.12	10.21	10.23	20.90	21.00	3860.10	10330
T	2	A	28	2	10.14	10.06	10.20	10.21	20.80	20.90	3845.50	10460
T	2	B	28	2	10.12	10.06	10.16	10.21	20.80	20.80	3855.10	9850
T	2	C	28	2	10.11	10.10	10.19	10.24	20.90	20.80	3830.00	8930
T	3	A	28	3	10.24	10.23	10.09	10.10	20.90	21.00	3887.40	9460
T	3	B	28	3	10.14	10.24	10.10	10.14	20.90	21.00	3885.60	8950
T	3	C	28	3	10.20	10.20	10.10	10.10	21.00	21.00	3894.60	8170
T	4	A	28	4	10.20	10.23	10.13	10.14	20.80	20.90	3909.00	8680
T	4	B	28	4	10.19	10.22	10.14	10.14	20.80	20.90	3842.70	9580
T	4	C	28	4	10.22	10.20	10.13	10.12	20.80	20.80	3882.10	9950

Fuente: Elaboración propia.

3.6. Procedimientos de análisis de datos

Los datos de cada ensayo fueron analizados de acuerdo a las normas correspondientes a los mismos.

3.6.1. Granulometría y módulo de fineza

Granulometría:

Debido a que en este ensayo se utilizaron muestras de más de 1 kg que fueron colocadas por partes en la máquina agitadora de tamices para evitar su saturación, se sumaron los pesos retenidos en cada malla.

Para analizar la granulometría de los agregados finos y gruesos, debemos obtener el porcentaje de agregado que pasa cada malla, por lo tanto, usaremos las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{Peso del material retenido en tamiz} * 100}{\text{Peso de la muestra}}$$



Pondremos como ejemplo el peso retenido en la malla #4 en el primer ensayo de granulometría en agregado fino, el peso obtenido es de 40.2 gr y el peso total de la muestra es de 853.68 gr.

$$\% \text{ retenido} = \frac{40.2 \text{ gr}}{853.68 \text{ gr}} * 100$$

$$\% \text{ retenido} = 4.71\%$$

Después de obtener los porcentajes retenidos en todos los tamices, estos se suman gradualmente obteniendo los porcentajes retenidos acumulados. Seguidamente se obtiene el porcentaje que pasa cada malla con la siguiente formula:

$$\% \text{ que pasa} = 100\% - \% \text{ retenido acumulado}$$

Continuando con el ejemplo, ya que la malla de mayor abertura en el ensayo es la #4, entonces solo para este dato el porcentaje retenido acumulado es igual al porcentaje retenido:

$$\% \text{ que pasa} = 100\% - 4.71\%$$

$$\% \text{ que pasa} = 95.29\%$$

De esta forma se obtuvieron los datos de la granulometría para los agregados finos y gruesos.

Seguidamente los resultados de este ensayo son comparados con los límites indicados en las normas NTP 400.037 y ASTM C-33, detallados en las tablas 2 y 3, para agregados finos y gruesos respectivamente.

Módulo de fineza:

Para calcular el módulo de fineza, se sumó el porcentaje acumulado retenido de material de cada uno de los siguientes tamices (porcentaje acumulado retenido): N°100; N°50; N°30; N°16; N°8; N°4; 3/8"; 3/4"; 1 1/2"; 3" y 6".

Finalmente, la suma fue dividida entre 100. El módulo de fineza debe ser mayor que 2,3 y menor que 3,1.

3.6.1.1. Análisis de la granulometría del agregado fino y módulo de fineza

Primer ensayo de granulometría en agregado fino:

Tabla 44: Análisis de datos del primer ensayo de granulometría del agregado fino

Malla	Abertura (mm)	Peso (gr.)	Peso retenido (%)	% Retenido Acumulado	% Que pasa
#4	4.7500	40.19	4.71	4.71	95.29
#8	2.3600	63.07	7.39	12.10	87.90
#16	1.1800	73.75	8.64	20.73	79.27
#30	0.5900	148.70	17.42	38.15	61.85
#50	0.2950	349.06	40.89	79.04	20.96
#100	0.1475	142.60	16.70	95.75	4.25
#200	0.0737	25.78	3.02	98.77	1.23
Fondo		10.53	1.23	100.00	0.00
Total		853.68			

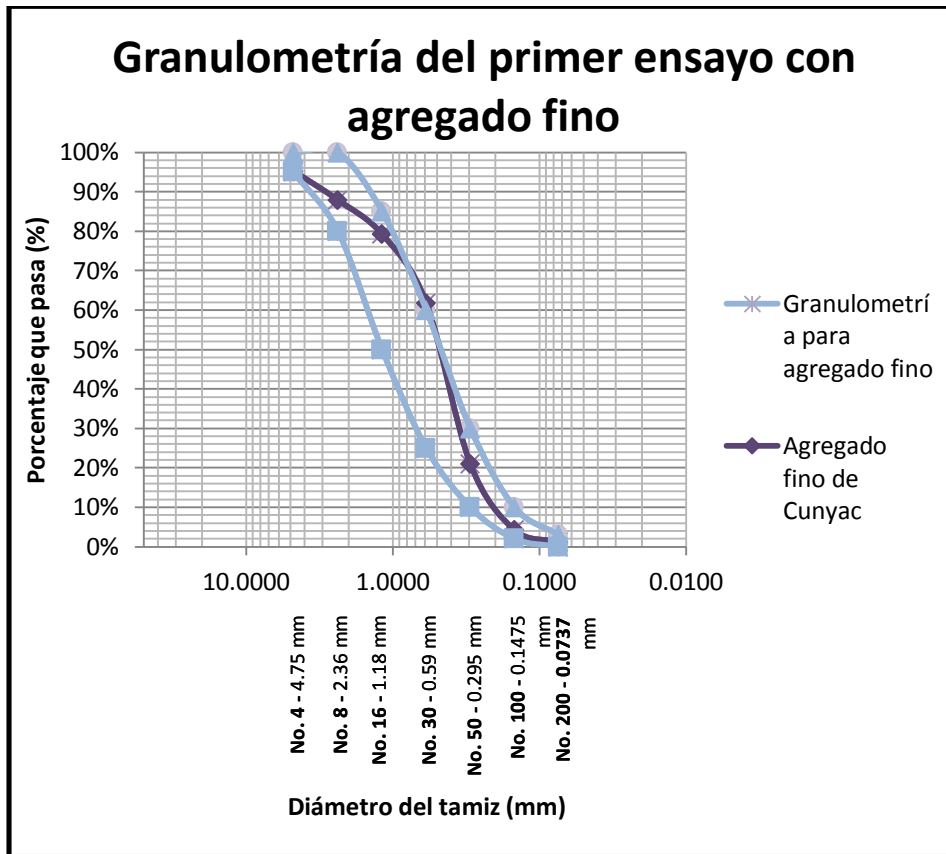
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45: Comparación de los resultados del primer ensayo de granulometría del agregado fino con los límites indicados en las normas NTP 400.037 y ASTM C-33

Malla	Min.		% Que pasa		Máx.	
#4	95	<	95.29	<	100	Si cumple
#8	80	<	87.90	<	100	Si cumple
#16	50	<	79.27	<	85	Si cumple
#30	25	<	61.85	<	60	No cumple
#50	10	<	20.96	<	30	Si cumple
#100	2	<	4.25	<	10	Si cumple
#200	0	<	1.23	<	3	Si cumple

Fuente: Elaboración propia.

Figura 109: Curva granulométrica del primer ensayo de granulometría en agregado fino



Fuente: Elaboración propia.

Segundo ensayo de granulometría en agregado fino:

Tabla 46: Suma de los datos del segundo ensayo de granulometría del agregado fino

DATOS OBTENIDOS EN LABORATORIO					SUMA
#4	21.86	19.66	20.78	22.35	84.65
#8	34.76	31.04	32.99	35.42	134.21
#16	41.48	36.86	39.06	41.96	159.36
#30	97.78	86.61	91.71	98.93	375.03
#50	193.14	173.65	181.68	195.97	744.44
#100	79.74	70.02	74.24	79.89	303.89
#200	13.95	12.61	13.16	14.15	53.87
Fondo	5.57	4.97	5.37	5.68	21.59
Peso total de la muestra					1877.04

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47: Análisis de datos del segundo ensayo de granulometría del agregado fino

Malla	Abertura (mm)	Peso (gr.)	Peso retenido (%)	% Retenido Acumulado	% Que pasa
#4	4.7500	84.65	4.51	4.51	95.49
#8	2.3600	134.21	7.15	11.66	88.34
#16	1.1800	159.36	8.49	20.15	79.85
#30	0.5900	375.03	19.98	40.13	59.87
#50	0.2950	744.44	39.66	79.79	20.21
#100	0.1475	303.89	16.19	95.98	4.02
#200	0.0737	53.87	2.87	98.85	1.15
Fondo		21.59	1.15	100.00	0.00
Total		1877.04			

Fuente: Elaboración propia.

Para calcular el módulo de fineza se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Módulo de fineza} = \frac{\% \text{ Retenido Acumulado (N}^\circ 100; \text{N}^\circ 50; \text{N}^\circ 30; \text{N}^\circ 16; \text{N}^\circ 8; \text{N}^\circ 4; 3/8"; 3/4")}{100}$$

$$\text{Módulo de fineza} = \frac{95.98 + 79.79 + 40.13 + 20.15 + 11.66 + 4.51}{100}$$

$$\text{Módulo de fineza} = \frac{252.22}{100}$$

$$\text{Módulo de fineza} = 2.52$$

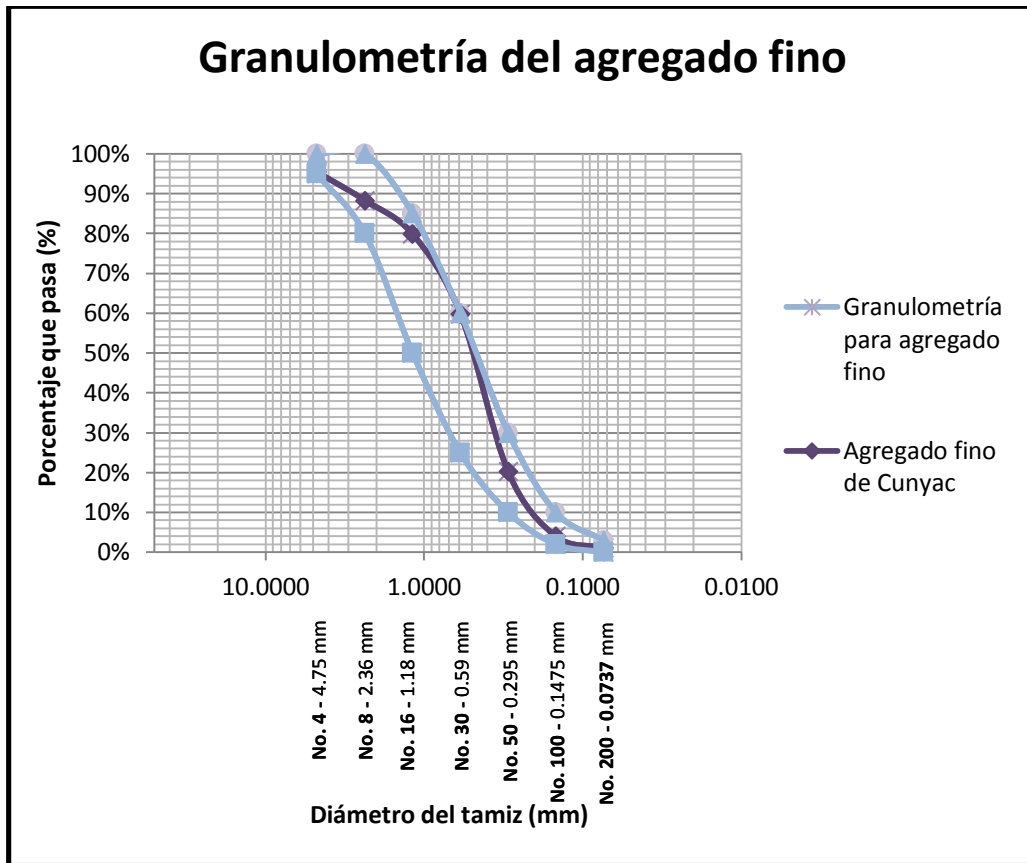
El módulo de fineza es mayor que 2,3 y menor que 3,1. Por lo tanto si cumple con los límites de la norma ASTM C 33.

Tabla 48: Comparación de los resultados del segundo ensayo de granulometría del agregado fino con los límites indicados en las normas NTP 400.037 y ASTM C-33

Malla	Min.		% Que pasa		Máx.	
#4	95	<	95.49	<	100	Si cumple
#8	80	<	88.34	<	100	Si cumple
#16	50	<	79.85	<	85	Si cumple
#30	25	<	59.87	<	60	Si cumple
#50	10	<	20.21	<	30	Si cumple
#100	2	<	4.02	<	10	Si cumple
#200	0	<	1.15	<	3	Si cumple

Fuente: Elaboración propia.

Figura 110: Curva granulométrica del segundo ensayo de granulometría en agregado fino



Fuente: Elaboración propia.

3.6.1.2. Análisis de la granulometría del agregado grueso

Tabla 49: Suma de los datos del ensayo de granulometría del agregado grueso

DATOS OBTENIDOS EN LABORATORIO					SUMA
3/4"	0	0	0	0	0
1/2"	15.0	8.2	10.3	5.0	38.5
3/8"	640.0	857.9	676.0	348.9	2522.8
N°4	669.9	750.0	671.6	415.1	2506.6
N°8	4.9	4.8	4.2	1.6	15.5
Fondo	0.5	1.1	0.8	0.6	3.0
Peso total de la muestra					5086.4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 50: Análisis de datos del ensayo de granulometría del agregado grueso

Malla	Abertura (mm)	Peso (gr.)	Peso retenido (%)	% Retenido Acumulado	% Que pasa
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.50	38.50	0.76	0.76	99.24
3/8"	9.50	2522.80	49.60	50.36	49.64
N°4	4.75	2506.60	49.28	99.64	0.36
N°8	2.36	15.50	0.30	99.94	0.06
Fondo		3.00	0.06	100.00	0.00
Total		5086.4			

Fuente: Elaboración propia.

Para calcular el módulo de fineza se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Módulo de fineza} = \frac{\% \text{ Retenido Acumulado } (N^{\circ}100; N^{\circ}50; N^{\circ}30; N^{\circ}16; N^{\circ}8; N^{\circ}4; 3/8"; 3/4")}{100}$$

$$\text{Módulo de fineza} = \frac{50.35 + 99.64 + 99.94 + 100 + 100 + 100 + 100}{100}$$

$$\text{Módulo de fineza} = \frac{649.93}{100}$$

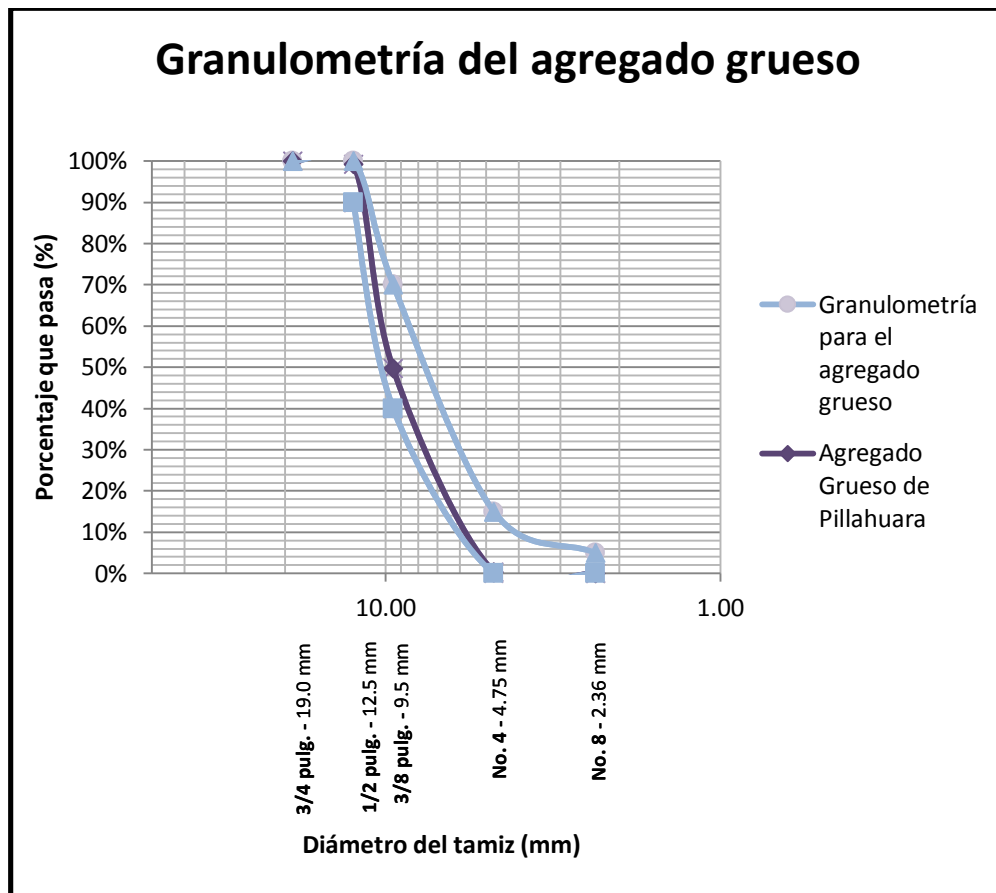
$$\text{Módulo de fineza} = 6.50$$

Tabla 51: Comparación de los resultados del ensayo de granulometría del agregado grueso con los límites indicados en las normas NTP 400.037 y ASTM C-33

Malla	Min.		% Que pasa		Máx.	
3/4"	0	<	100.00	<	100	Si cumple
1/2"	90	<	99.24	<	100	Si cumple
3/8"	40	<	49.64	<	70	Si cumple
N°4	0	<	0.36	<	15	Si cumple
N°8	0	<	0.06	<	5	Si cumple

Fuente: Elaboración propia.

Figura 111: Curva granulométrica del ensayo de granulometría en agregado grueso



Fuente: Elaboración propia.

3.6.2. Modificación de la granulometría del agregado fino

Debido a que el agregado fino de la cantera de Cunyac en el primer ensayo de granulometría mostró que no cumplía con los límites especificados en las normas NTP 400.037 y ASTM C-33 para su uso en la elaboración de concreto, este fue modificado.

3.6.2.1. Análisis de la modificación de la granulometría del agregado fino

En la tabla 45 de comparación de los resultados del primer ensayo de granulometría del agregado fino con los límites indicados en las normas NTP 400.037 y ASTM C-33 se observó que el porcentaje que pasa la malla #30 es mayor que el porcentaje indicado en los límites, entonces es evidente que se necesita añadir material retenido entre las mallas #16 y #30.

Con los datos de granulometría de la tabla 45, se procedió a estimar un peso retenido en la malla #30 que si cumpla con los límites de las normas, el valor fue de 176 gr para una muestra de 880.98 gr. Solo el peso retenido en la malla #30 fue modificado.

Tabla 52: Granulometría del primer ensayo en agregados finos con peso modificado en la malla #30

Malla	Abertura (mm)	Peso (gr.)	Peso retenido (%)	% Retenido Acumulado	% Que pasa	
#4	4.7500	40.29	4.562	4.562	95.44	Si cumple
#8	2.3600	63.07	7.159	11.721	88.28	Si cumple
#16	1.1800	73.75	8.371	20.092	79.91	Si cumple
#30	0.5900	176.00	19.978	40.070	59.93	Si cumple
#50	0.2950	349.06	39.622	79.692	20.31	Si cumple
#100	0.1475	142.60	16.187	95.878	4.12	Si cumple
#200	0.0737	25.78	2.926	98.805	1.20	Si cumple
Fondo		10.53	1.195	100.000	0.00	
Total		880.98				

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla es posible observar que solo al modificar el peso retenido en la malla #30, el porcentaje que pasa en todas las mallas varía ya que el peso total de la muestra también se fue afectado, pero aun así cumple con los límites de las normas NTP 400.037 y ASTM C-33.

Seguidamente se determinó el porcentaje de agregado retenido entre las mallas #16 y #30 que sería añadido al agregado inalterado para modificar su granulometría.

A: Peso real del agregado retenido en la malla #30: 148.70 gr

B: Peso ideal estimado del agregado retenido en la malla #30: 176.00 gr

C: Peso faltante de material retenido entre las mallas #16 y #30.

Entonces el peso de agregado retenido en la malla #30 que falta añadir a la muestra original es determinado por medio de la resta de los valores B y A:

$$C = B - A$$

$$C = 176.00 \text{ gr} - 148.70 \text{ gr}$$



C: Peso faltante de material ret. entre mallas #16 y #30 = 27.3 gr

El peso faltante de material retenido en la malla #30 hallado es aplicable solo a la muestra original del primer ensayo de 853.68 gr (tabla 44). Entonces es necesario hallar el porcentaje del peso del material faltante retenido entre las mallas #16 y #30 (C) respecto al peso total de la muestra original, entonces:

$$D = \frac{C}{\text{Peso total de muestra original}} \times 100$$

$$D = \frac{27.30 \text{ gr}}{853.68} \times 100$$

$$D = 3.20\%$$

Entonces el porcentaje D del peso de la muestra de material inalterado nos indicará el peso del material retenido entre los tamices #16 y #30 que debemos añadir para que cumpla con los límites de las normas NTP 400.037 y ASTM C-33.

Por ejemplo, si tenemos una muestra de arena de 5600 gr, añadiremos $5600 \text{ gr} \times 0.032 = 179.2 \text{ gr}$ de material retenido entre los tamices #16 y #30. Entonces tendremos una muestra de $5600 \text{ gr} + 179.2 \text{ gr} = 5779.2 \text{ gr}$ que si cumple con los límites de las normas mencionadas líneas arriba.

3.6.3. Peso específico y porcentaje de absorción

3.6.3.1. Análisis del peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino

Con los datos obtenidos en el ensayo:

A: Peso en el aire de la muestra secada en el horno = 490,3 gr.

B: Peso del picnómetro lleno con agua = 667,1 gr.

C: Peso del picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración = 977,8 gr.

S: Peso de la muestra saturada y superficialmente seca = 500,0 gr.



Para hallar el peso específico de la masa para agregado fino (Pem), se usó la siguiente fórmula:

$$Pem = \frac{A}{B + S - C}$$
$$Pem = \frac{490.3gr}{667.1gr + 500.0gr - 977.8gr}$$
$$Pem = 2.59$$

Para conocer el valor del peso específico de una masa saturada con superficie seca para agregado fino ($PeSSS$):

$$PeSSS = \frac{S}{B + S - C}$$
$$PeSSS = \frac{500.0gr}{667.1gr + 500.0gr - 977.8gr}$$
$$PeSSS = 2.64$$

El peso específico aparente para agregado fino (Pea) se halló mediante la siguiente fórmula:

$$Pea = \frac{A}{B + A - C}$$
$$Pea = \frac{490.3gr}{667.1gr + 490.3gr - 977.8gr}$$
$$Pea = 2.73$$

El porcentaje de absorción del agregado fino se determinó con la siguiente fórmula:

$$Ab (\%) = 100 \times \frac{S - A}{A}$$
$$Ab (\%) = 100 \times \frac{500.0gr - 490.3gr}{490.3gr}$$
$$Ab (\%) = 1.98$$