



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



UAC

TESIS

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES
FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE RESISTENCIA
 $f'_c=210$ Kg/CM² Y CONCRETO AUTOCOMPACTABLE EN
FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO -
CUSCO 2019”**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Materiales De Construcción,
Tecnología Del Concreto

Presentado por:

Bach. Chavez Cusi, Danae Gandy

Bach. Soncco Romero, Stacy Beatriz

Para optar al Título Profesional
de Ingeniero Civil

Asesor: Ing. Chacón Sánchez, Víctor

CUSCO – PERÚ

2019



Dedicatoria

A Dios y A La virgen Asunta

Quiénes me dieron fuerzas para no decaer en este camino frente a las adversidades enseñándome a ser fuerte perseverante y constante enseñándome a encararlas sin perder la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mis Padres

Estela y Wilfredo quienes me han apoyado siempre incondicionalmente y gracias a sus consejos y palabras de aliento me ayudaron a crecer como persona y a luchar por lo que quiero, gracias por enseñarme valores que me han llevado a alcanzar una gran meta los amo.

A mi Jack

Quien paso fugazmente por mi vida dejándome ejemplo de lucha y valentía aferrándose a la vida fuiste un pilar principal para que no decaiga en este camino dándome fuerzas para continuar te quiero mi jaki.

A mi abuela

Luisa mi segunda madre quien es un gran apoyo para mi siendo un ejemplo de vida, por sus consejos, sus valores y motivación constante pero más que nada por su amor quien merece toda mi admiración, cariño y respeto.

Finalmente, a mis hermanos Alain, Priya y Tamara por estar conmigo y brindarme su cariño y en general a toda mi familia y amigos quienes siempre me brindaron apoyo día a día en el transcurso de cada año de mi vida universitaria.

STACY B.



Dedicatoria

A mis Padres

Norma y Dario quienes con su ejemplo y dedicación han sabido educarme como persona, espero estén orgullosos de este logro que también es vuestro.

A mi hermano

Darío por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.

A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Finalmente, a todos los amigos que se han ido formando a lo largo del transcurrir del tiempo quienes siempre han ofrecido su apoyo desinteresado.

Danae G.



Agradecimientos

A Dios por habernos dado la sabiduría y la fortaleza para que fuera posible alcanzar este logro.

A nuestra querida “Universidad Andina del Cusco”, por permitir formarnos en sus aulas para ser parte del equipo de profesionales que sacaran adelante a nuestro país.

A nuestro asesor de tesis, Mgt. Ing. Víctor Chacón Sánchez, por guiarnos para realizar esta tesis bajo su dirección y apoyo desde su inicio hasta su culminación, su capacidad para guiar nuestras ideas ha sido un aporte invaluable le agradecemos también el habernos facilitado siempre los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de esta tesis.

Agradecemos de manera especial a nuestra co-asesora Lic. Marisol Champi y su esposo Ing. Kenny G. Puma por el apoyo y guía en el desarrollo de la parte estadística de la tesis así como la motivación para culminar este trabajo de investigación.

Al Ing. Heiner Soto Flórez, así como también al Ing. José Humberto Cabezas Mancilla, por su apoyo en todo el transcurso y desarrollo de la tesis, así como en las recomendaciones vertidas para enriquecer y mejorar el trabajo final no cabe duda que su participación ha enriquecido el trabajo realizado.

Agradecemos de manera especial y sincera a nuestro compañero Agustín por su apoyo, participación activa, confianza y paciencia en nuestro trabajo.

A todos nuestros amigos y compañeros de laboratorio (charly, Vanessa, Shakti, Alfredo, Renato, Rommel) gracias por la ayuda y por su amistad.

Stacy y Danae.



Resumen

Debido al crecimiento continuo del consumo de concreto en el rubro de la construcción, resulta de ayuda acceder a métodos de evaluación in situ que, de manera sencilla y rápida, permitan caracterizar estructuras de concreto en función a las propiedades físicas y mecánicas como las de resistencias; por ello la presente tesis de investigación propone un análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas del concreto simple y concreto autocompactable que para términos de esta tesis se tienen la abreviación de (CS) y (CAC) respectivamente; en función del Ensayo de pulso ultrasónico. Asociando un grado de confiabilidad.

La finalidad es realizar un control de calidad permanente in situ, que permita la continuidad correcta de labores y/o evitar retrabajos probablemente costosos, generando ahorros para la industria de la construcción.

El trabajo desarrollado se da inicio en laboratorio con la preparación, muestreo y control de diseños patrón de CS y CAC, a partir de los cuales se establecieron variables de estudio como: la relación Agua/Cemento y el tamaño del agregado, luego se procedió al realizar la producción de la población total de los especímenes de: CS y CAC respectivamente, considerando que el rango de resistencias a compresión es similar en cada uno de los especímenes de cada tipo de concreto. Se procedió a realizar una comparación de los resultados obtenidos de ensayos en estado endurecido: con la medición de las propiedades físicas en función de Velocidad de Pulso Ultrasónico, obteniendo datos confiables por: exploración por líneas y área así también en la propiedad mecánica con la medición de calidad de resistencia con maquina a compresión y velocidad de pulso ultrasónico; finalmente se establecieron relaciones y se realizó un análisis de confiabilidad con el fin de determinar ecuaciones de tendencia que ajusten al comportamiento del: CS y CAC.

Palabras clave:

CAC (concreto autocompactable), CS (concreto simple), resistencia a la compresión, Velocidad de Pulso Ultrasónico.



Abstract

Due to the continuous growth of concrete consumption in the field of construction, it is helpful to Access on-site evaluation methods that, in a simple and quick way, allow the characterization of concrete structures based on the physical and resistance properties; by and mechanics of concrete autocompactable concrete in function of the ultrasonic pulse test.

Associating a degree of reliability. The purpose is to perform a permanent quality control on site, which allows the correct continuity of work and / or avoid costly rework, generating savings for the construction industry.

The work developed begins in the laboratory with the preparation, sampling and control of standard designs of CS and CAC, from which study variables were established such as: the Water / Cement ratio and the size of the aggregate, then proceeded to make the production of the total population of the specimens of: CS and CAC respectively, considering that the range of compressive strengths is similar in each of the specimens of each type of concrete. A comparison was made of the results obtained from tests in a hardened state: with the measurement of the physical properties as a function of Ultrasonic Pulse Rate, obtaining reliable data by: line and area exploration as well as in the mechanical property with the measurement of quality of resistance with machine to compression and speed of ultrasonic pulse; Finally, relationships were established and a reliability analysis was performed in order to determine trend equations that fit the behavior of: CS and CAC.

Keywords:

CAC (self-compacting concrete), CS (simple concrete), established and a reliability analysis, Ultrasonic pulse test, resistance to compression.



Introducción

En la actualidad el concreto es considerado como el material de mayor consumo en el rubro de la construcción, ya que posee diversas ventajas en el estado fresco como la capacidad de moldear diversas formas en estructuras monolíticas y en estado endurecido como su resistencia frente a otros materiales de construcción, poseen también excelentes propiedades físico-mecánicas, por ello el concreto en todas sus diversidades sigue siendo estudiado, evaluado y experimentado.

Dentro de la gran demanda de la construcción existen diferentes tipos de concreto, para la investigación se contempló el concreto simple de resistencia $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y el concreto autocompactable teniendo cada uno sus propias características físicas y mecánicas los cuales serán elaborados con Cemento Portland tipo IP, superplastificante, agregado fino de las canteras de Cunyac y Vicho (cabeceado), agregado grueso de 3/4" de la cantera de Vicho, utilizando los diseños de mezcla ACI y "Okamura Y Ouchi" respectivamente.

Para la caracterización de cada uno de los concretos en el estado fresco se realizará una serie de ensayos como son: medición del revenimiento, verificar la trabajabilidad con ensayos como: caja L, embudo V, embudo U.

Se pretende analizar las propiedades físicas y mecánicas del concreto simple de calidad $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y concreto autocompactable en estado endurecido mediante ensayos de calidad de los concretos in situ para una mejor caracterización en función a la velocidad de pulso ultrasónico en las propiedades físicas como: uniformidad de los concretos, densidad y en las propiedades mecánicas; como los ensayos de resistencia mediante la velocidad de pulso ultrasónico con ayuda del equipo Pundit Lab 200 (PL200) y la máquina de resistencia a la compresión.

La resistencia a la compresión será evaluada mediante la fabricación de briquetas sometidas a compresión del concreto simple (CS) de calidad $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y concreto autocompactable (CAC) a la edad de 28 días con el uso de la máquina de compresión y el instrumento ultrasónico no destructivo pundit PL-200 para poder determinar la precisión de este último, evaluando el grado de confiabilidad de este instrumento en unidades de concreto.

La presente tesis de investigación tuvo como finalidad caracterizar la resistencia del concreto simple (CS) de calidad $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y concreto autocompactable (CAC) de manera sencilla y rápida, permitiendo caracterizar estructuras de concreto en función de resistencia a compresión in situ y poder verificar la calidad de los mismos. Por ello la presente tesis propone



un análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas del concreto (CS) y concreto autocompactable (CAC) en estado endurecido en función del Ensayo de pulso ultrasónico. Asociando un grado de confiabilidad; La finalidad es realizar un control de calidad permanente in situ, que permita la continuidad correcta de labores y/o evitar retrabajos probablemente costosos y así poder generar ahorros para la industria de la construcción.”



Índice General

Dedicatoria I

Dedicatoria II

Agradecimientos III

Resumen IV

Abstract V

Introducción..... VI

Índice de Figuras..... XVII

Capitulo I: Planteamiento del Problema21

1.1. Identificación del problema.....21

1.1.1. Descripción del problema.....21

1.1.2. Formulación Interrogativa del problema22

1.2. Justificación e importancia de la investigación23

1.2.1. Justificación técnica23

1.2.2. Justificación social.....23

1.2.3. Justificación por vialidad24

1.2.4. Justificación por relevancia24

1.3. Limitaciones de la investigación25

1.3.1. Limitaciones de lugar25

1.3.2. Limitaciones de materiales usados25

1.3.3. Limitaciones de los agregados.....25

1.3.4. Limitaciones de diseño de mezclas.....25

1.3.5. Limitaciones de Equipos26

1.4. Objetivo de la investigación26



1.4.1. Objetivo general.....26

1.4.2. Objetivos específicos.....26

Capitulo II: Marco teórico de la tesis27

2.1. Antecedentes de la tesis o Investigación Actual27

2.1.1. Antecedentes a nivel nacional.....27

2.1.2. Antecedentes a nivel internacional29

2.2. Bases teóricas-científicas31

2.2.1 Concreto31

2.2.2. Concretos que se usaron en la presente investigación:32

2.2.3. Ensayos de concreto endurecido.....83

2.2.4. Ensayos realizados con el Pundit Lab 200 (PL-200)97

2.2.5. Bases estadísticas.....104

2.2 Hipótesis.....107

2.2.1. Hipótesis general107

2.2.2. Sub hipótesis.....107

2.3. Definición de variables108

2.3.1. Variables108

2.3.2. Cuadro de operacionalización de variables.....109

Capitulo III: Metodología.....110

3.1. Tipo de investigación.....110

3.1.1 Enfoque de la investigación.....110

3.1.2 Nivel o alcance de la investigación110

3.1.3 Método de investigación.....111

3.2 Diseño de la investigación111

3.2.1 Diseño metodológico111



3.2.2	Diseño de ingeniería.....	112
3.3	Población y muestra.....	114
3.3.1	Población	114
3.3.2	Muestra	115
3.4	Instrumentos	119
3.4.1	Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos	120
3.4.2	Instrumentos de ingeniería	127
3.5	Procedimiento de recolección de datos	128
3.5.1	Muestreo de los agregados (NTP 400.012)	128
3.5.2	Granulometría de los agregados (NTP 400.012)	132
3.5.3	Propiedades de los agregados finos y gruesos	137
3.6.	Procedimiento de análisis de datos	194
3.6.2	Análisis de las propiedades de los agregados finos y gruesos	199
3.6.3	Análisis del diseño de mezcla de concreto por el método ACI	204
3.6.4.	Análisis del diseño de mezcla de concreto autocompactable por el método Okamura y Ouchi.....	210
3.6.5.	Análisis de datos de los ensayos de concreto autocompactable en estado fresco.....	219
3.6.6.	Análisis de datos de velocidad de pulso ultrasónico, tiempo de trasmisión y resistencia a la compresión por el criterio de Chauvenet.	238
Capitulo IV:	Resultados.....	245
4.1.	Resultados de ensayos del concreto autocompactable.....	245
4.1.1.	Resultados de ensayos de trabajabilidad.	245
4.2.	Resultados finales de densidad del concreto simple (CS) de $f^c=210\text{kg/cm}^2$ y concreto autocompactable (CAC)a trabajabilidad.	247



4.3. Resultados de la resistencia a la compresión del concreto y concreto autocompactable.....248

4.4. Resultados de uniformidad de concreto de probetas cilíndricas de concreto simple de $f'c=210$ kg/cm² y concreto autocompactable en función a la velocidad de pulso ultrasónico (ASTM C 597).248

4.5. Resultados de datos del ensayo de clasificación de la calidad de resistencia de concreto simple de $f'c=210$ kg/cm² y concreto autocompactable en función a la velocidad de pulso ultrasónico (ASTM C 597)250

4.6. Resultados correlacionales de pulso ultrasónico, tiempo de trasmisión y resistencia a la compresión en maquina a compresión y resistencia a compresión con PL-200.251

4.6.1. Correlación datos del concreto simple (CS) de calidad $f'c= 210$ kg/cm².....251

4.6.2. Correlación de datos del concreto autocompactable (CAC).254

4.7. Resultado de evaluación del valor de confiabilidad.257

4.7.1. Resultado de evaluación del valor de confiabilidad del concreto.257

4.7.2. Resultado de determinación del modelo de ajuste de tendencia.....257

Capitulo V: Discusión258

Referencias266

**Índice de Tablas**

<i>Tabla 1: Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no se dispone de resultados para definir la desviación standard de la muestra.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 2: cantidades aproximadas de agua de amasado para diferente slump, tamaño máximo de agregado y contenido de aire</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 3: Relación Agua/ Cemento Vs f'_{cr}.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 4: Asentamiento recomendados para diversos tipos de obras</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 5: Volumen de agregado grueso compactado en seco para diversos módulos de fineza de arena</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 6: Límites de granulometría para el agregado fino.</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 7 Contenido de ion cloruro en el agua.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 8 Constantes de binham para pastas con relacion a/f de 0.36.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 9 Constantes de binham sugeridas para un CAC.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 10 Método de ensayos para las propiedades de trabajabilidad.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 11 Métodos de ensayos para cada propiedad del CAC en estado fresco</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 12: Condiciones y procedimientos normalizados para la deformación de la resistencia a compresión del concreto en especímenes representativos.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 13: Requisitos dimensiones de los especímenes cilíndricos especificados para determinar la resistencia a compresión del concreto, conforme a procedimientos normalizados</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 14: Cuadro de operacionalización de variables.</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 15: Ensayos aplicados a las briquetas de concreto simple y concreto autocompactable.....</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 16: Calculo de una muestra por niveles de confianza.....</i>	<i>116</i>
<i>Tabla 17: Cantidad de Muestras usadas para cada tipo de concreto.....</i>	<i>118</i>
<i>Tabla 18: Parámetros mínimos y máximos de los ensayos realizados.....</i>	<i>119</i>
<i>Tabla 19: Recolección de datos de la Capacidad de Relleno del ensayo de asentamiento y extensibilidad</i>	<i>120</i>
<i>Tabla 20: Recolección de datos ensayo del embudo "V"</i>	<i>121</i>
<i>Tabla 21: Recolección de datos del ensayo en la caja en "L"</i>	<i>122</i>
<i>Tabla 22: Recolección de datos del ensayo de la caja en "U"</i>	<i>123</i>
<i>Tabla 23: Recolección de la resistencia a la segregación - GTM</i>	<i>124</i>
<i>Tabla 24: Recolección de datos de tiempo de fragua</i>	<i>125</i>
<i>Tabla 25: Recolección de datos ensayo resistencia a la compresión.....</i>	<i>126</i>
<i>Tabla 26: Datos del muestreo del agregado fino.....</i>	<i>130</i>
<i>Tabla 27: Datos del muestreo del agregado grueso</i>	<i>132</i>
<i>Tabla 28: Datos de la granulometría de la arena fina de vicho</i>	<i>134</i>
<i>Tabla 29: Datos de la granulometría de la arena gruesa (confitillo) de Cunyac</i>	<i>135</i>
<i>Tabla 30: Datos de la granulometría del agregado fino de vicho 80% y Cunyac 20%</i>	<i>135</i>
<i>Tabla 31: Datos de análisis granulométrico del agregado grueso.....</i>	<i>137</i>
<i>Tabla 32: Datos del peso específico del agregado fino combinado.....</i>	<i>139</i>
<i>Tabla 33: Datos del contenido de humedad del agregado fino</i>	<i>141</i>
<i>Tabla 34: Datos del peso unitario del agregado fino suelto y compactado</i>	<i>142</i>



Tabla 35: Datos del peso unitario del agregado fino suelto y compactado procesados 142

Tabla 36: Datos del peso específico y absorción del agregado grueso 144

Tabla 37: Datos del contenido de humedad del agregado grueso..... 145

Tabla 38: Datos del peso unitario del agregado grueso suelto y combinado..... 146

Tabla 39: Datos del peso unitario del agregado grueso suelto y combinado procesados 146

Tabla 40: Datos de resistencia a la abrasión del agregado grueso..... 147

Tabla 41: Diseño del esqueleto granular determinación del volumen de agregado grueso y agregado fino..... 148

Tabla 42: Diseño del esqueleto granular 149

Tabla 43: Datos para el diseño de la composición de la pasta 150

Tabla 44: Relación agua/finos vs flujo relativo..... 151

Tabla 45: Datos Para el diseño de la composición del mortero..... 153

Tabla 46: Datos de asentamiento y extensibilidad concreto autocompactable 155

Tabla 47: Datos para el ensayo de embudo V..... 156

Tabla 48: Datos del ensayo de la caja en U del concreto autocompactable..... 158

Tabla 49: Datos del ensayo de caja en L del concreto autocompactable 159

Tabla 50: Datos del ensayo de segregación del concreto autocompactable 161

Tabla 51: Datos del ensayo tiempo de fragua 164

Tabla 52: Revenimiento del concreto simple $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ 168

Tabla 53: Toma de datos de volumen y peso de briquetas de concreto simple 1-15..... 175

Tabla 54: Toma de datos de volumen y peso de briquetas de concreto simple 16-30..... 175

Tabla 55: Toma de datos de volumen y peso de briquetas de briquetas de concreto autocompactable. 1-15... 176

Tabla 56: Toma de datos de volumen y peso de briquetas de briquetas de concreto autocompactable 16-30.. 176

Tabla 57: Datos de resistencia a compresión de probetas cilíndricas de concreto 177

Tabla 58: Ensayo de resistencia a compresión de briquetas de concreto simple 180

Tabla 59: Ensayo de resistencia a compresión de briquetas de concreto simple 180

Tabla 60: Ensayo de resistencia a compresión de probetas cilíndricas de concreto autocompactable 181

Tabla 61: Ensayo de resistencia a compresión de briquetas de concreto autocompactable. 183

Tabla 62: Ensayo de resistencia a compresión de briquetas de concreto autocompactable. 184

Tabla 63: Granulometría del agregado fino de vicho..... 195

Tabla 64: Granulometría del agregado fino de cunyac 196

Tabla 65: Granulometría del agregado fino cabeceado (vicho - cunyac)..... 197

Tabla 66: Datos del análisis granulométrico del agregado grueso..... 198

Tabla 67: Datos del peso específico y absorción del agregado fino cabeceado..... 200

Tabla 68: Contenidos de humedad del agregado fino cabeceado 200

Tabla 69: Datos del peso unitario del agregado fino cabeceado 201

Tabla 70: Datos del peso unitario del agregado fino cabeceado 201

Tabla 71: Datos del peso específico y absorción del agregado grueso 202

Tabla 72: Resultados del contenido de humedad del agregado grueso 202

Tabla 73: Datos del peso unitario del agregado grueso..... 203

Tabla 74: Datos del peso unitario del agregado grueso..... 203



Tabla 75: Datos de la resistencia la abrasión del agregado grueso 204

Tabla 76: Resistencia a la compresión promedio..... 205

Tabla 77: Volumen unitario de agua 206

Tabla 78: Contenido de aire atrapado..... 206

Tabla 79: Relación agua / cemento por resistencia..... 206

Tabla 80: Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto..... 207

Tabla 81: Volúmenes absolutos..... 207

Tabla 82: Pesos de agua, cemento, agregado fino y agregado grueso..... 208

Tabla 83: Determinación final por metro cubico de concreto..... 209

Tabla 84: Dosificación para una briqueta de concreto de 0.10*0.20..... 209

Tabla 85: Analisis del revendimiento del concreto simple (CS)..... 210

Tabla 86: Datos generales del esqueleto granular..... 211

Tabla 87: Datos del porcentaje de vacíos en el ensayo del esqueleto granular 211

Tabla 88: Diseño de la composición de la pasta 212

Tabla 89: Flujo relativo de la pasta 212

Tabla 90: Relación agua - finos vs flujo relativo..... 213

Tabla 91: Proporción parcial del concreto autocompactable..... 214

Tabla 92: Determinación óptima de la relación agua- finos y dosificación del superplastificante..... 214

Tabla 93: Tiempo de flujo en función a la relación a/f y la del porcentaje de aditivo..... 215

Tabla 94: Diseño de mortero y dosificación de superplastificante con el aditivo CHEMA SUPERPLAST..... 216

Tabla 95: Proporción para m3 de concreto autocompactable 217

Tabla 96: Ajustes en mezclas de concreto autocompactable..... 218

Tabla 97: Análisis de datos de asentamiento y extensibilidad en el concreto autocompactable 219

Tabla 98: Análisis de datos del ensayo de embudo “v” en el concreto autocompactable 220

Tabla 99: Análisis del ensayo en caja en U del concreto autocompactable..... 220

Tabla 100: Análisis del ensayo en caja en L del concreto autocompactable..... 220

Tabla 101: Análisis de resistencia a la segregación del concreto autocompactable..... 221

Tabla 102: Análisis de tiempo de fragua del concreto autocompactable..... 221

Tabla 103: Toma de datos de volumen y peso de briquetas de concreto simple..... 222

Tabla 104: Toma de datos de volumen y peso de briquetas de concreto simple..... 223

Tabla 105: Toma de datos de volumen y peso de briquetas de briquetas de concreto autocompactable..... 224

Tabla 106: Toma de datos de volumen y peso de briquetas de briquetas de concreto autocompactable..... 225

Tabla 107: Factor de corrección para la resistencia..... 226

Tabla 108: Aceptación de briquetas a los 28 días del concreto simple (CS)..... 227

Tabla 109: Aceptación de briquetas a los 28 días del concreto simple (CS)..... 228

Tabla 110: Aceptación de briquetas a los 28 días del concreto autocompactable 229

Tabla 111: Aceptación de briquetas a los 28 días del concreto autocompactable 230

Tabla 112: Análisis de datos de briquetas a los 28 días del concreto simple (CS)..... 231

Tabla 113: Análisis de datos de briquetas a los 28 días del concreto simple (CS)..... 232

Tabla 114: Análisis de datos de briquetas a los 28 días del concreto autocompactable (CAC)..... 233



Tabla 115: Análisis de datos de briquetas a los 28 días del concreto autocompactable (CAC)..... 234

Tabla 116: Análisis de datos comparativos para determinar la resistencia a compresión del concreto simple (CS) y concreto autocompactable (CAC). 235

Tabla 117: Cuadro de clasificación de promedios de velocidad de pulso ultrasónico de cada briqueta del concreto simple..... 237

Tabla 118: Cuadro de clasificación de promedios de velocidad de pulso ultrasónico de cada briqueta del concreto autocompactable. 238

Tabla 119: Cuadro de promedios del concreto simple de velocidad de pulso ultrasónico, tiempo de transmisión y resistencia a compresión. 240

Tabla 120: Cuadro de promedios del concreto autocompactable de velocidad de pulso ultrasónico, tiempo de transmisión y resistencia a compresión. 241

Tabla 121: Resultados de asentamiento y extensibilidad..... 246

Tabla 122: Resultados del ensayo de embudo “V”..... 246

Tabla 123: Resultados del ensayo en caja en “U”..... 246

Tabla 124: Resultados del ensayo en caja en “L”..... 246

Tabla 125: Resultados de la resistencia a la segregación..... 246

Tabla 126: Resultados finales de la trabajabilidad. 247

Tabla 127: Resultados de tiempo de fragua..... 247

Tabla 128: Resultados de la densidad del concreto simple y concreto autocompactable. 247

Tabla 129: Resultados de la resistencia a la compresión del concreto simple y concreto autocompactable. 248

Tabla 130: Cuadro de clasificación de calidad del concreto simple y concreto autocompactable en función a la velocidad de pulso ultrasónico. 251

Tabla 131: Correlación entre resistencia a compresión PL-200 vs resistencia a compresión máquina del concreto simple..... 251

Tabla 132: Análisis de la varianza entre resistencia a compresión PL-200 vs resistencia a compresión máquina en el concreto simple. 251

Tabla 133: Análisis de la ecuación entre resistencia a compresión PL-200 vs resistencia a compresión máquina en el concreto simple. 252

Tabla 134: Correlación entre velocidad de pulso ultrasónico vs resistencia a compresión máquina en el concreto simple..... 252

Tabla 135: Análisis de la varianza entre velocidad de pulso ultrasónico vs resistencia a compresión máquina en el concreto simple..... 252

Tabla 136: Análisis de la ecuación entre velocidad de pulso ultrasónico vs resistencia a compresión máquina en el concreto simple..... 253

Tabla 137: Correlación entre tiempo de transmisión vs resistencia a compresión máquina en el concreto simple. 253

Tabla 138: Análisis de la varianza entre tiempo de transmisión vs resistencia a compresión máquina en el concreto simple..... 253

Tabla 139: Análisis de la ecuación entre tiempo de transmisión vs resistencia a compresión máquina en el concreto simple..... 254



Tabla 140: Correlación entre resistencia a compresión PL-200 vs resistencia a compresión máquina en el concreto autocompactable. 254

Tabla 141: Análisis de la varianza entre resistencia a compresión PL-200 vs resistencia a compresión máquina en el concreto autocompactable. 254

Tabla 142: Análisis de la ecuación entre resistencia a compresión PL-200 vs resistencia a compresión máquina en el concreto autocompactable. 255

Tabla 143: Correlación entre resistencia a velocidad de pulso ultrasónico vs resistencia a compresión máquina en el concreto autocompactable. 255

Tabla 144: Análisis de la varianza entre resistencia de pulso ultrasónico vs resistencia a compresión máquina en el concreto autocompactable. 255

Tabla 145: Análisis de la ecuación entre resistencia de pulso ultrasónico vs resistencia a compresión máquina en el concreto autocompactable. 256

Tabla 146: Correlación entre tiempo de transmisión vs resistencia a compresión máquina en el concreto autocompactable. 256

Tabla 147: Análisis de la varianza entre tiempo de transmisión vs resistencia a compresión máquina en el concreto autocompactable. 256

Tabla 148: Análisis de la ecuación entre tiempo de transmisión vs resistencia a compresión máquina en el concreto autocompactable. 257

Tabla 149: Resultado de determinación del modelo de ajuste de tendencia. 257

Tabla 150: Rangos de correlación. 259

Tabla 151: Matriz de consistencia. 293

Índice de Figuras

Figura 1: Ubicación de la zona de estudio.....	22
Figura 2: Capacidad de sangrado en función del revenimiento para concretos que no contienen aditivos. (contenido de cemento en kg /m ³).....	51
Figura 3: Capacidad de sangrado en función del revenimiento para concretos que no contienen aditivos. (contenido de cemento en kg /m ³).....	52
Figura 4: (A) Aglomeración; (B) Dispersión de las partículas de cemento producido por el superplastificante	52
Figura 5: Modelo para el diseño de la mezcla del CAC.	55
Figura 6: Ejemplo gráfico para la determinación de la relación agua/finos para un flujo cero.....	58
Figura 7: Cono de Flujo y embudo V, para la determinación óptima de agua/finos y superplastificantes.....	59
Figura 8: Flujo de binham y flujo newtoniano.....	61
Figura 9: Comportamiento de la mezcla con agua y con aditivo superplastificante.	62
Figura 10 Relación entre el volumen de pasta y la relación agua /finos .(v _a =volumen de agua ; v _f =volumen de finos).	67
Figura 11 Efecto del contenido de superplastificantes en la fluidez y viscosidad	67
Figura 12: Comportamiento interno de la mezcla.....	68
Figura 13 Esfuerzo normal generado en el mortero debido a la proximidad del agregado grueso.	69
Figura 14: Equipo para ensayo de flujo de asentamiento y resultado de la prueba.....	73
Figura 15: Caja en L.	76
Figura 16: Caja en U.....	78
Figura 17: Embudo en V.....	80
Figura 18: Instrumento de ensayo de velocidad de pulso ultrasónico de los procedimientos para determinar la resistencia in situ del concreto.	89
Figura 19: Equipo Pundit Lab (PL-200).....	90
Figura 20: Partes del PL-200	90
Figura 21: Tipos de transductores para el PL-200	91
Figura 22: Técnicas de medición para aplicar el ensayo de ultrasonido del concreto.....	93
Figura 23: Técnica de medición directa sobre la probeta cilíndrica de concreto.	94
Figura 24: Resultado de tiempo de transmisión y velocidad de pulso en PL-200.....	98
Figura 25: Distancia entre traductores	98
Figura 26: Gráfico de inicio de lectura de exploración por línea.....	99
Figura 27: Gráfico de exploración por líneas.....	99
Figura 28: Ingreso de datos en el PL-200.....	99
Figura 29: Lectura de exploración por área.....	100
Figura 30: Exploración por área	101
Figura 31: Exploración por área con resultados de tiempo de transmisión.	101
Figura 32: Cuadrícula de medición indicando dirección de inicio	101
Figura 33: Guardar archivos en PL-20.....	102
Figura 34: Pantalla de registro de datos del instrumento Pundit	102
Figura 35: Pantalla de visualización de datos en el programa proceq	103



Figura 36: Pantalla de Copiar, Pegar y Mover en el Programa Proceq..... 103

Figura 37: Campana de Gauss..... 104

Figura 38: Diseño de ingenieril 113

Figura 39: Briquetas fabricadas con los 2 tipos de concreto..... 114

Figura 40: Muestras de briquetas de concreto simple..... 117

Figura 41: Briquetas sometidas a ensayos de velocidad de pulso ultrasónico..... 117

Figura 42: División de la muestra de agregado fino en 4 partes similares 129

Figura 43: Partes diagonalmente opuestas de semejantes características del agregado fino 130

Figura 44: Muestreo del agregado fino por el método de cuarteo. 130

Figura 45: Muestra del agregado grueso 131

Figura 46: División de la muestra de agregado grueso en 4 partes iguales..... 132

Figura 47: Partes diagonalmente opuestas de semejantes características del agregado grueso..... 132

Figura 48: Peso del agregado fino antes del tamizado..... 133

Figura 49: Material retenido luego del tamizado..... 134

Figura 50: Muestreo del agregado fino por el método de cuarteo. 134

Figura 51: Material retenido luego del tamizado..... 136

Figura 52: Material retenido luego del tamizado..... 136

Figura 53: Material retenido luego del tamizado..... 137

Figura 54: Prueba de humedad luego de usar el cono metálico. 138

Figura 55: Pesado del material antes de colocarlo en la fiola de vidrio 139

Figura 56: Extracción de vacíos de la fiola de vidrio..... 139

Figura 57: Colocado de muestras dentro del horno..... 140

Figura 58: Pesado de la muestra en estado superficialmente seco 143

Figura 59: Secado superficial con la ayuda de una franela..... 143

Figura 60: Colocado las esferas correspondientes dentro de la máquina de abrasión Los Ángeles..... 147

Figura 61: Mezclado de pasta con batidora 150

Figura 62: Llenado del cono de Abrams con CAC..... 154

Figura 63: Medida del asentamiento y flujo del concreto..... 154

Figura 64: Evaluación de la segregación 155

Figura 65: Llenado del embudo en V con CAC..... 156

Figura 66: Llenado de la caja en u con concreto autocompactable..... 157

Figura 67: Llenado de la caja en L con CAC..... 158

Figura 68: Peso del tamiz fondo..... 160

Figura 69: Vertido del concreto a un tamiz 160

Figura 70: Fluidéz del concreto al fondo de TAM..... 161

Figura 71: Peso de fondo de tamiz lleno..... 161

Figura 72: Batido de la pasta..... 162

Figura 73: Ensayo de aguja vicat..... 163

Figura 74: Pesado de todos los materiales a ser utilizados 165

Figura 75: Muestras de concreto simple..... 165



Figura 76: Verificación del estado de la mezcladora 165

Figura 77: Introducción de agregados pesados a la mezcladora..... 166

Figura 78:Llenado del cono dentro de una bandeja metálica..... 167

Figura 79: Revenimiento del concreto simple $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ 167

Figura 80: Moldeado de probetas cilíndricas de concreto simple 169

Figura 81: Compactado del concreto con 25 golpes 169

Figura 82: Llenado de la última capa de concreto en la probeta de PVC 169

Figura 83: Moldeado de probetas cilíndricas de concreto autocompactable 170

Figura 84: Culminación del moldeado de una tanda de concreto..... 170

Figura 85: Moldeado de probetas cilíndricas de concreto autocompactable 171

Figura 86: Finalización del moldeado de probeta 172

Figura 87: Desmoldado de testigos 172

Figura 88: Marcado de probetas de CS y CAC..... 173

Figura 89: Marcado de probetas de CS y CAC..... 174

Figura 90: Pesado de las muestras cilíndricas 178

Figura 91: Máquina compresora..... 179

Figura 92: Rotura de probeta cilíndrica de concreto 179

Figura 93: Colocado de las probetas cilíndricas en la máquina de compresión..... 182

Figura 94: Probeta de concreto a ser ensayada en la máquina de compresión axial 182

Figura 95: Rotura de probeta cilíndrica de concreto 182

Figura 96: Lijado y nivelado de la superficie rugosa..... 186

Figura 97: Marcado de probetas con pulmón..... 186

Figura 98: Puesta a cero con la barra calibradora..... 187

Figura 99: Equipo calibrado satisfactoriamente 187

Figura 100: Aplicación de los traductores a la briqueta 187

Figura 101: Echado de gel y toma de datos con el pundit 188

Figura 102: Toma de datos con el equipo pundit 188

Figura 103: Verificación del dictaminante de toma de datos con el equipo Pundit 189

Figura 104: Pantalla de inicio del PL-200 190

Figura 105: Resultados de exploración por línea concreto simple 191

Figura 106: Resultados de exploración por área concreto simple. 192

Figura 107: Resultados de exploración por línea concreto autocompactable. 192

Figura 108: Resultados de exploración por área concreto autocompactable. 193

Figura 109: Curva granulométrica del agregado fino de vicho..... 195

Figura 110: Curva granulometría del agregado fino de cunyac 196

Figura 111: Curva granulometría del agregado fino de cunyac 197

Figura 112: Grafica del análisis granulométrico del agregado grueso 199

Figura 113: Exploración por líneas del concreto simple..... 235

Figura 114: Exploración por área del concreto simple..... 236

Figura 115: Exploración por línea del concreto autocompactable 236



Figura 116: Exploración por área del concreto autocompactable..... 236

Figura 117: Modelo exponencial del concreto simple..... 242

Figura 118: Modelo lineal del concreto simple..... 242

Figura 119: Modelo logarítmico del concreto simple..... 243

Figura 120: Modelo potencial del concreto simple..... 243

Figura 121: Modelo potencial del concreto simple..... 243

Figura 122: Modelo exponencial del concreto autocompactable..... 244

Figura 123: Modelo lineal del concreto autocompactable 244

Figura 124: Modelo logarítmico del concreto autocompactable 244

Figura 125: Modelo potencial del concreto autocompactable 245

Figura 126: Modelo potencial del concreto autocompactable..... 245

Figura 127: Grafico de densidad del concreto simple (CS) y concreto autocompactable (CAC)..... 247

Figura 128: resultado de datos de resistencia a compresión y velocidad de pulso ultrasónico del CAC y CS.. 248

Figura 129: resultado de datos de exploración por líneas del concreto simple 249

Figura 130: resultado de área de exploración por líneas del concreto simple 249

Figura 131: resultado de datos de exploración por líneas del concreto autocompactable..... 250

Figura 132: resultado de datos de exploración por líneas del concreto autocompactable..... 250



Capítulo I: Planteamiento del Problema

1.1. Identificación del problema

1.1.1. Descripción del problema

a) Descripción de la problemática

El problema en que se centra la siguiente investigación fue realizar un análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas del concreto simple de calidad $f'c=210$ kg/cm² (en adelante denominado CS) y concreto autocompactable (en adelante denominado CAC) ; en estado endurecido; para evaluar la calidad de los concretos mencionados con respecto a su resistencia en función de la velocidad de pulso ultrasónico y el tradicional ensayo destructivo de la máquina de compresión para luego poder determinar la eficiencia de los ensayos no destructivos como el instrumento ultrasónico Pundit Lab 200 (PL-200), finalmente tener alcances y análisis para evaluar con mayor eficiencia la calidad de resistencia de edificaciones ya construidas en función a la velocidad de pulso ultrasónico.

b) Ubicación temporal

La siguiente investigación se desarrolla en el ámbito de la Ingeniería Civil, con conceptos de estructuras y construcciones; específicamente en referencia a la tecnología del concreto, que se desarrolló con la evaluación de unidades de concreto simple (CS) de resistencia $f'c=210$ kg/cm² y concreto autocompactable (CAC). Para luego evaluar la calidad de resistencia de las mismas en estado endurecido por medio de la velocidad de pulso ultrasónico y maquina a compresión , por esta razón, este se rige por las NTP (Normas Técnicas Peruanas),ASTM (American Society of Testing Materials), el reglamento nacional de edificaciones, Manual de operación PUNDIT, métodos de diseño de mezcla las cuales contienen las características y especificaciones necesarias de los componentes a utilizar en el diseño de mezcla, mediante la elaboración de algunos ensayos de laboratorio.

c) Ubicación geográfica

La investigación tiene como ámbito de influencia la ciudad del Cusco, ubicada en la región sur oriental del Perú con una altitud de 3390 m.s.n.m. y extensión aproximada de 72,104 km².



Figura 1: Ubicación de la zona de estudio.

Fuente Google.

1.1.2. Formulación Interrogativa del problema

1.1.2.1. Formulación interrogativa del problema general

¿Cuál es la relación de la velocidad de pulso ultrasónico en la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de un concreto simple (CS) de calidad $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y concreto autocompactable (CAC)?

1.1.2.2 Formulación interrogativa de los problemas específicos

Problema específico 1. ¿Cómo influye la relación Agua/cemento de un concreto simple (CS) de calidad $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y concreto autocompactable (CAC) medido a través de la velocidad de pulso ultrasónico?

Problema específico 2. ¿Cuál es la relación de la velocidad de pulso ultrasónico con respecto a la uniformidad de concreto entre un concreto simple (CS) de calidad $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y concreto autocompactable (CAC)?

Problema específico 3. ¿cómo influye la densidad en el concreto simple (CS) de calidad $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y concreto autocompactable (CAC)?



Problema específico 4. ¿Cómo será la relación de resistencia de compresión y velocidad de pulso ultrasónico en unidades de concreto simple (CS) de calidad $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ y concreto autocompactable (CAC)?

Problema específico 5. ¿Cuál será la clasificación de la calidad según el manual del equipo de velocidad de pulso ultrasónico pl-200 del concreto simple (CS) de calidad $f'c 210\text{Kg/cm}^2$ y concreto autocompactable (CAC) de acuerdo a la velocidad de pulso ultrasónico?

1.2. Justificación e importancia de la investigación

1.2.1. Justificación técnica

- Se utilizó el método ACI, OKAMURA Y OUCHI para el diseño de concreto simple (CS) y Concreto Autocompactable (CAC) respectivamente.
- Usamos superplastificantes que presentan mejores características físicas y químicas que los agregados, incrementando la resistencia y consistencia del concreto.
- Se analizó las propiedades físicas de los agregados en laboratorio con ensayos indicados y verificando el cumplimiento de los parámetros de la norma NTP 400.037.
- Se realizó el análisis granulométrico de los agregados según los parámetros de la norma NTP 400.012
- Se realizó ensayos en laboratorio para determinar las propiedades físicas como capacidad de paso, relleno, segregación, Slump y propiedades mecánicas como resistencia a la compresión, con guías de la ASTM, NTP y EFNARC.
- Se tendrá una herramienta técnica, al ser una fuente de consulta sobre las ventajas de la fabricación de concreto y concreto autocompactable de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ evaluadas por un equipo de máquina de compresión y verificar la eficiencia del instrumento ultrasónico pundit PL-200.
- Se realizó ensayos de calidad de resistencia del concreto y concreto autocompactable en estado endurecido con guías de la NTP 339.237, ASTM C597-NTP339.237, A. (2012). *Metodo De Ensayo Para Determinar La Velocidad De Pulso a Traves Del Concreto.*

1.2.2. Justificación social

- Se benefician los alumnos de la Escuela Profesional de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Andina del Cusco debido que a partir de esta investigación se podrá generar nuevos puntos de enfoque para la producción del



concreto simple (CS) y concreto autocompactable (CAC) para realizar diferentes ensayos in situ con el instrumento ultrasónico pandit PL-200.

- Se brinda a la industria de la construcción una forma de incrementar la productividad, eficiencia y generar ahorros económicos con ayuda de un control de calidad constante in situ.
- Se brinda a la industria de la construcción una forma de incrementar la trabajabilidad, la resistencia a la compresión del concreto que a la vez es autocompactable, para construir estructuras de mejor calidad y seguridad.

1.2.3. Justificación por viabilidad

La investigación es factible porque:

- Se tiene acceso libre a los equipos y herramientas del laboratorio de la Universidad Andina del Cusco para determinar las propiedades físicas del concreto y concreto autocompactable así también para determinar las propiedades mecánicas de resistencia por ensayos tradicionales y ensayos in situ.
- Los materiales a utilizar son accesibles y se encuentran dentro del mercado de nuestra región.
- La realización de la investigación presenta un costo admisible.

1.2.4. Justificación por relevancia

Es importante realizar la investigación con el uso de nuevos equipos no destructivos para el estudio de resistencia del concreto facilitando las evaluaciones de control de calidad constante en edificaciones en construcción y ya realizadas, validando así las resistencias mínimas de cada elemento monolítico, verificando la eficiencia del instrumento ultrasónico pandit PL-200 in situ, dando paso así a nuevas innovaciones tecnológicas para obtener resistencias de un concreto por un método no destructivo de manera constante, economizando y dando eficiencia al rubro de la construcción.

Por esta razón en la siguiente tesis **“TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE RESISTENCIA $f'c=210$ Kg/CM² Y CONCRETO AUTOCOMPACTABLE EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO - CUSCO 2019”** investigación se analizó dichas propiedades en la fabricación del concreto y concreto autocompactable.



1.3. Limitaciones de la investigación

1.3.1. Limitaciones de lugar

La tesis tiene como ámbito de influencia la ciudad del Cusco; se encuentra en la zona central y sur oriente del Perú; se ubica aproximadamente sobre los 3,350 m.s.n.m. con una latitud sur $13^{\circ}30' 45''$ y $71^{\circ} 58' 33''$ de longitud oeste a partir del meridiano de Greenwich.

1.3.2. Limitaciones de materiales usados

En esta investigación se realizó la comparación de concretos simples (CS) y concretos autocompactables (CAC) elaborados con:

- Cemento Portland Yura IP.
- Aditivo superplastificante Chema SUPERPLAST con una dosificación de 3.0% , la ficha técnica del aditivo Chema SUPERPLAST indica un 2% porcentaje como la dosis recomendada , sin embargo para temas de esta investigación consideró el porcentaje de aditivo de 3% como el rango máximo que aparece en la ficha técnica del aditivo Chema SUPERPLAST.
- Aditivo Chema SUPERPLAST fue utilizado como fluidificante
- Agregados de la cantera de vicho y Cunyac.
- Agua potable SEDA CUSCO.

1.3.3. Limitaciones de los agregados

Los agregados para la elaboración del concreto y concreto autocompactable son de las canteras de Vicho y Cunyac, siendo agregados que cumplen con las condiciones granulométricas que se utilizaron para la investigación, así como también tienen propiedades diferentes a los agregados de otras canteras del departamento de Cusco.

El agregado grueso es de la cantera de Vicho con un tamaño máximo nominal de $3/4''$.

1.3.4. Limitaciones de diseño de mezclas

El diseño de mezclas del concreto autocompactable se rigió por el método de Okamura y Ouchi y tiene una relación agua/ fino de 1.36.

El diseño de mezclas del concreto simple (CS) se rigió por el método ACI y tiene una relación de agua/cemento de 0.55.



1.3.5. Limitaciones de Equipos

El tema de investigación se limita a los ensayos in situ con el equipo PL-200 PUNDIT , cumpliendo las normas y recomendaciones que están establecidas en el manual del equipo y como ensayo tradicional con la maquina a compresión.

1.4. Objetivo de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Analizar la relación de la variación de velocidad de pulso ultrasónico en la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de un concreto simple (CS) de calidad $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ y concreto autocompactable (CAC).

1.4.2. Objetivos específicos

Objetivo específico 1. Determinar la influencia de la relación Agua/Cemento del concreto simple (CS) de calidad $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ y concreto autocompactable (CAC) a través de la Velocidad de Pulso ultrasónico.

Objetivo específico 2. Determinar la relación de la uniformidad del concreto simple (CS) de calidad $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ y concreto autocompactable (CAC) por medio de la velocidad de pulso Ultrasónico.

Objetivo específico 3. Determinar la diferencia de densidades de las unidades del concreto simple (CS) de calidad $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y concreto autocompactable (CAC) a los 28 días.

Objetivo específico 4. Determinar la relación de la velocidad de pulso ultrasónico podrá medir la resistencia en unidades del concreto simple (CS) de calidad $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ y concreto autocompactable (CAC) a los 28 días.

Objetivo específico 5. Determinar la calidad del concreto simple (CS) de calidad $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ y concreto autocompactable (CAC) de acuerdo a la clasificación de la calidad del concreto según el manual del equipo pl-200 en función de la velocidad de pulso ultrasónico.



Capítulo II: Marco teórico de la tesis

2.1. Antecedentes de la tesis o Investigación Actual

Para sustentar este proyecto de investigación se ha tomado como antecedentes diversos estudios realizados del concreto autocompactable y ensayos in situ a nivel nacional e internacional.

2.1.1. Antecedentes a nivel nacional

- ✚ “Influencia Del Aditivo Hiperplastificante Plastol 200 Ext en Las Propiedades del Concreto Autocompactable en Estado Fresco Y Endurecido”, Tesis presentada de la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Privada Antenor Orrego.

Autor: Molina Segura, Carlos Joel; Saldaña Pacheco, Saúl Omar

País: Perú-Trujillo

Año: 2014

Resumen: El presente trabajo de tesis de grado, titulado “Influencia del aditivo Hiperplastificante Plastol 200 Ext en las propiedades del concreto autocompactable en estado fresco y endurecido” tiene como objetivo fundamental determinar la influencia del aditivo Hiperplastificante a base de policarboxilatos en el concreto Autocompactable con agregados locales y determinar la influencia del aditivo, en las propiedades del concreto autocompactable en estado Fresco y endurecido.

Para lo cual, en primer lugar, realizarán los diseños de concreto, luego del cual se procederán a analizar la trabajabilidad de concreto autocompactable en estado fresco mediante los ensayos de Extensibilidad, embudo V, Anillo J, Caja En L y de estabilidad de tamiz a través de la malla GTM. Posteriormente se ejecutará el ensayo de rotura del CAC en estado endurecido. Con los resultados obtenidos de los ensayos de trabajabilidad y de rotura determinaremos cual es la influencia del aditivo en estudio.

Aporte: De la tesis mencionada se extrajo información como guía para el desarrollo de los ensayos previos en estado fresco del concreto autocompactable cumpliendo sus parámetros mínimos establecidos por la EFNARC.

Conclusión: En la tesis mencionada se menciona como influye el aditivo Hiperplastificante en la trabajabilidad, resistencia a la compresión del concreto autocompactable.



✚ “ESTUDIO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAR PATRONES DE CORRELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y LA VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO EN CONCRETO SIMPLE”, Tesis presentada de la Facultad de Ciencias e Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica Del Perú.

Autor: Valencia Elguera, Gabriela; Ibarra Navarro, Miguel Angel

País: Perú-Lima

Año: Diciembre del 2013

Resumen: Debido al crecimiento continuo del consumo de concreto como material de construcción, resulta de ayuda contar con métodos de evaluación no destructivos que, de manera sencilla y rápida, permitan caracterizar una estructura de concreto en términos de Resistencia a Compresión; en función de ello la presente investigación propone el Ensayo de Ultrasonido para la estimación de dicho parámetro, basándose en un modelo de aproximación que correlacione la Resistencia a Compresión con la Velocidad de Pulso Ultrasónico, con un grado de confiabilidad asociado. La idea es realizar un control de calidad permanente in situ, que permita la continuidad correcta de labores y/o evitar retrabajos probablemente costosos, en resumen, generar ahorros para la industria de la construcción.

El trabajo experimental desarrollado comienza en Laboratorio con la preparación, muestreo y control de seis diseños patrón de concreto, para los cuales se establece algunas variables de estudio: la relación Agua/Cemento y el tamaño del agregado (representado por el Huso del mismo). La siguiente etapa importante se realiza a Escala Industrial, para ello se hace una selección, muestreo y control de las mezclas de producción que son de mayor consumo en el entorno de la construcción de Lima, considerando que el rango de resistencias a compresión es similar al del trabajo en Laboratorio. Con los resultados de Velocidad de Pulso Ultrasónico y de Resistencia a Compresión, obtenidos de ensayos en estado endurecido para ambas etapas (Laboratorio y Escala Industrial), se establecen relaciones y se realiza un análisis de confiabilidad, a fin de determinar ecuaciones de tendencia que se ajusten al comportamiento de los concretos. Finalmente, identificando la relación Agua/Cemento y el Huso del agregado, se evalúan los márgenes de error al simular estimaciones de la Resistencia a Compresión con las ecuaciones establecidas, observando en qué medida se presentan los casos de sobreestimación o subestimación.



Aporte: De la tesis mencionada se usó de guía para realizar la parte estadística de nuestro proyecto, considerando las recomendaciones finales, así como el grado de confiabilidad de la tesis mencionada.

Conclusión: En la tesis mencionada se concluye que se pretende realizar un modelo de aproximación que correlacione la resistencia a compresión usando la máquina de compresión con la velocidad de pulso ultrasónico como método insitu elaborada en laboratorio e industrial evaluando así los márgenes de error de los ensayos insitu en casos de sobreestimación y subestimación.

2.1.2. Antecedentes a nivel internacional

✚ “CONCRETO AUTOCOMPACTABLE: PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE MEZCLA, BENEFICIOS TÉCNICOS Y CONSIDERACIONES BÁSICAS PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN EL SALVADOR” Tesis presentada por la Universidad de el Salvador Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela de Ingeniería Civil.

Autor: Selma Idalia González Morán, Albamaria Landaverde Martínez, Claudia Ivelisse Romero López

País: El Salvador – San Salvador

Año: 2005

Resumen: En el presente trabajo de investigación está enfocado en el planteamiento de una alternativa de solución a los problemas de colocación del concreto, para estructuras donde los procedimientos tradicionales de compactación no son suficientes para las exigencias de calidad solicitadas. El concreto autocompactable (CAC) es un material que por su estructura interna permite clasificar como una alternativa de solución; pero debido a la escasa investigación en El Salvador sobre este nuevo material, es necesario que el trabajo de gradación posea una base Teórica – Experimental.

Aporte: De la tesis mencionada se extrajo información sobre el método de diseño de mezcla de OKAMURA y OUCHI, ensayos preliminares y parámetros mínimos establecidos por la EFNARC.

Conclusión: En la tesis mencionada se diseña un concreto autocompactable como solución a los problemas de capacidad de paso, cangrejeras, etc. Es necesario tomar esta tesis como un antecedente pues consideran diferentes tipos de diseño para el concreto autocompactable.



✚ “CORRELACIÓN DE DIFERENTES MÉTODOS DE DETECCIÓN NO DESTRUCTIVOS DE ANOMALÍAS EN EL HORMIGÓN Detección Visual, Resistividad Eléctrica, Velocidad Ultrasónica y Esclerómetro.” tesis presentada por la Universidad Politecnica De Catalunya Departamento De Construcciones Arquitectonicas- Master Universitario En Tecnologia De La Arquitectura Linea de construcción e Innovacion Tecnologica.

Autor: Arquitecta Valeria Badilla Eyherregaray

País: España – Barcelona

Año: Abril del 2014

Resumen: El desarrollo de nuevas tecnologías en arquitectura y construcción, es sin duda, un desafío constante. No por tener un excelente material de construcción como el hormigón, será un campo infértil de investigación, sino más bien por el contrario, siempre se buscará mejorar, avanzar, generar mayores conocimientos e innovaciones que estén al día con las necesidades del medio ambiente, de la demanda, de la ciencia.

Esta investigación se basa en la utilización de los métodos no destructivos de detección de anomalías en el hormigón disponibles y de fácil utilización, comenzando por el más básico y primario como lo es la detección visual, para llegar a métodos más sofisticados como la Resistividad Eléctrica, sin dejar de lado técnicas conocidas como el Esclerómetro o menos conocidas pero con bastantes estudios y tiempo de investigación como el uso de Ultrasonidos.

El propósito del desarrollo de este trabajo es entender la correlación que pueden tener los valores obtenidos con estos métodos de evaluación para lograr una visión más amplia de las anomalías que pueda presentar una estructura de hormigón, del mismo modo en que la medicina se han relacionado variadas formas de examinar síntomas de una patología para obtener un cuadro completo de la enfermedad.

El desarrollo del Trabajo Fin de Máster, propone realizar un análisis de las anomalías existentes a través del uso de ensayos no destructivos que se integran y que de esta forma participan en la planificación de reparaciones, será parte de una futura Tesis Doctoral, dicha planificación y análisis de resultados en una campaña experimental. Desde esta perspectiva, se abarcan en esta investigación la aplicación práctica de las diversas metodologías sobre un espécimen de hormigón armado a la intemperie, la relación sincrónica, su



complementariedad, las lesiones y el diagnóstico, mediante técnicas que aportan la ventaja de pronosticar y detectar anomalías sin generar modificaciones lesivas. Fue posible entender que la relación entre métodos es principalmente complementaria, y aportan información relevante de la zona superficial y subsuperficial, además se presentan como un valioso método de diagnóstico constante sobre las variaciones temporales de una estructura.

Finalmente, se concluye que las tecnologías de investigación y evaluación de anomalías son parte fundamental para prever el tiempo de vida útil de las construcciones, como así también mejorar estos estándares mediante la prevención de patologías y fundamentalmente generar un uso armónico y sustentable de los recursos primarios para la generación de hormigón, uno de los materiales mayormente utilizado actualmente.

Aporte: La tesis mencionada brinda facilidad de encaminar el desarrollo y la justificación de la tesis para poder validar los datos de manera estadística.

Conclusión: En la tesis mencionada se propone realizar un análisis de las anomalías en el hormigón existentes a través del uso de métodos no destructivos disponibles y de fácil utilización, como detección visual, Resistividad Eléctrica, Esclerómetro y el uso de Ultrasonidos para lograr una visión más amplia de las anomalías que pueda presentar una estructura de hormigón e integrar una planificación de reparaciones así como un cuadro completo de la enfermedad.

2.2. Bases teóricas-científicas

2.2.1 Concreto

El concreto es el resultado de un producto químico entre el material cementante y el agua, el cual nos da una pasta que actúa como conglomerante para los agregados finos y gruesos que componen esta pasta; está constituido por la mezcla a diferentes proporciones de cemento, agua, agregados y aditivos si se desea obtener un comportamiento particular, lo cual hace que adquiera propiedades aislantes y resistentes, logrando un material ideal para la construcción. debido a ello es necesario determinar su calidad y comportamiento frente a cargas de diseño y durante los procesos constructivos, por medio de diferentes ensayos de control cuando está en estado fresco y endurecido. (López, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000)



Tipos de concretos

Existe una diversidad de concretos en el mercado de la construcción de acuerdo al comportamiento de cada uno tenemos estos:

- **Concreto Simple**
- Concreto Armado
- Concreto Ciclópeo
- Concretos Livianos
- Concretos Livianos
- Concretos Pesados
- Concreto Pre-esforzado
- Concreto Rodillado
- Concreto Polimerizado
- Concreto Fast-TrackLÑ
- Concreto lanzado
- **Concreto Autocompactable**

2.2.2. Concretos que se usaron en la presente investigación:

2.2.2.1 Concreto simple (CS).

El concreto simple es un producto compuesto que consiste de un medio ligante denominado pasta, dentro del cual se encuentra embebidas partículas de un medio ligado denominado 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 conjunto de este. El agregado es la fase discontinua del concreto dado que sus diversas partículas no se encuentran unidas o en contacto unas de otras, sino que se encuentran separadas por espesores diferentes de pasta endurecida. (Rivva, 2000)

El concreto es el material constituido por la mezcla en ciertas proporciones de cemento, agua, agregado y opcionalmente aditivos, que inicialmente denota una estructura plástica y moldeable, y que posteriormente adquiere una consistencia rígida con propiedades aislantes y resistentes, lo que lo hace un material ideal para la construcción. De esta definición, se desprende que se obtiene un producto híbrido, que conjuga en mayor o menor grado las características de los componentes, que bien proporcionados, aportan una o varias de sus propiedades individuales para constituir un material que manifiesta un comportamiento particular y original. (Pasquel, 1998)



a. Importancia del concreto

Actualmente el concreto es el material de construcción de mayor uso en nuestro país. Si bien la calidad final del concreto depende en forma muy importante del conocimiento del material y de la calidad profesional del ingeniero, el concreto es, en general, desconocido en muchos de sus siete grandes aspectos: (Rivva, 2000)

naturaleza, materiales, propiedades, selección de proporciones, proceso de puesta en obra, control de calidad e inspección, mantenimiento de los elementos estructurales.

La principal limitación a las múltiples aplicaciones que se pueden dar al concreto es el desconocimiento de alguno de los aspectos ya indicados; así como de la mayor o menor importancia de los mismos de acuerdo al empleo que se pretende dar al material. Ello obliga al estudio y actualización permanentes para obtener del concreto las máximas posibilidades que como material puede ofrecer al ingeniero. (Rivva, 2000)

b. Requisitos de la mezcla

Las mezclas de concreto deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- La mezcla recién preparada deberá tener la trabajabilidad, consistencia y posesividad que permitan su adecuada colocación en los encofrados.
- Esta mezcla deberá estar libre de segregación y tener una exudación mínima.
- La mezcla endurecida deberá tener las propiedades especificadas en función del empleo que se va a dar a la estructura.
- El costo de la unidad cubica de concreto endurecido deberá ser el mínimo compatible con la calidad deseada.

c. Propiedades del concreto

La calidad del concreto depende en gran medida de la calidad de la pasta. En un concreto elaborado adecuadamente, cada partícula de agregado está completamente cubierta con pasta y también todos los espacios entre partículas de agregado. (Edgar & Tupayachi Venero, 2015)

El concreto también es un excelente material de construcción porque puede moldearse en una gran variedad de formas, colores y texturizados para ser usado en un número ilimitado de aplicaciones.

El concreto recién mezclado debe ser plástico o semifluido y capaz de ser moldeado a mano. una mezcla muy húmeda de concreto se puede moldear en el sentido de que puede colocarse en



un encofrado, pero esto no entra en la definición de “plástico” aquel material que plegable y capaz de ser moldeado o formado como un terrón de arcilla para moldar. (Flores, 2009)

Las propiedades más importantes del concreto al estado no endurecido incluyen la trabajabilidad, consistencia, fluidez, cohesividad, contenido de aire, segregación, exudación, tiempo de fraguado, calor de hidratación y peso unitario.

Las propiedades más importantes del concreto al estado endurecido incluyen las resistencias mecánicas, durabilidad, propiedades elásticas, cambios de volumen, impermeabilidad, resistencia al desgaste, resistencia a la cavitación, propiedades térmicas y acústicas, y apariencia. (Rivva, 2000)

d. Propiedades del concreto fresco

- **Trabajabilidad**

Está definida por la mayor o menor dificultad para el mezclado, transporte, colocación y compactación del concreto. Su evaluación es relativa, por cuanto depende realmente de las facilidades manuales o mecánicas de que se disponga durante las etapas de proceso, ya que un concreto que puede ser trabajable bajo ciertas condiciones de colocación y compactación, no necesariamente resulta tal si dichas condiciones cambian. (Pasquel, 1998)

Está influenciada principalmente por la pasta, el contenido de agua y el equilibrio adecuado entre gruesos y finos, que produce en el caso óptimo una suerte de continuidad en el desplazamiento natural y/o inducido de la masa.

Por lo general un concreto es trabajable en la mayoría de circunstancias, cuando durante su desplazamiento mantiene siempre una película de mortero de al menos $\frac{1}{4}$ " sobre el agregado grueso.

El método tradicional de medir la trabajabilidad ha sido desde hace muchos años el “slump” o asentamiento con el cono de Abrams, ya que permite una aproximación numérica a esta propiedad del concreto, sin embargo, debe tenerse clara la idea que es más una prueba de uniformidad que de trabajabilidad, pues es fácilmente demostrable que se pueden obtener concretos con igual slump pero de trabajabilidad notablemente diferentes para las mismas condiciones de trabajo. (Pasquel, 1998)

El concreto deberá ser lo suficientemente trabajable para que con los encofrados, cantidad y espaciamiento del refuerzo, procedimiento de colocación, y técnicas de consolidación utilizados, se pueda llenar completamente todos los espacios alrededor del refuerzo y peritan que la masa fluya en las esquinas y contra la superficie de los encofrados a fin de lograr una



masa homogénea sin una inconveniente separación de los ingredientes, o presencia de aire atrapado, burbujas macroscópicas, o bolsas de agua en el concreto. (Rivva, 2000)

- **Consistencia**

La consistencia es una propiedad que define la humedad de la mezcla por el grado de fluidez de la misma; entendiéndose por ello que cuando más húmeda es la mezcla mayor será la facilidad con la que el concreto fluirá durante su colocación; la consistencia está relacionada pero no es sinónimo de trabajabilidad. Una mezcla trabajable para pavimentos puede tener una alta consistencia que la hace difícil de trabajar en columnas o placas. Inversamente, una mezcla cuya consistencia lo hace adecuada para vigas o columnas puede ser excesivamente trabajable para estructuras masivas. (Rivva, 2000)

La consistencia de una mezcla es función de su contenido de agua y de la granulometría y características físicas del agregado, las que determina la cantidad de agua necesaria para alcanzar una consistencia determinada.

Usualmente la consistencia de una mezcla se define pro el grado de asentamiento de la misma. Corresponden los menores asentamientos a las mezclas más secas y los mayores a las consistencias fluidas. (Rivva, 2000)

- **Segregación**

La segregación es definida como la descomposición mecánica del concreto fresco en sus partes constituyentes cuando el agregado grueso tiende a separarse del mortero.

Esta definición es entendible si se considera que el concreto es una mezcla de materiales de diferentes tamaños y gravedades específicas, por lo que generan al interior del mismo, fuerzas las cuales tienden a separar los materiales componentes cuando la mezcla aún no ha endurecido. El resultado de la acción de estas fuerzas es definido como segregación. (Rivva, 2000)

Las diferencias de densidades entre los componentes del concreto provocan una tendencia natural a que las partículas más pesadas descendan, pero en general, la densidad de la pasta con los agregados finos es solo un 20% menor que la de los gruesos. (Pasquel, 1998)

- **Exudación**

La exudación es definida como la elevación de una parte del agua de la mezcla hacia la superficie, generalmente debido a la sedimentación de los sólidos. El proceso se inicia momentos después que el concreto ha sido colocado y consolidado en los encofrados y continua hasta que se inicia el fraguado de la mezcla, se obtiene máxima consolidación de sólidos, o se produce la ligazón de las partículas.



Propiedad por la cual una parte del agua de mezcla se separa de la masa y sube hacia la superficie del concreto. Es un caso típico de sedimentación en que los sólidos se asientan dentro de la masa plástica. El fenómeno está gobernado por las leyes físicas del flujo de un líquido en un sistema capilar, antes que el efecto de la viscosidad y la diferencia de densidades.

Está influenciada por la cantidad de finos en los agregados y la finura del cemento, por lo que cuanto más fina es la molienda de este y mayor es el porcentaje de material menor que la malla No 100, la exudación será menor pues se retiene el agua de mezcla.

La exudación se produce inevitablemente en el concreto, pues es una propiedad inherente a su estructura, luego lo importante es evaluarla y controlarla en cuanto a los efectos negativos que pudiera tener.

No debe caerse en el error de considerar que la exudación es una condición anormal del concreto, ni en la práctica indiscriminada usual de “secar” el concreto espolvoreando cemento en la superficie mientras aún hay exudación, ya que se origina una capa superficial muy delgada de pasta que en la parte inferior tiene una interface de agua que la aísla de la masa original. En estas condiciones, al producirse la contracción por secado o cambios volumétricos por temperatura esta película delgada de pasta se agrieta, produciéndose el patrón de figuración tipo panal de abeja, que los norteamericanos denominan “crazing”.

Si se espolvorea cemento cuando la exudación ha terminado, integrando la pasta con la mezcla original se logra reducir la relación Agua/Cemento en la superficie con resultados positivos en cuanto a durabilidad al desgaste, La prueba estándar para medir la exudación está definida por la norma ASTM C- 232 necesitándose sólo una pipeta como equipo adicional a las balanzas, moldes y probetas graduadas que constituyen lo normal en laboratorio (Pasquel, 1998)

- **Cohesividad**

Se define a la Cohesividad como aquella propiedad del concreto fresco gracias a la cual es posible controlar el peligro de segregación durante la etapa de colocación de la mezcla, al mismo tiempo que contribuye a prevenir la aspereza de la misma y facilitar su manejo durante el proceso de compactación del concreto.

e. Propiedades del concreto endurecido

- **Elasticidad**

En general, es la capacidad del concreto de deformarse bajo carga, sin tener deformación permanente.

El concreto no es un material elástico estrictamente hablando, ya que no tiene un comportamiento lineal en ningún tramo de su diagrama carga vs deformación de compresión,



sin embargo, convencionalmente se acostumbra definir un “módulo de elasticidad estático” del concreto mediante una recta tangente a la parte inicial del diagrama, o una recta secante que une el origen del diagrama con un punto establecido que normalmente es un % de la tensión última. Los módulos de elasticidad normales oscilan entre 252,000 a 350,000 kg/cm² y están en relación directa con la resistencia en compresión del concreto y por ende la relación agua/cemento. Conceptualmente, las mezclas más ricas tienen módulos de elasticidad mayores y mayor capacidad de deformación que las mezclas pobres.

- **Resistencia**

Es la capacidad de soportar cargas y esfuerzos, siendo su mejor comportamiento en compresión en comparación con la tracción, debido a las propiedades adherentes de la pasta de cemento.

Depende principalmente de la concentración de la pasta de cemento, que se acostumbra expresar en términos de la relación agua/cemento en peso. La afectan además los mismos factores que influyen en las características resistentes de la pasta, como son la temperatura y el tiempo, aunados a un elemento adicional constituido por la calidad de los agregados, que complementan la estructura del concreto. Un factor indirecto, pero no por eso menos importante en la resistencia, lo constituye el curado ya que es el complemento del proceso de hidratación sin el cual no se llegan a desarrollar completamente las características resistentes del concreto. Los concretos normales usualmente tienen resistencias en compresión del orden de 100 a 400 kg/cm², habiéndose logrado optimizaciones de diseño sin aditivos que han permitido obtener resistencias del orden de 700 kg/cm². Tecnologías con empleo de los llamados polímeros, constituidos por aglomerantes sintéticos que se añaden a la mezcla, permiten obtener resistencias en compresión superiores a las 1,500 kg/cm².

- **Extensibilidad**

Es la capacidad del concreto de deformarse sin agrietarse. Se define en función de la deformación unitaria máxima que puede asumir el concreto sin que ocurran fisuraciones.

Depende de la elasticidad y del denominado flujo plástico, constituido por la deformación que tiene el concreto bajo carga constante en el tiempo.

El flujo plástico tiene la particularidad de ser parcialmente recuperable, estando relacionado también con la contracción, pese a ser dos fenómenos nominalmente independientes. (Pasquel, 1998)

f. Diseño de mezclas según método del American Concrete Institute (ACI)

Este diseño de mezcla propuesta por el ACI rige al concreto simple desarrollado en esta investigación.

La American Concrete Institute (ACI) es una autoridad líder y de recursos a nivel mundial para el desarrollo y la distribución de las normas basadas en el consenso, los recursos técnicos, programas educativos, y probada experiencia para los individuos y organizaciones que participan en el diseño de hormigón, construcción y materiales, que comparten un compromiso con la búsqueda de la mejor utilización del hormigón.

A continuación, mostraremos el procedimiento de diseño de mezclas de concreto según el ACI.

1) Establecimiento de f'_{cr} : en función a criterios establecidos por el ACI- 318. (Tabla 1)

Tabla 1: Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no se dispone de resultados para definir la desviación standard de la muestra

Resistencia especificada a la compresion kg/cm2	Resistencia promedio requerida a la compresion kg/cm2	Resistencia especificada a la compresion, Mpa	Resistencia promedio requerida a la compresion Mpa
$f'c < 210$	$f'_{cr} = f'c + 70$	$f'c < 21$	$f'_{cr} = f'c + 7.0$
$210 \leq f'c \leq 350$	$f'_{cr} = f'c + 84$	$21 \leq f'c \leq 35$	$f'_{cr} = f'c + 8.5$
$f'c > 350$	$f'_{cr} = f'c + 98$	$f'c > 35$	$f'_{cr} = 1.1f'c + 5$

Fuente: (NTP E 0.60 pag.42 -2009)

2) Establecimiento de la cantidad de agua por m3 de concreto: en función de las condiciones de trabajabilidad, el tamaño máximo de los agregados y ocasionalmente el tipo de cemento. (Tabla 2)

Tabla 2: cantidades aproximadas de agua de amasado para diferente slump, tamaño máximo de agregado y contenido de aire

SLUMP	Tamaño Maximo Nominal							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto 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
% de aire atrapado	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto 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
% de aire atrapado recomendado en funcion del agregado de exposicion								
Normal	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
Moderado	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3
Extrema	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5	4

FUENTE: (RIVVA, tecnología del concreto – Diseño de Mezclas, 1992)

- 3) **Definición de la relación agua/cemento en peso:** En base a la resistencia en compresión solicitada o requisitos de durabilidad. (Tabla 3)

Tabla 3: *Relación Agua/ Cemento Vs f'cr*

fc a 28 días kg/cm2	Relacion agua/cemento en peso	
	Sin aire incorporado	Con aire incorporado
450	0.38
400	0.42
350	0.47	0.39
300	0.54	0.45
250	0.61	0.52
200	0.69	0.6
150	0.79	0.7

Fuente: pasquel, enriqueel

- 4) **Cálculo de la cantidad de cemento en peso:** En función de la relación agua/cemento y la cantidad de agua definida en A y B

$$\text{Cemento (Kg)} = \frac{\text{Peso del agua (Kg)}}{\text{Relacion A/C}}$$

- 5) **Cálculo de los volúmenes absolutos del agua y el cemento:**

$$\text{Vol. Abs. Cemento (m3)} = \frac{\text{Peso del cemento (Kg)}}{\text{Peso especifico Cemento } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)}$$

$$\text{Vol. Abs. Agua (m3)} = \frac{\text{Peso del agua (Kg)}}{\text{Peso especifico Agua } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)}$$

- 6) **Estimación del porcentaje de aire:** Por m3 y el volumen absoluto que atrapar el concreto en función de las características granulométricas de los agregados. (Tabla 4)

Tabla 4: *Asentamiento recomendados para diversos tipos de obras*

Tipo de Estructura	Slump Maximo	Slump Minimo
Zapatas y muros de cimentacion reforzados	3"	1"
Cimentacion simple y calzadas	3"	1"
Vigas de muros armados	4"	1"
Columnas	4"	2"
Lozas y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclopeo	2"	1"
El slump puede incrementarse cuando se usa aditivos siempre que no se modifique la relacion a/c ni exista segregacion o exudacion		
El slump puede incrementarse de 1" si no se usa vibrador al compactar		

Fuente: pasquel, enrique

Tabla 5: Volumen de agregado grueso compactado en seco para diversos módulos de fineza de arena

Tamaño Maximo Nominal Del Agregado	Volumen Del Agregado Grueso Compactado En Seco Para Diversos Modulos De Fineza De Arena			
	2.4	2.6	2.8	3
3/8"	0.5	0.49	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.5
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
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	0.79	0.78	0.76
6"	0.87	0.85	0.89	0.81

FUENTE: (RIVVA, tecnología del concreto – Diseño de Mezclas, 1992)

- 7) **Obtención del volumen absoluto** :Que ocuparan los agregados, restando de 1 m³ los volúmenes hallados de cemento, agua y aire.

$$Vol. Abs. Agr. = 1 m^3 - Vol. Abs. Agua (m^3) - Vol. Aire (m^3)$$

- 8) **Definición de la proporción en volumen absoluto en que intervendrán el agregado grueso y el fino en la mezcla.** (Por el método preferido)

k = porcentaje en que interviene la piedra

K-I = porcentaje en que interviene la arena

- 9) **Distribución del volumen obtenido en F en la proporción definida en G.**

$$\begin{aligned} Vol. Abs. Piedra(m^3) &= K * Vol. Abs. Agregados(m^3) * Vol. Abs. Arena(m^3) \\ &= (K - I) * Vol. Abs. Agregados(m^3) \end{aligned}$$

- 10) **cálculo de los pesos que corresponden a los volúmenes de agregados obtenidos en H.**

$$Peso Piedra (m^3) = Vol. Abs. Piedra(m^3) * Peso Espec. Piedra \left(\frac{Kg}{m^3}\right)$$

$$Peso arena (m^3) = Vol. Abs. Arena(m^3) * Peso Espec. Arena \left(\frac{Kg}{m^3}\right)$$

**11) Correcciones por humedad y absorción de diseño**

$$\text{Peso Húmedo Piedra (Kg)} = \text{Peso Piedra (Kg)} * (1 + \text{Humedad piedra})$$

$$\text{Peso Húmedo Arena (Kg)} = \text{Peso Arena (Kg)} * (1 + \text{Humedad arena})$$

$$\text{Balance Agua en la Piedra (\%)} = \text{Humedad piedra} - \text{Absorción piedra}$$

$$\text{Balance Agua en la Arena (\%)} = \text{Humedad arena} - \text{Absorción arena}$$

$$\text{Contrib. agua piedra (Kg)} = \text{Balance piedra(\%)} * \text{Peso Húmedo piedra(Kg)}$$

$$\text{Contribución agua arena (Kg)} = \text{Balance arena(\%)} * \text{Peso Húmedo arena(Kg)}$$

$$\text{Agua final} = \text{Agua(Kg)} - \text{Contr. Agua Piedra (Kg)} - \text{Contr. Agua arena(Kg)}$$

12) Diseño final

Agua final (kg), peso húmedo piedra (kg), peso húmedo arena (kg), peso cemento (kg)

2.2.2.2 Concreto autocompactable.

El hormigón Autocompactable es un hormigón capaz de compactarse por acción de la gravedad que llena los encofrados y discurre entre las armaduras sin necesidad de aplicar medios de compactación internos o externos y manteniéndose, durante su puesta en obra, homogéneo y estable sin presentar segregaciones. La consistencia del hormigón autocompactable presenta cierta viscosidad que le caracteriza y, a la vez, la diferencia de los hormigones convencionales de consistencia fluida.

Como consecuencia del párrafo anterior, podemos definir la autocompatibilidad como la propiedad que presentan algunos hormigones de consistencia fluida y viscosa de compactarse sin necesidad de aportación de energía (vibración), rellenando los encofrados y discurriendo entre las armaduras sin que se produzca sangrado de la lechada ni bloqueo del árido grueso. (IECA, 2006, pág. 52)

Un Concreto Autocompactable en estado fresco se puede decir que cumple con la condición de autocompacidad si cumple simultáneamente tres requisitos fundamentales dada por la norma UNE los tres requisitos son: Capacidad de relleno, Capacidad de Paso y resistencia a la



segregación. Una mezcla de hormigón sólo puede clasificarse como autocompactable si se cumplen los requisitos para estas tres características. (EFNARC, 2002)

El concreto autocompactable (CAC), conocido también como concreto autoconsolidante, es un concreto altamente fluido sin segregación, que puede ser extendido en el sitio, llenando la formaleta y encapsulando el refuerzo, sin ningún tipo de consolidación mecánica. La fluidez del concreto autocompactable (CAC) es medida en términos de colocación cuando se utiliza la versión modificada del ensayo de asentamiento (ASTM C 143). La extensión (flujo de asentamiento) del CAC varía en su rango típico de 18 a 32 pulgadas (455 a 810 mm) dependiendo de los requerimientos del proyecto. La viscosidad, como se observa visualmente por el rango en que se extiende el concreto, es una de las características importantes del CAC en estado plástico y puede ser controlada cuando se diseña una mezcla que satisfaga el tipo de aplicación que se va a construir. (NRMCA)

a) Evolución y desarrollo del concreto autocompactable

En las últimas décadas la industria de la construcción ha mostrado gran preocupación e interés en el proceso de compactación del concreto, debido a la importancia que éste tiene en el rendimiento del producto terminado; que aunado a la creciente escasez de personal especializado en el uso de equipos que permitan realizar la compactación de forma correcta, ha permitido que se desarrollen nuevas tecnologías de vibración y consolidación, de igual forma la evolución en el diseño de estructuras cada vez más complejas y sofisticadas, evidencia que los métodos convencionales para la colocación del concreto ya no resulta efectiva.

La respuesta a estas necesidades es la utilización de un tipo de concreto que no dependa de las técnicas de vibración para la adecuada compactación, el cual recibe el nombre de Concreto Autocompactable, definido como “aquel concreto que es capaz de fluir en el interior del encofrado, rellenando de forma natural el volumen del mismo, pasando entre las barras de armadura y consolidándose únicamente bajo la acción de su propio peso sin compactación interna o externa”. (González Morán, 2006, pág. 104).

b) Importancia del concreto autocompactable

Es un concreto muy fluido y sin embargo estable, que puede fluir rápidamente al lugar y llenar las cimbras sin experimentar compactación y sin segregación significativa. Se trata de un diseño de mezcla muy controlado con pocas opciones para su ajuste en sitio. El autocompactable es un concreto “hipersensible”. Pequeños cambios en la mezcla, sobre todo en la cantidad de agua,



pueden tener muy grandes repercusiones. Por eso, el concreto autocompactable normalmente se vende como producto de desempeño con valor agregado y como cualquier otro producto, hay una línea de aprendizaje y todas las partes deben ganar algo de experiencia para trabajar los detalles.

Los tres componentes principales del autocompactable incluyen una mezcla de concreto apropiadamente proporcionada diseñada para la aplicación, un reductor de agua sintético de alto rango o superfluidificador y a veces un aditivo modificador de la viscosidad. Las cantidades de cada componente pueden variar para el logro de un amplio rango de resultados. (Nasvik, Marzo del 2016)

c) **Características del concreto autocompactable**

Las características fundamentales que deben definir un concreto autocompactable son las siguientes:

- **Elevada fluidez:** el concreto autocompactable se caracteriza por una elevada fluidez hasta el punto que los métodos tradicionales de ensayo, como por ejemplo el cono de Abrams, resultan obsoletos.
- **Elevada resistencia a la segregación:** la elevada fluidez no debe implicar segregación o sangrado. La mezcla debe mantener homogeneidad tanto de forma intrínseca como al someterse a la colocación en obra.
- **Adecuada viscosidad plástica:** el concreto autocompactable debe fluir por la acción de su propio peso. Esto requiere ciertas características de formulación para que el concreto no se bloquee en su paso a través del acero de refuerzo, con un perfecto relleno y que fluya a través de la cimbra, acomodándose a su forma.
- **Deformabilidad en estado fresco:** para obtener buenos acabados y un perfecto recubrimiento del armado.

Todas las características básicas deben mantener un equilibrio entre ellas a pesar de que, en algunas, como fluidez y cohesión (resistencia a la segregación), se presente cierto antagonismo. Esto es, una adecuada formulación de concreto autocompactable implica que todas las propiedades citadas se mantengan en un equilibrio estable y óptimo durante todo el tiempo que implique el transporte y su colocación en obra. Adicional a esto, para que el concreto autocompactable sea considerado de alto desempeño, debe cumplir con lo siguiente:

- Los efectos derivados de la generación de calor, endurecimiento o contracción por secado deben ser mínimos.



- La permeabilidad del concreto frente a la penetración del oxígeno, cloruros y agua debe ser mínima. Aunque el concreto autocompactable tiene características reológicas significativamente diferentes a las de los concretos convencionales, ambos no difieren mucho en términos de su comportamiento en otros aspectos del estado fresco o en el estado endurecido. Sin embargo, se ha observado que en un concreto autocompactable, la micro estructura y la interface agregado-pasta son más densas que en un concreto convencional con la misma relación agua/cemento, la permeabilidad a los gases y cloruros es menor, y la adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo es mejor. Por otro lado, debido al mayor contenido de pasta, es de esperar un aumento en la sensibilidad a un curado no adecuado, que puede conducir a la fisuración por contracción plástica en elementos como losas y pavimentos.

(Reyes, 2007)

La permeabilidad no es un factor influyente ya que la composición del concreto autocompactable está en relación de agua/cemento; es por eso que no se hace un estudio detallado de este.

d) Usos del concreto autocompactable

- Obras de infraestructura
- Elementos prefabricados
- Elementos de sección estrecha
- Cualquier elemento donde se desee garantizar una adecuada compactación del concreto.
- Columnas, vigas, muros, losas y muros donde el acero de refuerzo hace difícil el vibrado.
- Ideal para densidades de acero media y alta.
- Elementos con difícil acceso para efectuar la compactación del concreto. (Sika, 2014)

e) Ventajas y limitantes del concreto autocompactable

Ventajas

El CAC puede describirse como la tecnología más revolucionaria de las últimas décadas en el campo de la construcción con concreto. En un principio se diseñó para compensar una creciente escasez de personal especializado, pero ha demostrado ser beneficioso tanto técnica como económicamente debido a la influencia de varios factores, entre los que se pueden mencionar: (González Morán, 2006, pág. 111)



La tecnología del concreto Autocompactante suprime la obligatoria fase de vibrado, por lo cual el concreto se consolida simplemente por su propio peso. Las ventajas son las siguientes:

- No requiere vibradores para consolidación del hormigón
- Mayor velocidad de colocación
- Menos puntos de colocación del hormigón.
- Menor trabajo de acabado superficial, especialmente en losas.
- Reducción de problemas en áreas de congestión de acero.
- Mejor ambiente de trabajo (menos ruido y agotamiento físico) y más seguro.
- Aumento de productividad, por el menor tiempo consumido en actividades de manejo de hormigón.
- Mayor libertad y posibilidades en el diseño de estructuras.
- Reducción de costos en equipos de compactación y mantenimiento.
- Reducción de costos en mano de obra en actividades de colocación y compactación.
- La ventaja más importante de este concreto es la uniformidad estructural que puede lograrse sin que el proceso de colocación tenga un efecto negativo, como sucede con el concreto convencional, en el que a pesar de un alto revenimiento no se puede garantizar que fluya por el refuerzo si no se asegura la consolidación por medios mecánicos.
- Buen desempeño mecánico y durabilidad de los elementos y estructuras.
- Elementos de concreto sin oquedades internas, ni agrietamientos que permiten el acceso de agentes nocivos para el concreto.
- Reducción de los tiempos de ejecución de la obra.

La ventaja más importante de este concreto es la uniformidad estructural que puede lograrse sin que el proceso de colocación tenga un efecto negativo, como sucede con el concreto convencional, en el que a pesar de un alto revenimiento no se puede garantizar que fluya por el refuerzo si no se asegura la consolidación por medios mecánicos. (González Morán, 2006, pág. 11)

Limitaciones

El CAC tiene también ciertas limitaciones que deben ser consideradas para poder implementarlo en las obras de nuestro país, entre las que se mencionan:

- Existe poca información disponible en cuanto al diseño y caracterización de la mezcla, en este sentido la aplicación del CAC, es considerada a mediano futuro.



- Una de las limitaciones en la producción del CAC, es el alto costo de los materiales, especialmente los aditivos superplastificantes, necesarios para obtener la autocompatibilidad de este concreto.
- En la colocación del CAC, la elevada fluidez de la mezcla podría causar dificultades en el encofrado, debido a los esfuerzos de presión y la ausencia de un sellado completo; aunque por la naturaleza tixotrópica del CAC, esta última consideración no debería ser calificada como un problema.
- La mayoría del equipo para realizar los ensayos al CAC en estado fresco, es de uso específico en los países precursores sobre la investigación de esta tecnología; debido a esto la evaluación de las características de la trabajabilidad, es limitada. (González Morán, 2006, pág. 12)

f) Componentes del concreto y concreto autocompactable

a) Cemento

El cemento es un aglomerante hidráulico, esto quiere decir que reacciona y fragua en presencia de agua. Al ser mezclado con piedra, arena y agua, crea una mezcla denominada concreto. En términos generales, el cemento se puede describir como un polvo muy fino que puede ser grisáceo o blanco. Desde el punto de vista químico se trata de una mezcla de silicatos y aluminatos de calcio, obtenidos a través del cocido de calcáreo, arcilla y arena. El material obtenido molido muy finamente, una vez que se mezcla con agua se hidrata y se solidifica progresivamente.

Conocer la clasificación del cemento según las normas, ayuda a elegir criterios para los diseños de mezclas, pues las tablas, procedimientos, relaciones agua-cemento y dosificaciones en general del concreto, dependen en gran parte del tipo de cemento ya que presentan características diferentes, principalmente en la resistencia inicial. (Luis, 2011)

Las normas que se aplican a los cementos que se comercializan en Perú son:

- ASTM C 91 Especificación estándar para Cementos de Albañilería
- ASTM C 150 Especificación estándar para Cemento Portland (puro o normal)
- ASTM C 595 Especificación estándar para Cementos Hidráulicos Adicionados (con puzolanas o escoria de alto horno, por ejemplo)
- ASTM C 1157 Especificación estándar para Cementos Hidráulicos (en general).



Según El Reglamento de Edificaciones, 2006: Se debe tomar en cuenta que en el Perú los cementos hidráulicos mezclados o adicionados que son producidos o importados al país deben cumplir con las características estipuladas en la Norma Técnica Peruana NTP 334.009.

- **Cemento portland puzolánico tipo IP**

Es el cemento portland que presenta un porcentaje adicionado de puzolana entre 15% y 45%. (NORMA ITINTEC 334.044).

b) Agregados

Agregado grueso

Conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratadas o elaboradas y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por la Norma ITINTEC 400.037.

Para su buena utilización no deben ser demasiado porosos, ni de forma muy alargada de acuerdo con los requerimientos que establece la Norma ASTM C 33 (Especificación Estándar para Agregados del Concreto). Los agregados gruesos deben estar acorde a los requerimientos descritos en esta norma en lo referente a su granulometría para cada número de tamiz, según el tamaño de agregado a utilizar. El tamaño del agregado se encuentra en función de las necesidades específicas para el diseño del concreto.

Las especificaciones de los límites permisibles de sustancias perjudiciales en los agregados gruesos a utilizar en las fabricaciones de concreto dependerán del tipo de agregado, la abrasión y elementos a los que serán expuestos. El agregado grueso para uso en concreto que estará expuesto con frecuencia al agua, debe estar libre de material que pueda reaccionar de manera perjudicial con el cemento.

La humedad de los agregados está compuesta por humedad de saturación y humedad superficial o libre. Para corregir el peso del material en las mezclas, se obtiene el porcentaje de humedad contenida, además del porcentaje de absorción del agregado. Los agregados se encuentran en cualquiera de los siguientes estados:

- Seco al horno: completamente seco y absorbente.
- Seco al aire: seco en su superficie, pero con poco contenido de humedad, menor que la requerida para saturar las partículas. Poco absorbente.

- Húmedo: contiene exceso de humedad en la superficie de las partículas.
- Saturado y de superficie seca (seco saturado): condición ideal que debe tener el agregado para que no adicione o absorba agua del concreto. Se debe considerar que todos los cálculos deben basarse en el agregado en esta condición.

Es necesario conocer el peso unitario, el cual es el peso del agregado con respecto a su volumen, según las especificaciones de la Norma ASTM C 29. Al determinar el peso unitario se observa que está influenciado por el grado de asentamiento y por el contenido de humedad, por lo que debe calcularse con el material seco apisonado y suelto. (Edificaciones, 2006)

Agregado fino

El agregado fino para un concreto se determina como el material que pasa por el tamiz No. 4 hasta el tamiz No.100 y se clasifica en arena natural, de canto rodado o de río, manufacturada o combinación de ambas. Deberá estar graduado dentro de los límites que se establecen en la Norma ASTM C.

Tabla 6: Límites de granulometría para el agregado fino.

Tamiz	Porcentaje que pasa
3/8" (9,50 mm)	100%
No. 4 (4,75 mm)	95 a 100%
No 8 (2,36 mm)	80 a 100%
No 16 (1,18 mm)	50 a 85%
No 30 (600 um)	25 – 60%
No 50 (300 um)	10 – 30%
No 100 (150 um)	2 a 10%

Fuente: ASTM International, Especificación Estándar para Agregados del Concreto ASTM C 33-03.

La forma y textura del agregado grueso también influye en el agregado fino. Las partículas alargadas, aplanadas o de formas cúbicas y textura rugosa requieren una mayor cantidad de arena, agua y pasta en una mezcla, debido a la fricción que generan entre ellas es mayor en comparación con los agregados de canto rodado y de textura lisa. El uso del agregado fino en el concreto incrementa su resistencia a compresión, manejabilidad y densidad, sin embargo,



la adición de este puede afectar el espacio entre los poros influyendo en el flujo del agua a través del concreto por lo que su uso debe ser limitado. (Edificaciones, 2006)

c) Agua

El agua empleada en la preparación y curado del concreto deberá ser, de preferencia, potable. Se utilizará aguas no potables sólo si:

- Están limpias y libres de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica u otras sustancias que puedan ser dañinas al concreto, acero de refuerzo o elementos embebidos.
- La selección de las proporciones de la mezcla de concreto se basa en ensayos en los que se ha utilizado agua de la fuente elegida.

Las sales u otras sustancias nocivas presentes en los agregados y/o aditivos deberán sumarse a las que pueda aportar el agua de mezclado para evaluar el contenido total de sustancias inconvenientes. La suma de los contenidos de ion cloruro presentes en el agua y en los demás componentes de la mezcla (agregados y aditivos) no deberán exceder los valores indicados en la Tabla 7.

Tabla 7 *Contenido de ion cloruro en el agua*

Tipo de Elemento	Contenido máximo de ión cloruro soluble en agua en el concreto, expresado como % en peso de cemento
Concreto pretensado:	0.06
Concreto armado expuesto a la acción de cloruros.	0.1
Concreto armado no protegido que puede estar sometido a un ambiente húmedo pero no expuesto a cloruros (incluye ubicaciones donde el concreto puede estar ocasionalmente húmedo tales como cocinas, garajes, estructuras ribereñas y áreas con humedad potencial por condensación).	0.15
Concreto armado que deberá estar seco o protegido de la humedad durante su vida por medio de recubrimiento impermeable.	0.8

Fuente: Norma E 0.60 Concreto Armado



El agua de mar sólo podrá emplearse en la preparación del concreto si se cuenta con la autorización del Ingeniero Proyectista y del Inspector. No se utilizará en los siguientes casos:

- Concreto presforzado.
- Concretos con resistencias mayores de 175 kg/cm² a los 28 días.
- Concretos con elementos embebidos de fierro galvanizado o aluminio.
- Concretos con un acabado superficial de importancia.

No se utilizará en la preparación del concreto, en el curado del mismo, o en el lavado del equipo, aquellas aguas que no cumplan con los requisitos anteriores. (Edificaciones, 2006)

d) Aditivos

Según el ACI 116.R, los aditivos son materiales distintos del agua, agregados, cemento hidráulico, y adiciones que se utilizan como ingredientes del concreto y se añaden a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado, con el objeto de modificar sus propiedades, para que se adecuen mejor a las condiciones de trabajo, haciendo posible un adecuado transporte, comportamiento durante y después de colocado o para reducir los costos de producción. (Carlos, 2010, pág. 33)

Según la norma NORMA ITINTEC 339.086, Sustancia añadida a los componentes fundamentales del concreto, con el propósito de modificar algunas de sus propiedades. (Edificaciones, 2006)

El término “aditivo”, abarca un amplio campo de materiales y productos; algunos de los cuales son generalmente muy usados, mientras otros tienen una aplicación limitada. (Carlos, 2010, pág. 33)

Debido a que los componentes básicos del concreto convencional no son suficientes para obtener las características de un CAC en estado fresco, se hace necesaria la utilización de aditivos para aumentar la fluidez de las mezclas sin incrementar el contenido de agua, lo que permite conservar la viscosidad evitando la segregación del concreto; los aditivos usualmente empleados son los agentes modificadores de la reología, clasificados como reductores de agua de alta actividad, llamados también superfluidificantes o superplastificantes; pueden incorporarse otros como los aditivos modificadores de la viscosidad para la estabilidad, aditivos incluso de aire, para mejorar la resistencia a los ciclos hielo-deshielo y los aditivos retardadores de fraguado, etc. (EFNARC, 2002)

La evolución de los aditivos reductores de agua ha tenido un desarrollo relativamente reciente y creciente en el tiempo. Los primeros reductores de agua surgieron alrededor de 1930, utilizándose lignosulfonatos como medio para mejorar la trabajabilidad de los concretos. Los primeros superfluidificantes surgieron en los años setenta, y estaban basados en polímeros de melamina formaldehídos o de naftaleno formaldehídos, presentando como principal limitación la reducida permanencia del efecto plastificante en el tiempo.

Finalmente, una última generación de superfluidificantes basados en polímeros acrílicos, llamados también policarboxilatos, incrementó drásticamente la capacidad reductora de agua o el poder plastificante. Sin embargo, la principal ventaja no es de orden cuantitativo (hasta 40 % de reducción de agua), sino cualitativo: a través de estos aditivos es factible lograr una mayor permanencia en el tiempo de las propiedades reológicas del concreto. De este modo, se aumenta el tiempo en que el concreto se mantiene trabajable según los parámetros de diseño, extendiéndose en algunos casos el período de trabajabilidad hasta 2 horas ó más, dependiendo por supuesto del diseño de mezcla, relación agua/cemento, tipo de cemento, condiciones ambientales, etc.

En la Figura 2, se muestra la comparación de tres tipos de mezclas de concreto con contenido de cemento de 300 kg/m³, 350 kg/m³ y 400 kg/m³ sin utilizar aditivo superplastificante; y en la Figura 3, se muestra la influencia del aditivo en el sangrado y el revenimiento de las mezclas de concreto con el mismo contenido de cemento. (COLLEPARDI.M., 1976, págs. 104-108)

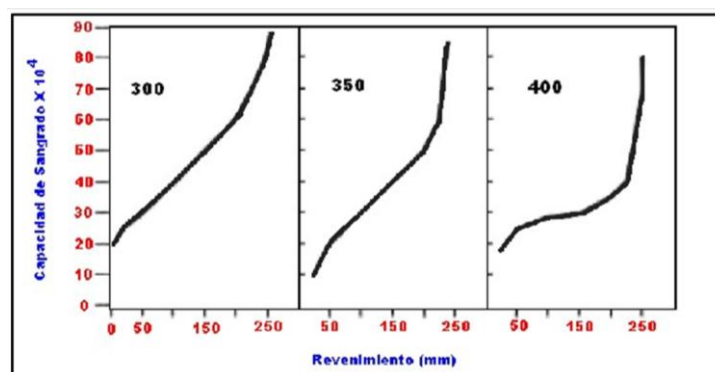


Figura 2: Capacidad de sangrado en función del revenimiento para concretos que no contienen aditivos.
(contenido de cemento en kg /m³).

Fuente: "Assessment Of The Rheoplasty Of Concretes " (M. Collepartdi)

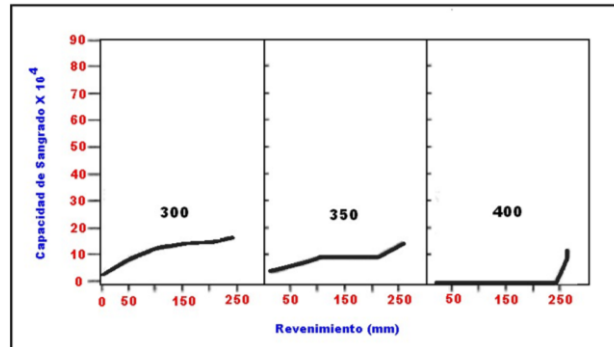


Figura 3: Capacidad de sangrado en función del revenimiento para concretos que no contienen aditivos.
(contenido de cemento en kg /m3)

Fuente "Assessment Of The Rheoplasty Of Concretes " (M. Collepartdi)

Los superplastificantes alcanzan reducciones del contenido de agua del 12% al 25%, por tal motivo incrementan la resistencia a la segregación y reducen la permeabilidad al disminuir la cantidad de agua de mezclado. Los efectos que estos aditivos permiten en la reología de un CAC son los siguientes:

1. Alto efecto dispersante para una proporción agua/cemento dada.
2. El mantenimiento del efecto dispersante por lo menos dos horas después de la mezcla.
3. Baja sensibilidad a los cambios de temperatura. (Hajime & Ouchi, 2003, págs. 5-15)

La caracterización del efecto dispersante del superplastificante independientemente del efecto del flujo resulta ser indispensable. En la Figura 4 se muestra el efecto dispersante producido por el superplastificante en el concreto.

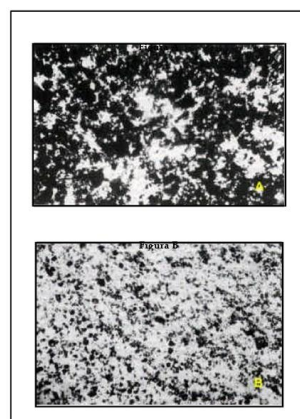


Figura 4: (A) Aglomeración; (B) Dispersión de las partículas de cemento producido por el superplastificante

Fuente "Assessment Of The Rheoplasty Of Concretes " (M. Collepartdi)



Los agentes modificadores de la viscosidad son un material que permite producir un CAC con un volumen reducido de materiales finos. Existen dos tipos los cuales son:

- Los que se utilizan para bombeo de concreto convencional, y mejoran la cohesión de las mezclas químicamente basados en celulosa modificada.
- Los basados en polímeros que parecen ser los más eficaces para el CAC, que producen un aumento significativo en el concreto en la fase líquida.

El contenido de aditivo tiene una importante influencia en las propiedades del CAC, ya que una dosificación excesiva puede causar segregación, exudación y un aumento del costo del concreto, sin embargo, debe emplearse lsten los llamados de tercera generación, que cada vez introducen mejoras adicionales en la modificación de la mezcla de concreto con reducciones de agua que no se pensaba fueran posibles de lograrse unos años atrás. Se aplican diluidos en el agua de mezcla dentro del proceso de dosificación y producción del concreto, pero también se pueden añadir a una mezcla normal en el sitio de obra un momento antes del vaciado, produciendo resultados impresionantes en cuanto a la modificación de la trabajabilidad. La dosificación usual es del 0.2 al 2 % del peso del cemento, debiendo tenerse cuidado con las sobredosificaciones pues pueden producir segregación si las mezclas tienen tendencia hacia los gruesos o retardos en el tiempo de fraguado, que obligan a prolongar e intensificar el curado, algunas veces durante varios días, aunque después se desarrolla el comportamiento normal.

Las mezclas en las que se desee emplear superplastificantes deben tener un contenido de finos ligeramente superior al convencional ya que de otra manera se puede producir segregación se se exagera el vibrado. Producen generalmente incremento de burbujas superficiales en el concreto por lo que hay que optimizar en obra tanto los tiempos de vibrado como la secuencia de estas operaciones, para reducir las burbujas al mínimo.

Propiedades del aditivo superplastificante

- Permite mantener por un tiempo prolongado la trabajabilidad.
- Alta reducción de la proporción agua cemento sin alterar la trabajabilidad del concreto.
- Reduce la exudación.
- Aumento de las resistencias mecánicas y la durabilidad.



- Le confiere al concreto un acabado de muy buena calidad y permite llenar formas complicadas con mucha armadura de acero.
- Mejora las características del concreto bombeado, reduciendo las presiones de bombeo.

Usos

- Concretos bombeados.
- Concretos de pavimentos.
- Concretos estructurales.
- Concreto pre y post tensado.
- Concretos de alta resistencia.

Características físico químicas

- **Densidad de 20°C** : 1.2 kg/l
- **PH** : 9
- **% SOLIDOS** : 40

Dosificación

- **Rango de dosis** : 0.4 - 2% peso del cemento.
- **Dosis óptima** : 1% peso del cemento

Modo de empleo

Como Superfluidificante: Para obtener un óptimo resultado agregue el aditivo superplastificante en el remezclado. El concreto debe tener inicialmente agua suficiente para obtener un descenso del cono de 3 a 4”.

A igual consistencia: Para efectos de la trabajabilidad, se debe considerar en el diseño del concreto una reducción hasta 35% del agua de amasado. El grado de humedad de los áridos debe ser como mínimo el correspondiente al estado saturado superficialmente seco.

Se recomienda mezclar los áridos con el cemento, agregar 60% del agua, para finalmente agregar diluido el aditivo superplastificante con el 40% restante y revolver durante 2 minutos. (CHEMA MASTERS DEL PERU S.A.)

g) Antecedentes sobre el diseño de mezcla CAC

1) Generalidades Sobre el procedimiento para la proporción de mezcla

Este diseño de mezcla esta rige al concreto autocompactable (CAC) desarrollado en la presente tesis de investigación.

Las dosificaciones de los distintos componentes que entran a formar parte de un CAC, deben ser cuidadosamente estudiadas para poder realizar un concreto de elevada consistencia, Cohesividad suficiente para atravesar un denso armado sin bloqueo del agregado grueso y que sea compatible con la ausencia de segregación.

Como norma general se puede tomar un modelo de diseño simplificado de la mezcla, véase la Figura 5.

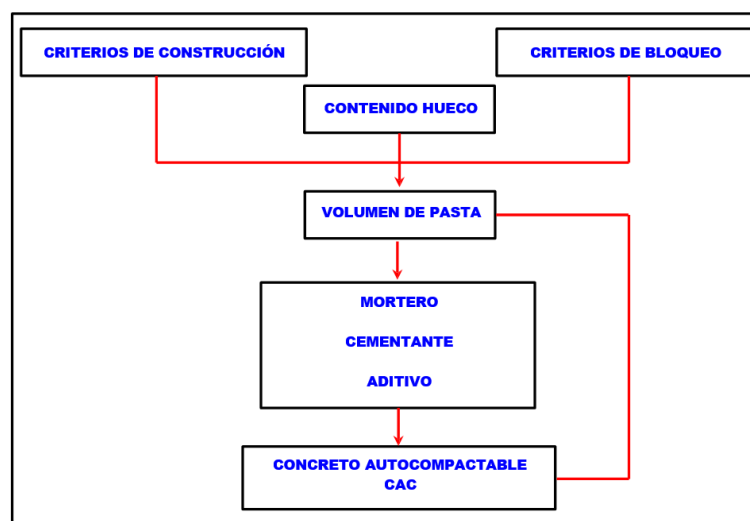


Figura 5: Modelo para el diseño de la mezcla del CAC.

Fuente: Hormigones de última generación. los hormigones autocompactantes

Los métodos de dosificación de mezclas para CAC, difieren de los métodos tradicionales empleados en el concreto convencional que necesita vibrado, estando fundamentados en la actualidad, en una base esencialmente empírica. En tales mezclas la obtención de las propiedades en fresco asociadas, a la fluidez, viscosidad y cohesión, dependen de la correcta definición de las proporciones de los componentes. Las definiciones que hasta hoy son útiles para establecer la calidad del concreto, como son la relación agua/cemento, la relación grava/arena y el revenimiento, no son aplicables en el caso del CAC, ya que para el manejo de esta tecnología se establecieron en el diseño de la mezcla otros parámetros que permiten controlar las características del comportamiento deseado (Rodríguez J. Arturo 2002). Estos conceptos se describen a continuación:



Relación agua / finos

Se establece como la relación entre el contenido de agua y el contenido de finos menores que la malla N° 100. De acuerdo a las investigaciones el comportamiento de las mezclas realizadas en el laboratorio, recomienda que esta relación se ubique entre 0.30 y 0.35. Esta relación considera como finos a todos los materiales y partículas, incluyendo el cemento y las partículas de los agregados que pasan dicha malla.

El contenido de estos finos recomendado para el CAC se ubica entre los 400 kg y 600 kg por metro cúbico (EFNARC, 2002). En éstos queda incluido el uso de materiales puzolánicos como la ceniza volante y la microsílíce.

Grava / arena

Se recomienda para esta relación un parámetro entre 0.72 y 0.80, lo que significa que el CAC posee una mayor cantidad de arena que un concreto convencional, y es esta relación combinada con el contenido de finos, lo que define el efecto de autocompactación.

2) Coeficiente de forma del agregado grueso

El coeficiente de forma del agregado grueso es un factor que influye en el comportamiento del concreto en estado plástico, por lo que se recomienda que el coeficiente de forma del agregado grueso sea mayor o igual a 0.20.

El tamaño máximo nominal del agregado grueso recomendado se encuentra entre 3/4" y 3/8". Tanto la grava como la arena pueden ser cribados o bien producto de trituración.

3) Requisitos para el diseño de mezcla de cac.

El CAC debe diseñarse para cumplir los requisitos relativos a la densidad, desarrollo de resistencia, resistencia final, durabilidad y características de alta fluidez y viscosidad. Una alta fluidez es necesaria para asegurar su adecuado escurrimiento por sí mismo y sólo bajo su propio peso. Evitando la segregación del agregado grueso y sangrado, garantizando así que el concreto mantenga la homogeneidad, cuando está en posición estática o escurriendo alrededor de las armaduras.

Por otra parte la pasta y mortero de un CAC requieren de una alta viscosidad y deformabilidad, lo cual es logrado mediante el empleo de un superplastificante que demanda una baja relación agua/finos.



En la mezcla proporcionada por un concreto convencional, la relación agua/cemento ha sido fijada de primero desde el punto de vista de obtener la resistencia requerida, sin embargo con un CAC la relación de agua/finos es fijada tomando en cuenta la autocompactabilidad (Bernardo de la Peña R. 2000), Debido a que este parámetro es muy sensitivo a esta tasa, en la mayoría de los casos, el diseño de la mezcla no es gobernada por una relación agua/finos debido a que es lo suficientemente pequeña como para obtener la resistencia requerida para las estructuras ordinarias a expensas que los materiales que existen en los finos no sean reactivos.

La autocompatibilidad puede ser ampliamente afectada por las características del material y por la proporción de la mezcla. Por ello, es necesario establecer un método de mezcla racional para CAC, que pueda ser usado con una amplia variedad de materiales.

4) Método de dosificación de Okamura y Ouchi

Esta metodología considera que el concreto está constituido por dos fases: agregado grueso y mortero. El volumen de agregado grueso se fija en el 50 % del volumen sólido del esqueleto granular (constituido por el agregado fino y el agregado grueso), mientras que el correspondiente al agregado fino es el 40 % del volumen del mortero (constituido por la pasta de cemento y los agregados finos). Tales proporciones se han determinado mediante estudios de carácter experimental relativos al bloqueo de los agregados; la relación agua/finos y la dosificación del superplastificante se obtienen mediante ensayos de fluidez en mortero.

El procedimiento se determina como se indica a continuación:

1. Definición del contenido de aire deseado (recomendado 2 %)

En general, el contenido de aire puede establecerse en un 2%, o un valor superior que se especifica cuando quiere diseñarse concreto resistente a los ciclos hielo-deshielo.

2. Determinación del volumen de agregado grueso

El volumen de agregado grueso se define por su densidad. El contenido de agregado grueso en general (diámetro > 4.75 mm) debe estar entre el 50 % y el 60 %.

Cuando el volumen de agregado grueso en el concreto supera un cierto límite, las posibilidades de colisión o contacto entre las partículas de agregado grueso aumentan rápidamente y también se incrementa el riesgo de bloqueo cuando el concreto pasa por los espacios entre las armaduras.

El contenido óptimo de agregado grueso depende de los parámetros siguientes:

- Tamaño máximo del agregado. Cuanto menor sea el tamaño máximo del agregado, mayor será la proporción de agregado grueso
- Tipo de agregado (triturado o rodado). En el caso de los agregados rodados, puede utilizarse un contenido superior en volumen, que en el caso de los agregados triturados.

3. Determinación del contenido de arena

La arena, en el contexto de este procedimiento de composición de mezcla, se define como todas las partículas de tamaño superior a 0.150 mm (malla N° 100) y menor a 4.75 mm (malla N° 4). El contenido de arena se define por su densidad. El contenido de volumen óptimo de arena en el mortero varía entre el 40 % y el 50 %, en función de las propiedades de la pasta.

4. Diseño de la composición de la pasta

Inicialmente, la relación agua/finos para un flujo cero (véase la Figura 6), se determina en la pasta, con la proporción elegida de cemento y adiciones. Se realizan los ensayos de cono de flujo con relaciones de agua/finos en volumen para 1.1, 1.2, 1.3 y 1.4, con el propósito de conocer los resultados habituales. El punto de intersección con el eje Y se designa como valor β_p (relación agua/finos, para un flujo relativo cero). Este valor β_p suele utilizarse para el control de calidad respecto a la demanda de agua en nuevos lotes de cemento y adiciones.

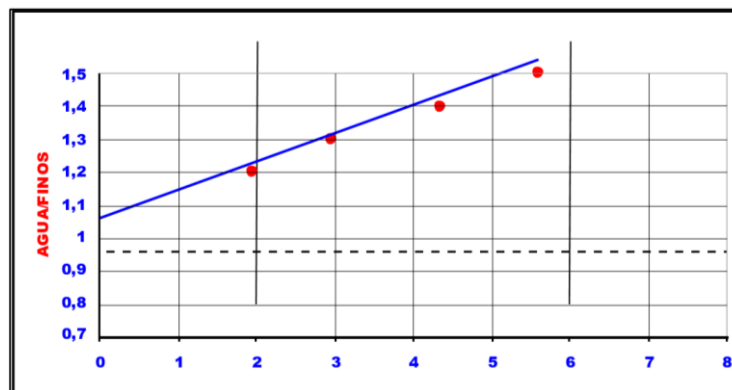


Figura 6: Ejemplo gráfico para la determinación de la relación agua/finos para un flujo cero.

Fuente: Fuente EFNARC. (European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems.)

5. Determinación de la relación óptima agua/finos y la dosificación del superplastificante en el mortero.

Los ensayos con cono de flujo y embudo V para el mortero (véase la Figura 7), se efectúan con diferentes relaciones agua/finos (entre 0.8 – 0.9) y dosificaciones de superplastificante. Como se mencionó anteriormente, el superplastificante se utiliza para equilibrar la reología de la pasta.

Los valores requeridos son un flujo de 24 cm a 26 cm en el cono de flujo y un tiempo de 7 s a 11 s, en el embudo V para mortero.

Cuando se alcanza el objetivo de flujo y el tiempo del embudo V es inferior a 7 s, debe disminuirse la relación de agua/finos. Cuando se cumple el objetivo de flujo y el tiempo del embudo V es superior a 11 s, hay que aumentar la relación de agua/finos.

Si no pueden cumplirse estos criterios, la combinación concreta de materiales no es la adecuada. Un ensayo con un superplastificante distinto será la alternativa preferida. La segunda alternativa es un nuevo aditivo y como último recurso, un cemento diferente.

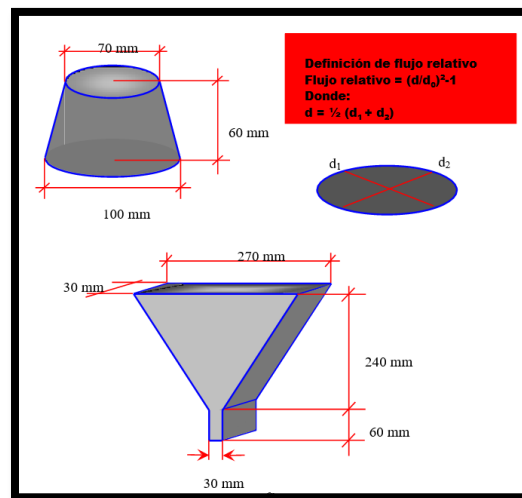


Figura 7: Cono de Flujo y embudo V, para la determinación óptima de agua/finos y superplastificantes.

Fuente EFNARC. (European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems.)

6. Ensayos en el concreto autocompactable

El concreto autocompactable es un material importante para la construcción, debido a ello es necesario determinar su calidad y buen comportamiento físico de trabajabilidad, extensibilidad, resistencia a la segregación y mecánica frente a cargas de diseño y durante los procesos constructivos, por lo cual normalmente se le efectúan diversos ensayos de control cuando está en estado fresco y endurecido.

La composición del concreto ya está determinada, finalmente se ajusta la dosificación necesaria de superplastificante basándose en los ensayos con concreto

h) Características de concreto autocompactable en estado fresco

El CAC en estado fresco es capaz de poseer alta fluidez y a la vez presentar una alta resistencia a la segregación. Se puede describir como una suspensión de partículas, bastante compleja ya



que tiene una gran variedad de tamaños y la fase líquida está en cambio continuo debido al desarrollo de la hidratación. Como en todas las suspensiones de partículas, el equilibrio entre fluidez y segregación es vital. (Angél, 2009)

Como se ha mencionado la consistencia del CAC es menor que la clase de consistencia para un concreto fluido descrito en un concreto convencional, y se caracteriza por su capacidad de relleno, capacidad de paso y resistencia a la segregación. Una mezcla de concreto sólo puede clasificarse como autocompactable si cumple los requisitos para estas tres características. (Gonzalo, 2013)

La diferencia entre el CAC y el concreto convencional radica en que sus propiedades en fresco son vitales para determinar si puede o no colocarse de manera satisfactoria. Los distintos aspectos de la trabajabilidad que controlan dichas características, deben tomarse con atención para garantizar que su colocación sea aceptable. (EFNARC, 2002)

En el CAC en estado fresco el uso de superplastificantes es necesario para reducir la demanda de agua, causando una dispersión en la mezcla debido a la reducción de la fricción entre los materiales que forman los finos, y los agentes de viscosidad algunas veces son incorporados para minimizar la utilización de adiciones de mayor valor económico. Por un lado una baja viscosidad es necesaria para que el concreto se pueda deformar y fluir fácilmente a un porcentaje razonable. Sin embargo, el CAC requiere alta viscosidad para impedir la segregación, el balancear estos requerimientos comienza a ser un arte y una ciencia dentro del campo del proporcionamiento de mezclas. Para lograr este balance también es importante tener un conocimiento fundamental de la reología del concreto fresco. (S. & DR. Tam Chat , 2001)

i) Reología del concreto

Las propiedades reológicas son bastante complejas debido a la amplia gama de tamaños de partículas que se encuentran en suspensión y a las reacciones de hidratación presentes en el estado fresco del concreto. Desde este punto de vista el concreto fresco autocompactable puede ser considerado como un agregado grueso en un mortero líquido, y como partículas de arena en una pasta líquida. Así la evaluación del mortero y la pasta podrán generar información útil en la optimización de las proporciones de la mezcla.

La reología del concreto fresco es descrita por el modelo de Bingham. De acuerdo con este modelo (véase la Figura 8), el concreto fresco muchas veces sobrepasa los límites de tensión (esfuerzo de fluencia) antes del cual pueda fluir; una vez el concreto inicia su moviendo la

tensión de corte se incrementa directamente proporcional a la tasa de esfuerzo, la cual es definida por la viscosidad plástica. De esta manera, los objetivos en las propiedades reológicas del CAC se resumen en tratar de reducir el esfuerzo de fluencia, de manera que este alcance un flujo newtoniano con un esfuerzo de fluencia cero; y además establecer la adecuada viscosidad. (Idalia, Landaverde Martinez, & Romero López, 2005, pág. 124)

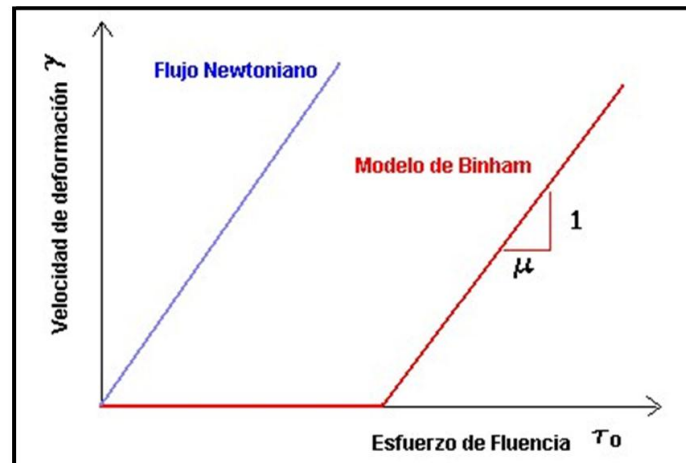


Figura 8: Flujo de binham y flujo newtoniano

Fuente Revista Materiales Technology (2001)

La ecuación de Bingham es una relación lineal entre el esfuerzo cortante, τ , y la velocidad de deformación, $\dot{\gamma}$. La viscosidad, es la pendiente de la recta y el intercepto es el esfuerzo de fluencia, τ_0 , como se muestra en la ecuación siguiente:

$$\tau = \tau_0 + \mu\dot{\gamma}$$

El conocimiento de estos dos parámetros de viscosidad y esfuerzo cortante de fluencia, permiten una descripción cuantitativa de la trabajabilidad.

La adición de agua reduce tanto el esfuerzo de fluencia como la viscosidad; sin embargo este procedimiento permitiría que el concreto se extienda, provocando segregación. Como fue mencionado anteriormente la resistencia a la segregación entre el agua y las partículas sólidas se pueden incrementar con una mayor viscosidad, a través de la incorporación de aditivos (véase la Figura 9). Hay que notar que el agua disponible controla las propiedades de flujo y la resistencia a la segregación en el concreto fresco. El agua en movimiento es definida como el agua en la mezcla, la cual nunca es absorbida por la superficie de las partículas sólidas. (Idalia, Landaverde Martinez, & Romero López, 2005, pág. 125)

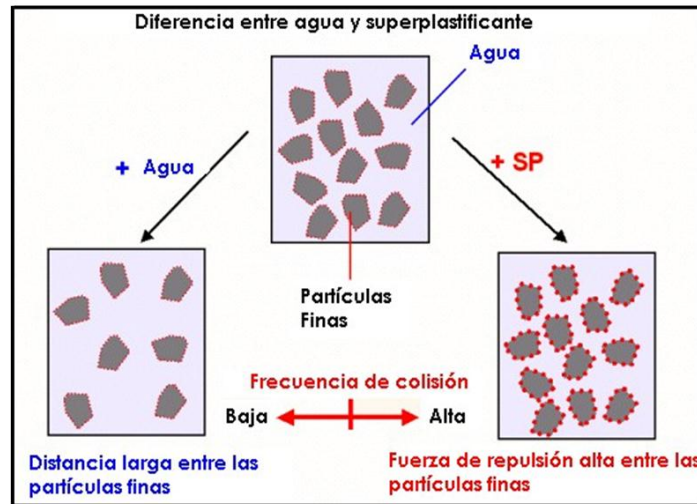


Figura 9: Comportamiento de la mezcla con agua y con aditivo superplastificante.

Fuente Ponencia en CAC Masahiro Ouchi 2003

Por otra parte la incorporación de superplastificantes reduce la distribución de esfuerzos pero causa una limitada reducción de la viscosidad. El efecto de los superplastificantes en las constantes de Bingham pueden ser mostradas en las investigaciones realizadas por los doctores David Ho y Tam Chat Tim de la universidad Nacional de Singapur (véase la Tabla 9), donde la relación agua/finos en estas pastas fue mantenida en 0.36 con varias combinaciones de cemento Pórtland y piedra caliza. La dosificación de superplastificante es expresada por el porcentaje del contenido total de finos. Como puede verse en la tabla, el esfuerzo de deformación decrece drásticamente en la medida en que la dosificación de superplastificante es incrementada. Sin embargo, el efecto en la viscosidad puede ser relativamente pequeña. (Idalia, Landaverde Martinez, & Romero López, 2005, pág. 126)

Tabla 8 Constantes de binham para pastas con relacion a/f de 0.36

Finos (%)		Superplastificante (%)	Esfuerzo de fluencia (Pa)	Viscosidad Plástica (Pa . s)
Cemento	Piedra caliza			
65	35	0.10	33.4	0.26
		0.20	10.8	0.21
		0.30	1.4	0.17
55	45	0.10	23.3	0.22
		0.20	10.2	0.21
		0.30	4.3	0.19
45	55	0.10	12.8	0.20
		0.15	6.3	0.18
		0.20	2.6	0.16

Fuente Materials Technology. Artículos “Some Major Of Self Compacting Concrete “.

El período en el que el CAC mantiene sus propiedades reológicas deseadas es muy importante para obtener buenos resultados en la colocación del concreto, este tiempo es llamado “tiempo abierto”. Este período puede ajustarse seleccionando el tipo correcto de superplastificante o mediante el uso combinado de aditivos retardantes. Los distintos tipos de aditivos presentan efectos diferentes en el tiempo abierto y pueden emplearse en función del tipo de cemento, el tiempo de transporte y colocación del CAC.

Entonces, el comportamiento del concreto es completamente caracterizado por el esfuerzo cortante de fluencia y por la viscosidad plástica. Estos parámetros son propiedades intrínsecas del concreto y podrían ser usados en cálculos de elementos finitos para predecir cualquier flujo del concreto.

De acuerdo a las investigaciones de los doctores David Ho y Tam Chat Tim, se pueden sugerir diferentes valores de viscosidad, (véase la Tabla 10), que dependen de los materiales y del equipo de medición que se esté usando. En este respecto hay una urgente necesidad de determinar las constantes apropiadas de Bingham para materiales locales. Además este reconocimiento del modelo de Bingham es solamente una aproximación de las medidas y está sujeto a una adecuada interpretación.

El uso de los parámetros de Bingham es útil en la descripción del comportamiento del concreto fresco y en la influencia de varios constituyentes de la mezcla. Sin embargo no hay consenso en las limitaciones de los valores apropiados para el CAC. (Idalia, Landaverde Martinez, & Romero López, 2005, pág. 128)

Tabla 9 Constantes de binham sugeridas para un CAC

Equipo	Esfuerzo de fluencia (Pa)	Viscosidad Plástica (Pa . s)
BTRHEOM (Francia)	< 400	< 200
BML (Irlanda)	< 80	20 - 30
BML (Suecia)	< 12	150 - 250

Fuente Materials Technology. Artículos “Some Major Of Self Compacting Concrete “.

j) La trabajabilidad del concreto autocompactable

Como es conocido, cuando las partículas de cemento entran en contacto con el agua de amasado muestran una tendencia natural a la floculación. Los efectos adversos fruto de la floculación de las partículas de cemento pueden ser contrarrestados, al menos parcialmente, mediante la incorporación a la masa de concreto de ciertos compuestos químicos, tales como los aditivos



reductores de agua, que producen un efecto dispersante entre las partículas de cemento. De este modo, con el uso de aditivos reductores de agua, se incrementa el porcentaje de hidratación del cemento. (Tecnología Sika Viscocrete, págs. 8-9)

El efecto dispersante de los aditivos hiperplastificantes se logra gracias a la adsorción de éstos sobre la partícula de cemento y su posterior orientación. Los aditivos hiperplastificantes están basados en compuestos orgánicos con grupos ionizados que poseen carga eléctrica, que una vez orientados, crean una densidad de carga local y de idéntico signo sobre las partículas de cemento, que de este modo, en lugar de tender a flocular, se repelen entre ellas originando el fenómeno de dispersión (dispersión inducida por un efecto electrostático). (Tecnología Sika Viscocrete, págs. 8-9)

La magnitud del efecto (efecto reductor de agua) depende de la densidad de carga que el aditivo es capaz de inducir sobre la partícula de cemento. Esto depende de varios factores, pero en general se relacionan con la capacidad de adsorción del aditivo sobre el cemento y su punto de saturación (que depende tanto de la composición y finura del cemento como del tipo de aditivo). (Tecnología Sika Viscocrete, págs. 8-9)

i. Trabajabilidad

La trabajabilidad es definida cualitativamente por la facilidad de colocación del concreto y cuantitativamente por los parámetros reológicos. Es decir, se define que la trabajabilidad de un CAC es aquella que le permita comportarse como un concreto altamente fluido, el cual no únicamente fluye bajo su propio peso, sino que puede llenar completamente el encofrado y lograr una consolidación uniforme sin segregación. (Idalia, Landaverde Martinez, & Romero López, 2005)

Las características de capacidad de relleno, capacidad de paso y resistencia a la segregación del CAC en estado fresco, ofrecen una perspectiva global de la trabajabilidad y evalúan la idoneidad de las mezclas autocompactables en términos de estabilidad, homogeneidad y consistencia (cohesión y viscosidad). (Idalia, Landaverde Martinez, & Romero López, 2005)

Como se ha explicado, para que la mezcla de concreto sea considerada autocompactable, debe tener la característica de fluir fácilmente y así llenar completamente los espacios dentro de las formas reforzadas por el efecto de su propio peso y la mezcla deberá tener una buena estabilidad para resistir la segregación; estas prestaciones se consiguen con la fluidez, viscosidad y



cohesión apropiadas en las mezclas de estos concretos. El nivel de fluidez se rige básicamente mediante la dosificación de hiperplastificante, no obstante, una dosis excesiva puede producir un riesgo de segregación y bloqueo. En el diseño se deben considerar las propiedades esenciales de los componentes para obtener las características técnicas necesarias.

La pérdida de consistencia de concreto puede ser influenciada por algunos factores, como por ejemplo el tipo y dosificación de hiperplastificante, el tipo y finura del cemento, la relación agua/finos, la temperatura del concreto fresco y las adiciones.

La trabajabilidad y las propiedades de retención de trabajabilidad son de gran importancia, las investigaciones han demostrado que esta propiedad es influenciada por el tipo de material utilizado y la interacción física y química entre ellos. (Idalia, Landaverde Martinez, & Romero López, 2005)

ii. Capacidad de paso

Se define como la capacidad que el concreto debe tener para pasar por sitios estrechos sin que el contacto entre los agregados cause el bloqueo de la mezcla. La obtención de esta propiedad se da incrementando la fluidez de la pasta con la utilización de superplastificantes, reduciendo el volumen del agregado grueso de la mezcla y ajustando el diámetro máximo del agregado en función de los espacios por donde el hormigón debe pasar. (Edgar & Tupayachi Venero, 2015, pág. 88)

iii. Capacidad de llenado

Es la capacidad que el concreto debe tener a la hora de fluir dentro del encofrado rellenando todas las superficies. Por un lado esta propiedad garantiza la calidad del acabado, de manera que este presentará una superficie lisa, con color homogéneo y libre de cangrejas.

a) Resistencia a la segregación

Esta propiedad está relacionada con la estabilidad del concreto. En un CAC la mezcla debe permanecer homogénea durante y tras el proceso de vaciado sin que ocurra separación de los agregados o exudación.

Una mezcla de concreto sólo puede clasificarse como autocompactante si se cumplen los requisitos para estas tres características indicados a continuación. (Edgar & Tupayachi Venero, 2015, pág. 88)



k) Comportamiento Interno del Concreto Autocompactable

Para lograr la autocompatibilidad se involucra no solamente la alta deformación de la pasta o mortero, sino también la resistencia a la segregación entre los agregados gruesos y el mortero cuando el concreto fluye a través de una zona confinada de barras de refuerzo. Para lograr un CAC es necesario tomar en cuenta lo siguiente: (González Morán, 2006)

1. Limitación en el contenido de agregado.
2. Baja relación agua/finos.
3. Uso de superplastificantes.

La frecuencia de colisión y contacto de las partículas de los agregados, puede incrementar la distancia relativa entre las partículas pequeñas y su esfuerzo interno, el cual tiene importancia en la deformidad del concreto, particularmente cerca de obstáculos. Las investigaciones han demostrado que la energía requerida para el flujo es consumida debido al incremento en el esfuerzo interno, resultado del bloqueo de las partículas de agregado. Resulta ser efectivo para prevenir ciertas particularidades del bloqueo el limitar el contenido de agregado grueso en el concreto, cuyo consumo de energía es particularmente intenso y llevarlo a un nivel relativamente más bajo de lo normal.

El contenido de los agregados es muy bajo en comparación con un concreto convencional que requiere actividades de vibrado y compactación. Por otro lado, la viscosidad de la pasta en el CAC, es un poco alta en relación con varios tipos de concreto debido a su baja relación de agua/finos. Esta característica es efectiva para inhibir la segregación.

Una pasta altamente viscosa es requerida para prevenir el bloqueo de los agregados gruesos cuando el concreto fluye a través de los obstáculos. Cuando el concreto está deformado, la pasta con un alto grado de viscosidad también previene los esfuerzos internos debido a la aproximación de las partículas de agregado grueso. Una alta deformabilidad puede ser lograda únicamente por el empleo de un superplastificante, manteniendo un nivel muy bajo de la relación de agua/finos. (Idalia, Landaverde Martinez, & Romero López, 2005)

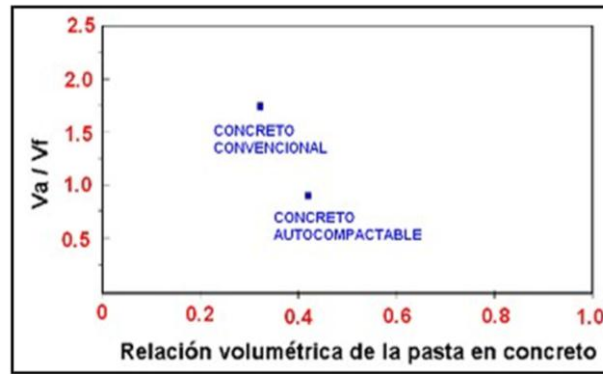


Figura 10 Relación entre el volumen de pasta y la relación agua /finos .(va=volumen de agua ; vf=volumen de finos).

Fuente Journal Of Advanced Concrete Technology, Vol. 1).

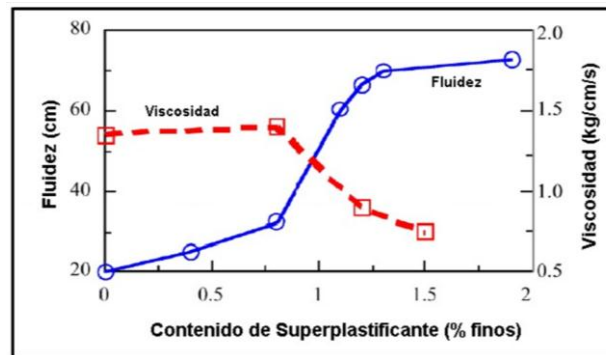


Figura 11 Efecto del contenido de superplastificantes en la fluidez y viscosidad

Fuente Journal Of Advanced Concrete Technology, Vol. 1).

La influencia del agregado grueso en la autocompactabilidad del concreto fresco, especialmente en la fluidez a través de obstáculos, puede ser igual a pesar de la forma de las partículas del agregado, ya que es una relación proporcional al contenido de agregado grueso en un volumen sólido dentro de un concreto (Matsuo 1994), sin embargo, la influencia de la granulometría del agregado grueso ha sido también considerada si el espaciamiento de obstáculos es muy cercano al tamaño máximo del agregado grueso. (Idalia, Landaverde Martinez, & Romero López, 2005)

En el CAC, la fase del mortero proporciona lubricación entre las partículas de agregado grueso y da estabilidad global al concreto. Es decir, sus propiedades requeridas son similares a las del concreto; donde un bajo esfuerzo de fluencia asegura un flujo por su mismo peso y una adecuada viscosidad plástica asegura que el concreto no segregue durante el flujo, ni produzca un flujo demasiado lento para una colocación práctica del concreto.

En los estudios presentados por Okamura se analizó el comportamiento del mortero en la fluidez del concreto fresco; donde se observa que es requerida una alta o suficiente deformabilidad en la fase de mortero para que el concreto pueda ser autocompactado dentro de estructuras con su propio peso, sin actividades de compactación o de vibrado.

Adicionalmente se requiere una modificación de la viscosidad moderada y una deformabilidad de la fase de mortero para que exista un relativo desplazamiento entre el agregado grueso y los obstáculos logrando la inhibición de los factores inadecuados o no requeridos ya que cuando el concreto fluye a través de tales obstáculos, es reducido y luego llevado a una segregación entre los agregados gruesos y el mortero. La importancia del estudio de la viscosidad, fue confirmada por Hashimoto a través de pruebas visuales. (Idalia, Landaverde Martinez, & Romero López, 2005)

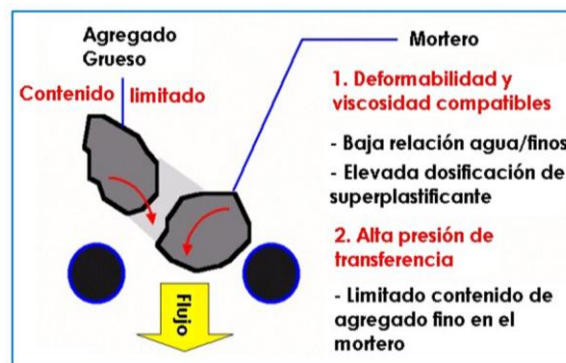


Figura 12: Comportamiento interno de la mezcla

Fuente Ponencia En CAC , Masahiro Ouchi .México 2003.

El mortero también juega un papel importante entre las partículas sólidas y define la propiedad llamada “presión de transferencia”, la cual se presenta cuando las partículas de agregado grueso se aproximan unas a otras y el mortero está entre dichas partículas, esta situación es semejante a una prueba de esfuerzo normal (véase la Figura 13), por lo que el grado de decrecimiento en la deformabilidad de corte en el mortero depende de las características físicas de las partículas sólidas. Pero, se ha encontrado que la relación entre la capacidad de fluir de un mortero y un concreto no depende únicamente de las diferencias debido a las características de las partículas sólidas del mortero, a pesar que por las características del agregado grueso su contenido en concreto es constante.

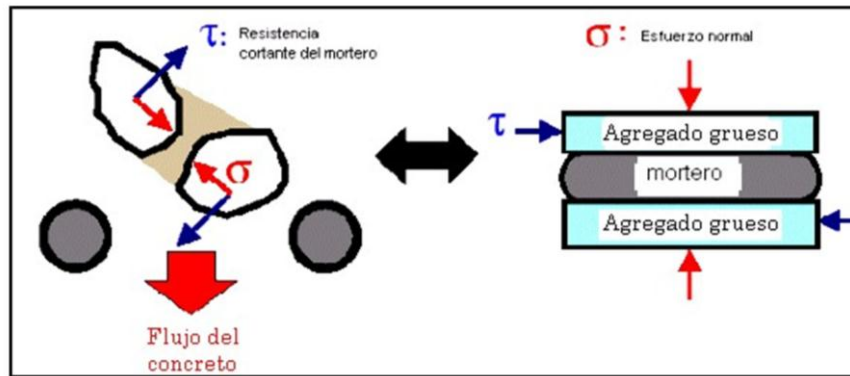


Figura 13 Esfuerzo normal generado en el mortero debido a la proximidad del agregado grueso.

Fuente Ponencia En CAC, Masahiro Ouchi. México 2003.

Un valor de esfuerzo de fluencia entre 20 Pa y 50 Pa y una viscosidad plástica entre 6 Pa-s y 12 Pa-s pueden ser convenientes. (H., Nagataki, Otsuki, & Endo, 1996)

La medida de esfuerzo de tensión y viscosidad plástica requiere un reómetro, y donde no es viable, se usan pruebas más simples disponibles, como alternativas para evaluar la fluidez. La prueba de extensión y la prueba del embudo en V, han sido usadas para evaluar al mortero.

Los estudios de Hawa y colaboradores, han sugerido según la experiencia japonesa, valores entre 250 mm y 280 mm para la prueba de extensión, y de 6 a 10 segundos durante el tiempo de flujo del embudo en V, para producir un CAC exitoso. Chai, quien trabajó con materiales del Reino Unido hizo pensar en valores de la prueba de extensión mínimos de 300 mm, y un tiempo de flujo de embudo en V entre 2 y 10 segundos. (Chal H-W, 1998)

El periodo requerido de retención para las propiedades autocompactables de un concreto variará según las demandas de una aplicación particular, pero un criterio común es tomar un valor designado de dos horas. Las condiciones similares se aplicarán al mortero.

En general, de acuerdo a ensayos realizados muchos de los parámetros importantes que influyen en el comportamiento del CAC pueden ser evaluados por pruebas en morteros. Éstos incluyen la comparación del comportamiento de diferentes superplastificantes, el efecto del tiempo de la adición de superplastificantes durante el proceso de mezclando, la trabajabilidad y características de retención de trabajabilidad de las mezclas. (J. & J, 1999).



1) Ensayos del concreto autocompactable en estado fresco

Se han desarrollado distintos métodos de ensayo para intentar caracterizar las propiedades del CAC. Es importante observar que ninguno de estos ha sido estandarizado y que los ensayos descritos no se han perfeccionado ni son definitivos. Hasta el momento, no hay un único método o combinación de métodos que haya obtenido una aprobación universal y cada uno de ellos tiene sus partidarios. De igual manera, no existe un método único para caracterizar todos los aspectos de trabajabilidad relevantes, de modo que cada diseño de mezcla deberá contrastarse con más de un método de ensayo para evaluar los distintos parámetros de trabajabilidad. (EFNARC F. E., 2002)

Una de las limitaciones más significativas en el uso de CAC, es el establecer pruebas estándares para cuantificar las propiedades físicas. Para ser precisos en términos del CAC, las especificaciones tienen que asegurar la calidad y los estándares uniformes que deberán ser aceptados y usados por todos en la industria de la construcción.

Los métodos de prueba existentes, son descripciones más que procedimientos completamente detallados; diseñados específicamente para el CAC, tomando en cuenta los siguientes aspectos para su aplicación.

- Una dificultad importante a la hora de diseñar estos ensayos está en que se deben evaluar tres propiedades distintas, aunque relacionadas del CAC: su capacidad de relleno (fluidez), su capacidad de paso (sin bloqueos en la armadura) y su resistencia a la segregación (estabilidad). Hasta el momento, ningún ensayo individual puede medir las tres propiedades.
- Es preciso evaluar los tres parámetros de trabajabilidad en el diseño inicial de la mezcla de CAC para garantizar que se satisfacen las propiedades de fluidez, estabilidad y bloqueo. Debe emplearse un ensayo a escala completa para verificar las características autocompactantes del diseño elegido para una aplicación concreta.
- No existe una relación clara entre los resultados de los ensayos y el rendimiento en la obra.
- Hay pocos datos precisos, por lo tanto no se dispone de una guía clara sobre los límites de aceptación.



- Los valores y los métodos de ensayo se declaran para un tamaño máximo de agregado de hasta 19 mm (malla ¾"); es posible que con otros tamaños de agregado sean procedentes valores de ensayo y dimensiones diferentes del equipo.
- Puede que distintos valores de ensayo sean adecuados para el CAC aplicado en elementos verticales y horizontales con características que así lo permitan. De manera similar, distintos valores de ensayo pueden ser adecuados para diferentes densidades de armadura.
- Al ejecutar los ensayos, pueden tomarse muestras del concreto en conformidad con las especificaciones ASTM. Es aconsejable remezclar primero el concreto con una pala, a no ser que el procedimiento indique otra cosa.
- En cuanto al control de calidad en la obra, dos métodos de ensayo suelen bastar para monitorear la calidad de producción.
- Con una calidad constante de las materias primas, puede bastar un único método de ensayo aplicado por un técnico especializado y experimentado.

En la Tabla 10, se presenta una lista de métodos de ensayo para las propiedades de trabajabilidad del CAC.

Tabla 10 *Método de ensayos para las propiedades de trabajabilidad.*

	Método	Propiedad
1	Flujo de asentamiento con cono Abrams (mm)	Capacidad de relleno
2	Flujo de asentamiento T _{50 cm} (s)	Capacidad de relleno
3	Anillo J (mm)	Capacidad de paso
4	Embudo V (s)	Capacidad de relleno
5	Embudo V a T _{5 min} (s)	Resistencia a la segregación
6	Caja en L	Capacidad de paso
7	Caja en U (mm)	Capacidad de paso
8	Caja de relleno (%)	Capacidad de paso
9	Ensayo de estabilidad GTM (%)	Resistencia a la segregación
10	Orimet (s)	Capacidad de relleno

Fuente EFNARC. (European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems.)

En la Tabla 11, se presentan las propiedades de trabajabilidad del CAC y los métodos de ensayo alternativos para cada propiedad. (EFNARC F. E., 2002)

Tabla 11 *Métodos de ensayos para cada propiedad del CAC en estado fresco*



Propiedad	Métodos de ensayo		
	Laboratorio (Diseño de mezcla)	Campo (Control de calidad)	Modificación del ensayo. (Según el tamaño máximo de agregado)
Capacidad de relleno	Flujo de asentamiento (mm)	Flujo de asentamiento (mm)	Ninguno
	Flujo de asentamiento T _{50 cm} (s)	Flujo de asentamiento T _{50 cm} (s)	máximo 20 mm
	Embudo V (s)	Embudo V (s)	
	Orimet (s)	Orimet (s)	
Capacidad de paso	Caja en L	Anillo J (mm)	Distintas aperturas
	Caja en U (mm)		
	Caja de relleno (%)		
Resistencia a la segregación	Ensayo GTM (%)	Ensayo GTM (%)	Ninguno
	Embudo V a T _{5 min} (s)	Embudo V a T _{5 min} (s)	

Fuente EFNARC. (European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems.)

Ha continuación se describirán los procedimientos de ensayos que se realizarán en laboratorio para determinar un concreto autocompactable.

a. Ensayo de flujo de asentamiento y ensayo T50 cm

El flujo de asentamiento se utiliza para evaluar el flujo libre horizontal de CAC en ausencia de obstrucciones. Se desarrolló primero en Japón para su uso en la valoración del concreto sumergido (ASTM C 143). El diámetro del círculo de concreto es una medida de la capacidad de relleno del mismo.

Referente al procedimiento de ensayo, surge la discusión que para que el flujo sea completamente libre, no debe de existir ninguna restricción ni limitación, cosa contraria a lo que realmente sucede en la práctica en un sitio de construcción con concreto, pero el verdadero objetivo de la prueba es entender la consistencia de la mezcla de una bachada a otra. Esta prueba ha tenido una amplia aceptación por todos aquellos que han trabajado con CAC y ha sido generalizado por varias agencias Europeas y Japonesas, por lo que podría ser el primer método de prueba para el CAC a ser publicado por la ASTM Internacional.

Existen dos procedimientos para el llenado del cono Abrams, uno de estos es llenarlo en la posición normal y el otro en posición invertida. La posición del cono invertido puede ser explicada en los documentos Alemanes DafStb Guideline for Self Compacting Concrete, donde muestra que el flujo de revenimiento puede ser un valor alternativo al determinarlo con un molde de cono invertido, resultando un llenado más simplificado. Algunos productores han evaluado la popularidad de ambos procedimientos y el cono invertido es el más comúnmente difundido.

Evaluación del ensayo

Se trata de un procedimiento simple y rápido de ensayo, aunque se precisan dos personas si quiere medirse el período T50 cm. Puede emplearse en la obra, aunque por su tamaño, la placa base de asiento se vuelve difícil de manejar y es ligeramente pesada, así mismo es esencial un terreno nivelado. No presenta indicaciones de la capacidad del concreto para pasar entre la armadura sin bloqueos, pero puede presentar indicios de la resistencia a la segregación. Puede argumentarse que un flujo completamente libre, sin restricciones de ninguna clase, no es representativo, pero el ensayo puede utilizarse para valorar la consistencia del suministro de concreto amasado en planta o en la obra entre carga y carga.

Equipo

- Molde en forma de un cono truncado, con las siguientes dimensiones internas: 200 mm de diámetro en la base, 100 mm de diámetro en la parte superior y una altura de 300 mm,
- Placa de asiento cuadrada de un material rígido no absorbente, de por lo menos 700 mm x 700 mm, marcada con un círculo que indica la ubicación central del cono de asiento, y otro círculo concéntrico de 500 mm de diámetro.
- Pala
- Cinta métrica
- Cronómetro (opcional)

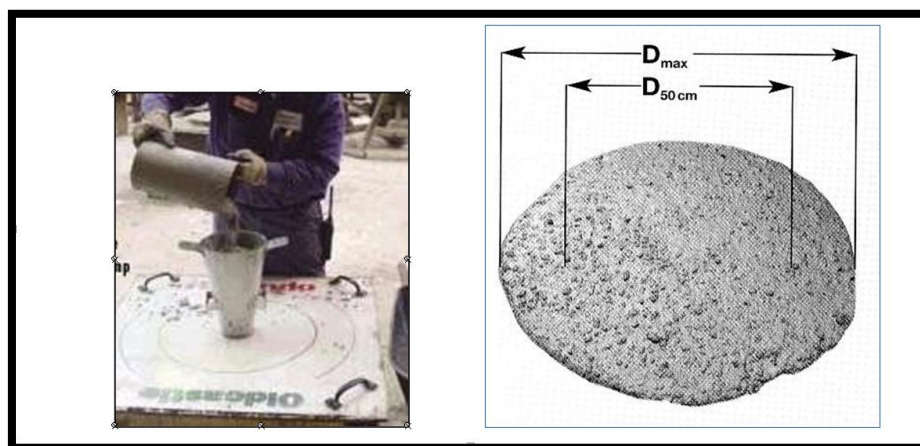


Figura 14: Equipo para ensayo de flujo de asentamiento y resultado de la prueba

Fuente Revista "The concrete Productor" (Julio 2003).



Procedimiento

1. Se requieren 6 litros de concreto para realizar el ensayo, que se toman como muestra de manera normal.
2. Humedezca la placa de asiento y el interior del cono de asentamiento.
3. Coloque la placa de asiento sobre un terreno uniforme y estable y coloque el cono de asiento en el centro de dicha placa y manténgalo sujeto hacia abajo con firmeza.
4. Llene el cono con la pala. No tiene que compactarlo, tan sólo nivelar el concreto de la parte superior del cono con la llana.
5. Quite el concreto sobrante de alrededor de la base del cono.
6. Eleve el cono verticalmente y permita que el concreto fluya hacia el exterior libremente.
7. De manera simultánea, inicie el cronómetro y registre el tiempo que requiere el concreto para alcanzar el círculo de 500 mm. (Éste es el período T50 cm).
8. Mida el diámetro final del concreto en dos direcciones perpendiculares.
9. Calcule el promedio de los dos diámetros medidos. (Se trata del flujo de asentamiento en mm).
10. Observe cualquier borde del mortero o la pasta de cemento sin agregado grueso en el límite del charco de concreto.

Interpretación del resultado

Cuanto mayor sea el valor del flujo de asentamiento, mayor será su capacidad para llenar el encofrado por su propio peso. Se requiere un valor de por lo menos 650 mm para considerar la mezcla como CAC, importante es destacar que actualmente no existe un acuerdo general en cuanto a las tolerancias razonables sobre este parámetro.

El período T50 cm es una indicación secundaria del flujo. La investigación Brite EuRam sugirió que un tiempo de 3-7 segundos es aceptable en aplicaciones de ingeniería civil, mientras que de 2-5 segundos es correcto para las aplicaciones específicas que demanden mayor fluidez. Períodos inferiores indican una excesiva fluidez en la mezcla.

En el caso de una segregación grave la mayor parte del agregado grueso permanecerá en el centro del charco de concreto, y el mortero y la pasta de cemento en la periferia del concreto. En caso de una segregación menor puede producirse un borde de mortero sin agregado grueso



en el límite del charco de concreto. Si no se produce ninguno de estos fenómenos, no es una garantía de que no se producirá segregación, puesto que se trata de un aspecto relacionado con el tiempo y que puede producirse después de un período más extenso.

b. Ensayo caja L

Este ensayo, basado en un diseño japonés para el concreto submarino, ha sido descrito por (U., Billberg, & Van)

El ensayo evalúa la capacidad de fluir del concreto y también la medida en la que está sujeto a bloqueos por parte del armado.

El aparato consiste en una caja de sección rectangular en forma de L, con una sección vertical y otra horizontal, separadas por una puerta móvil, delante de la cual se encajan longitudes verticales de barras de armado, (véase la Figura 17). La sección vertical se llena de concreto, acto seguido se eleva la puerta para permitir que el concreto fluya hacia la sección horizontal, cuando el flujo se ha detenido, la altura del concreto al extremo de la sección horizontal se expresa como una proporción del restante en la sección vertical (H_2/H_1), que indica el alcance del concreto en reposo. Se trata de una medida de la capacidad de paso, o del grado en que se restringe el paso del concreto a través de las barras.

La sección horizontal de la caja puede marcarse a 200 mm y 400 mm de la compuerta y pueden medirse los tiempos necesarios para alcanzar estos puntos. Se conocen como los tiempos T20 y T40 y constituyen una indicación de la capacidad de relleno.

Las secciones de las barras pueden ser de distintos diámetros y pueden espaciarse a diferentes intervalos, de conformidad con las consideraciones de armado normal, puede ser apropiado un tamaño tres veces superior al tamaño máximo de los agregados.

Las barras pueden ajustarse con cualquier espaciado para imponer una prueba mas o menos exigente a la capacidad de paso del concreto.

Evaluación del ensayo

El uso de este ensayo es muy frecuente; es adecuado para el laboratorio y quizá también para el campo. Evalúa la capacidad de relleno y de paso del CAC y cualquier falta grave de estabilidad (segregación) puede detectarse posteriormente al ensayo cerrando e inspeccionando visualmente las fracciones del concreto en su sección horizontal. Lamentablemente, no existe

un acuerdo sobre los materiales y dimensiones, ni sobre la disposición de las barras de armado, de modo que resulta difícil comparar los resultados del ensayo.

Si se miden los tiempos serán necesarios dos operarios y es inevitable un cierto grado de error del operario.

Equipo

- Caja en L de un material rígido no absorbente,
- Llana
- Pala
- Cronómetro

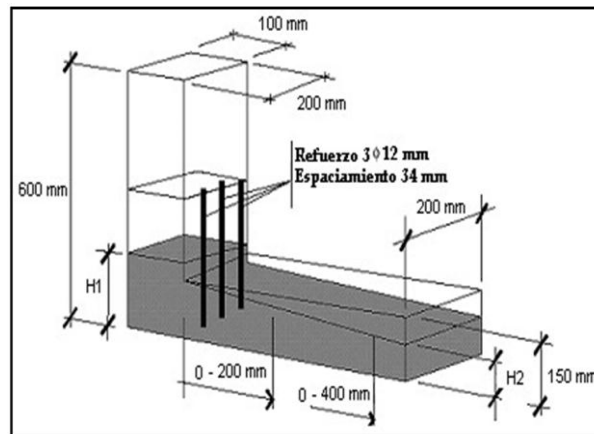


Figura 15: Caja en L.

Fuente: Brite EuRam Proposal N°. BE96-3801 (Junio 2000)

Procedimiento

1. Se precisan unos 14 litros de concreto para realizar el ensayo, tomados como muestra de manera normal.
2. Coloque el aparato sobre terreno firme y uniforme; asegúrese de que la compuerta deslizante puede moverse con libertad y luego ciérrela.
3. Humedezca las superficies interiores del aparato y elimine el agua sobrante.
4. Llene la sección vertical del aparato con la muestra de concreto.
5. Déjelo reposar durante 1 minuto.
6. Eleve la compuerta deslizante y deje que el concreto fluya hacia la sección horizontal.



7. De manera simultánea, active el cronómetro y registre los tiempos que requiere el concreto para alcanzar las marcas de 200 mm y 400 mm.
8. Cuando el concreto deje de fluir, se miden las distancias H1 y H2.
9. Calcule $H2/H1$, la relación de bloqueo.
10. Todo el ensayo ha de realizarse en menos de 5 minutos.

Interpretación del resultado

Si el concreto fluye tan libremente como el agua, en descanso estará horizontal, de modo que $H2/H1 = 1$.

En consecuencia, cuanto más cerca esté el valor de este ensayo a la unidad, mejor será el flujo del concreto. Los investigadores sugieren un valor mínimo aceptable de 0.8. Los períodos T20 y T40 pueden ofrecer una indicación sobre la capacidad de fluir, pero no hay un acuerdo general sobre los valores adecuados. Un bloqueo eficiente del agregado grueso detrás de las barras de refuerzo puede detectarse visualmente.

c. Ensayo caja en U

Este ensayo fue desarrollado por el Technology Research Centre (Centro de Investigación Tecnológica) de Taisei Corporation en Japón. En ocasiones este ensayo se denomina “en forma de caja”. El ensayo se utiliza para medir la capacidad de relleno del CAC. El aparato consiste de un recipiente dividido por una pared intermedia en dos compartimientos (véase la Figura 18).

Se coloca una compuerta deslizante entre ambas secciones. Se instalan barras de refuerzo que presentan un diámetro nominal de 12.5 mm en la compuerta, con espacios entre ejes de 50 mm. De este modo se crea un espaciado libre de 35 mm entre las barras. La sección del lado izquierdo se llena con aproximadamente 20 litros de concreto y a continuación se eleva la compuerta y el concreto fluye hacia arriba hasta la otra sección. Se mide la altura del concreto en ambas secciones.

Nota: La Sociedad Japonesa de Ingenieros Civiles recomienda un diseño alternativo al de esta caja, pero basado en el mismo principio.

Evaluación del ensayo

Se trata de un ensayo fácil de realizar, aunque el equipo puede resultar difícil de fabricar. Ofrece una buena evaluación directa de la capacidad de relleno (esto es, literalmente, lo que

tiene que hacer el concreto) modificada por un requisito sin medir de la capacidad de paso. El debate aún es vigente respecto a si el espacio de 35 mm entre las secciones de armadura puede considerarse demasiado estrecho y si una altura de llenado inferior a 30 cm sigue siendo aceptable.

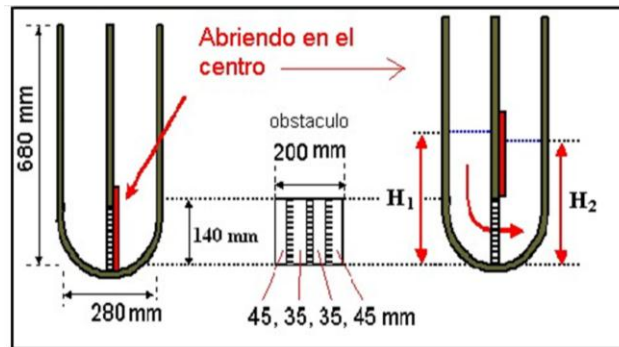


Figura 16: Caja en U.

Fuente: Ponencia en CAC, Masahiro Ouchi. Mexico 2003.

Equipo

- Caja en U de un material rígido no absorbente, (véase la Figura 27).
- Llana
- Pala
- Cronómetro

Procedimiento

1. Se precisan unos 20 litros de concreto para realizar el ensayo, tomados como muestra de manera normal.
2. Coloque el aparato sobre terreno firme y uniforme; asegúrese de que la compuerta deslizante puede moverse con libertad y luego ciérrela.
3. Humedezca las superficies interiores del aparato y elimine el agua sobrante.
4. Llene una sección del aparato con la muestra de concreto.
5. Déjelo reposar durante 1 minuto.
6. Eleve la compuerta deslizante y deje que el concreto fluya hacia el otro compartimiento.
7. Después de dejar reposar el concreto, mida la altura del mismo en dos puntos en el compartimiento donde se depositó inicialmente el concreto, y calcule la media (H_1). De igual forma mida también la altura en el otro compartimiento (H_2).
8. Calcule $H_1 - H_2$, la altura de llenado.



9. Todo el ensayo ha de realizarse en menos de 5 minutos.

Interpretación del resultado

Si el concreto fluye tan libremente como el agua, en descanso estará horizontal, de modo que $H1 - H2 = 0$.

En consecuencia, cuanto más cercano a cero sea el valor de este ensayo, la “altura de llenado”, mejor será la capacidad de relleno y paso del concreto.

d. Ensayo embudo V y Ensayo de embudo V a T5 min

El ensayo se desarrolló en Japón y fue utilizado por Ozawa et al. El equipamiento consiste en un embudo en forma de V, (véase la Figura 19). Un tipo alternativo de embudo V, es el embudo O, con una sección circular, también se utiliza en Japón.

El ensayo de embudo V descrito se utiliza para determinar la capacidad de relleno (fluidez) del concreto con un tamaño de agregado máximo de 20 mm. El embudo se llena con aproximadamente 12 litros de concreto y se mide el tiempo necesario para fluir a través del aparato.

Después del proceso, el embudo puede volver a llenarse con concreto, que se deja reposar durante 5 minutos. Si el concreto muestra segregación, entonces el tiempo de flujo aumentará significativamente.

Evaluación del ensayo

Aunque el ensayo se ha diseñado para medir la fluidez, el resultado se ve afectado por propiedades del concreto distintas a las del flujo. La forma de cono invertido consigue que cualquier tendencia del concreto a bloquearse se refleje en el resultado, cuando por ejemplo, hay demasiado agregado grueso. Un tiempo de flujo elevado también puede asociarse con una escasa deformabilidad debido a una alta viscosidad de la pasta, y con una alta fricción entre las partículas.

Aunque el aparato es sencillo, el efecto del ángulo del embudo y el efecto del confinamiento sobre el flujo del concreto no están claros.

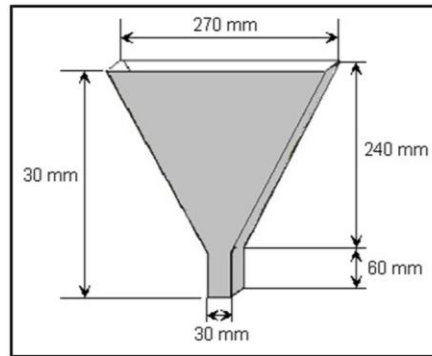


Figura 17: Embudo en V.

Fuente: Ponencia en CAC, Masahiro Ouchi. México 2003

Equipo

- Embudo en V.
- Balde de 12 litros
- Llana
- Pala
- Cronómetro

Procedimiento para el tiempo de flujo

1. Se requieren unos 12 litros de concreto para realizar el ensayo, tomados como muestra de manera normal.
2. Fije de manera firme el embudo V sobre el suelo.
3. Humedezca las superficies interiores del embudo.
4. Mantenga la trampilla abierta para permitir el drenaje del agua sobrante.
5. Cierre la trampilla y coloque un balde debajo.
6. Llene completamente el aparato con concreto sin compactarlo o presionarlo, sólo tiene que nivelar el concreto de la parte superior con la llana.
7. Abra la trampilla 10 segundos después del llenado y permita que el concreto salga por su propio peso. De manera simultánea, inicie el cronómetro y registre el tiempo.
8. Active el cronómetro al abrir la trampilla y registre el tiempo hasta que se complete la descarga (el tiempo de flujo). Se considera que se ha completado cuando se ve la luz desde la parte superior a través del embudo.
9. El ensayo completo debe realizarse en 5 minutos.



Procedimiento del tiempo de flujo en T5 min

1. No limpie ni humedezca de nuevo las superficies interiores del embudo.
2. Cierre la trampilla y vuelva a llenar el embudo V después de medir el tiempo de flujo.
3. Llene el aparato completamente con concreto sin compactarlo o presionarlo, sólo tiene que nivelar el concreto de la parte superior con la llana.
4. Abra la trampilla 5 minutos después del segundo llenado del embudo y deje que el concreto fluya hacia el exterior por su propio peso.
5. De manera simultánea, active el cronómetro al abrir la trampilla y registre el período de la descarga hasta su conclusión (el tiempo de flujo a T5 min). Se considera que ha concluido cuando se ve la luz desde la parte superior a través del embudo.

Interpretación del resultado

Este ensayo mide la facilidad para fluir del concreto, un tiempo de flujo más breve indica una mayor fluidez. Para el CAC, un período de flujo de 10 segundos se considera adecuado. La forma de cono invertido restringe el flujo y los tiempos de flujo prolongados pueden indicar la susceptibilidad de la mezcla al bloqueo.

Después de 5 minutos de reposo, la segregación del concreto mostrará un flujo menos continuo con un aumento en el período de flujo.

e. Ensayo de estabilidad GTM

Este ensayo ha sido desarrollado por el contratista francés GTM, para evaluar la resistencia a la segregación (estabilidad). Consiste en tomar una muestra de 10 litros de concreto, dejarla reposar durante un tiempo para permitir que se produzca cualquier segregación interna y luego se vierte la mitad de la misma sobre un tamiz de abertura cuadrada de 4.75 mm (malla N° 4) y 350 mm de diámetro, que se encuentra sobre un fondo de tamiz encima de una báscula. Después de dos minutos, el mortero que ha pasado a través del tamiz se pesa y expresa como porcentaje de la muestra original encima del tamiz.

Evaluación de la prueba

Los ingenieros que han utilizado este ensayo comentan que se trata de un modo muy efectivo para evaluar la estabilidad del CAC. No obstante, aunque es un ensayo sencillo no es rápido



y requiere una báscula precisa, de modo que quizá no resulte adecuado para utilizarse en obra.

Equipo

- Balde de 10 litros con tapa.
- Tamiz de 4.75 mm (N° 4) con un diámetro de 350 mm (12”).
- Fondo de tamiz.
- Balanza, precisión de 20 g, capacidad mínima de 20 kg.
- Cronómetro.

Procedimiento

1. Se requieren unos 10 litros de concreto para realizar el ensayo tomado de manera normal.
2. Colocar el concreto en un balde y dejarlo reposar durante 15 minutos cubierto con una tapa para impedir la evaporación.
3. Determine la masa del fondo de tamiz vacío.
4. Inspeccione la superficie de concreto por si hay agua de sangrado y anótelo.
5. Vierta los dos litros superiores o aproximadamente 4.8 ± 0.2 kg sólo de la muestra de concreto dentro de un contenedor de vertido.
6. Determine la masa del contenedor de vertido lleno.
7. Vierta todo el concreto del contenedor de vertido en el tamiz desde una altura de 500 mm, en un movimiento continuado y uniforme.
8. Pese el contenedor de vertido vacío (con el residuo de concreto que no pudo ser vertido).
9. Calcule la masa del concreto vertido sobre el tamiz, M_a (es decir, la diferencia entre el peso lleno y vacío).
10. Permita que la fracción de mortero de la muestra fluya a través del tamiz en dirección al fondo de tamiz durante un período de 2 minutos.
11. Quite el tamiz y determine la masa del fondo del tamiz “lleno”. Calcule la masa de la muestra que traspasa el tamiz M_b , restando la masa del fondo de tamiz vacío a la masa del recipiente de tamiz lleno.
12. Calcule el porcentaje de la muestra que traspasa el tamiz, la relación de segregación es igual a: $(M_b/M_a) \times 100$.



Interpretación del resultado

Las observaciones empíricas sugieren que si el porcentaje de mortero que ha traspasado el tamiz (relación de segregación), oscila entre el 5% y el 15% del peso de la muestra, la resistencia a la segregación se considera satisfactoria. Por debajo del 5% es excesiva, con lo que probablemente afectará al acabado superficial. Por encima de un 15%, en particular por encima de un 30%, existe una fuerte probabilidad de segregación.

2.2.3. Ensayos de concreto endurecido

Estos ensayos se efectúan para determinar la resistencia y/u otros parámetros de calidad mediante pruebas estándar efectuadas a probetas de concreto fraguadas o a especímenes extraídos de un elemento de concreto, los cuales pueden ser obtenidos en obra o en alguna evaluación realizada en laboratorio. Se clasifican en:

2.2.3.1 Ensayos Destructivos

Son pruebas realizadas sobre testigos de concreto que permiten determinar, generalmente de forma directa, ciertas propiedades inherentes al material, produciendo en ellos una alteración irreversible de su geometría dimensional y/o de su composición química. Se tiene, por ejemplo:

- Ensayo de resistencia a compresión
- Resistencia a la Flexión y Tensión
- Ensayo a flexo tracción
- Ensayo a tracción indirecta
- Ensayo petrográfico
- Ensayo de contenido de cloruros (si se analiza una sección de concreto)
- Ensayo del grado de carbonatación (si se analiza una sección de concreto)
- Ensayo de permeabilidad
- Ensayo de humedad
- Ensayo de resistencia a la abrasión

2.2.3.2 Ensayos no destructivos

Son métodos que permiten inspeccionar o comprobar determinadas propiedades del concreto endurecido, sin afectar de forma permanente sus dimensiones, características de servicio, propiedades físicas, químicas o mecánicas.



Limitaciones

- Los ensayos no destructivos proveen datos no muy exactos acerca del estado de la variable a evaluar a comparación de los ensayos destructivos, por lo cual es conveniente complementar los resultados de ensayos no destructivos con datos provenientes de ensayos destructivos.

Ventajas

- Suelen ser más económico ya que no implican la destrucción del elemento evaluado
- algunos de ellos permiten hacer más de una repetición.

La aplicación de los métodos de ensayos no destructivos se encuentra resumida en los siguientes grupos.

- a) **Defectología:** Detección de discontinuidades, deterioro por agentes ambientales, actividad corrosiva del acero de refuerzo, etc.
- b) **Caracterización:** Evaluación de características químicas, estructurales, mecánicas, físicas, etc.
- c) **Metrología:** Control de espesores, medidas de espesores de recubrimiento, niveles de llenado, etc.

Hay distintos métodos de ensayos no destructivos para concreto, cada uno de ellos depende del parámetro que se desee controlar y las condiciones bajo las cuales se realice el ensayo, entre estos métodos tenemos:

- Ensayo de ultrasonido
- Ensayo de líquidos penetrantes
- Ensayo con esclerómetro
- Ensayo de partículas magnetizables
- Ensayo radiográfico
- Ensayo de emisiones acústicas
- Ensayo de impacto acústico
- Prueba de carga
- Ensayo por absorción o difusión de isótopos radiactivos
- Método de madurez



2.2.3.3 Ensayos de Concreto Endurecido que se evalúan en la presente investigación

Los ensayos de concreto endurecido que son de especial interés para la realización del desarrollo de esta tesis son: El ensayo de resistencia de compresión” Ensayo Destructivo” y El ensayo de velocidad de pulso ultrasónico pundit PL-200” Ensayo no destructivo”.

a. Ensayo de resistencia a la compresión

Normas:

- ASTM C39 - Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto
- NTP 339.034 - Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas

Definición:

La resistencia mecánica del concreto endurecido ha sido tradicionalmente la propiedad más identificada con su comportamiento como material de construcción, lo cual se ha considerado atribuible a tres principales razones:

1. La resistencia mecánica (a compresión o tensión) tiene influencia directa en la capacidad de carga de las estructuras.
2. Es la propiedad más fácilmente determinable en el concreto endurecido.
3. Los resultados de su determinación pueden ser utilizados como datos índices de otras propiedades del concreto. (Angel, 2009)

En términos generales, la resistencia mecánica que potencialmente puede desarrollar el concreto depende de la resistencia individual de los agregados, la pasta de cemento endurecida, y de la adherencia que se produce entre ambos materiales. En la práctica, habría que añadir a estos factores el grado de densificación logrado en la mezcla de concreto en la estructura ya que, como ocurre con otros materiales, la proporción de vacíos en el concreto endurecido tiene un efecto decisivo en su resistencia mecánica y finalmente la resistencia del conjunto es dictada por la que resulte más débil de las tres. (Fava, 2003)

Generalmente la resistencia intrínseca de los agregados de calidad normal es superior a la que se requiere en el concreto convencional, de manera que el caso más común es que la resistencia del concreto sea gobernada por la pasta de cemento y/o por el grado de adherencia en el contacto pasta- agregado.

Importancia:

La determinación de la resistencia a la compresión del concreto se efectúa mediante el ensayo hasta la ruptura de especímenes representativos, con tres finalidades principalmente:

1. comprobar si las previsiones que se hacen al diseñar una mezcla de concreto son adecuadas para cumplir con la resistencia de proyecto
2. controlar la uniformidad de las resistencias y ajustarlas al nivel requerido durante la producción del concreto
3. verificar la resistencia del concreto como se encuentra en la estructura. (Fava, 2003)

En la Tabla 12 se incluyen las especificaciones, métodos de prueba y prácticas ASTM relacionadas con la determinación de la resistencia a compresión del concreto en especímenes representativos.

Tabla 12: *Condiciones y procedimientos normalizados para la deformación de la resistencia a compresión del concreto en especímenes representativos*

ESPECIFICACIONES, MÉTODOS DE PRUEBA Y PRÁCTICAS USUALES	ASTM
Para especímenes de laboratorio:	
-Elaboración y curado en el laboratorio de especímenes de concreto de prueba. (Práctica).	C 192
Para especímenes de obra:	
-Elaboración y curado en el campo, de especímenes de concreto de prueba. (Práctica)	C 31
Para especímenes de laboratorio y obra:	
-Elaboración, curado acelerado y ensayo de especímenes de concreto a compresión. (Método de prueba)	C 684
Para especímenes obtenidos en la estructura :	
-Resistencia a compresión de cilindros de concretos colados en el lugar, en moldes cilíndricos. (Método de prueba).	C 873
-Obtención y ensayo de núcleos barrenados y prismas cortados de concreto. (Método de prueba)	C 42
Para uso común en todos los casos:	
-Moldes para colar verticalmente cilindros de concreto de prueba. (Especificación)	C 470
-Gabinetes y cuartos húmedos, y tanques de almacenamiento de agua, para ensayos de cemento y concreto hidráulicos. (Especificación)	C 511
-Cabeceo de especímenes cilíndricos de concreto.	C 617
-Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto. (Método de prueba)	C 39
-Verificación de la carga en máquinas de ensayo (Práctica)	E 4

Fuente: *Manual De Tecnología Del Concreto Tomo III. CFE (Comisión Federal De Electricidad)*

Se debe mencionar además que los especímenes representativos pueden ser elaborados durante la fabricación del concreto, mediante la obtención de muestras del concreto en estado fresco, o bien pueden ser obtenidos del concreto ya endurecido en la estructura.

Para extraer los especímenes de la estructura existen dos procedimientos: el método tradicional que consiste en extraer especímenes cilíndricos (núcleos) por barrenación o especímenes

prismáticos (vigas) mediante el corte con sierra, y el método alternativo que es menos usual (porque su empleo se restringe a elementos planos horizontales) en el que se dejan moldes cilíndricos especiales sujetos a la cimbra de fondo.

En la (Tabla 13) se presenta un resumen de las características dimensionales requeridas para los especímenes cilíndricos en los que se determinan la resistencia a compresión del concreto.

Tabla 13: *Requisitos dimensiones de los especímenes cilíndricos especificados para determinar la resistencia a compresión del concreto, conforme a procedimientos normalizados*

CONCEPTO	Especímenes del concreto fresco		Especímenes extraídos de la estructura	
	En el laboratorio	En el campo	Por barrenación	Colados en la estructura
Norma Aplicable:				
ASTM	C 192	C 31	C 42	C 873
Diámetro (d):				
Requisito general	$d \geq 3$ TMA y d^* ,	$d \geq 3$ TMA	$d \geq 2$ TMA	$d \geq 3$ TMA
Mínimo permisible	(2")	(6")	(2")	(4")
Altura (h):				
Requisito general	$h = 2d$	$h = 2d$	$h = \begin{cases} \geq d \\ \leq 2d \end{cases}$	$h = \begin{cases} \geq d \\ \leq 2d \end{cases}$
Mínimo permisible	(4")	(12")	(2")	(4")
Relación de Esbeltez:				
Requisito general	$\frac{h}{d} \leq 2$	$\frac{h}{d} \leq 2$	$\frac{h}{a} = \begin{cases} \geq 1 \\ \leq 2 \end{cases}$	$\frac{h}{a} = \begin{cases} \geq 1 \\ \leq 2 \end{cases}$
Mínimo permisible	2	2	1	1

Fuente *Manual De Tecnología Del Concreto Tomo III CFE (Comisión Federal de Electricidad)*

b. Ensayo de velocidad de pulso ultrasónico

Normas:

- ASTM C597-09 - Método de prueba estándar para determinar la velocidad de pulso a través del concreto.
- NTP 339.237 –Método de ensayo para determinar la velocidad de pulso a través del concreto.

Definición:

Este método de ensayo consiste en determinar la velocidad de pulso ultrasónico a partir de la generación de pulsos de ondas de tensión longitudinal emitidos por un transductor electroacústico que se mantiene en contacto con la superficie del concreto bajo el ensayo. Después de recorrer a través de la muestra cilíndrica del concreto, estos pulsos son recibidos y convertidos en energía eléctrica por un segundo transductor situado a una distancia (L) de la transmisión del primer transductor; el tiempo de tránsito (T) se mide electrónicamente y la velocidad del pulso ultrasónico (V) se puede establecer dividiendo L entre T.

El parámetro obtenido (V) está asociado a las propiedades del concreto y su densidad, por lo mismo permite predecir el estado de calidad del mismo en estado endurecido; se expresa en metros por segundos (m/s). (ASTM C597-NTP339.237, 2012)

La velocidad de pulso V, de las ondas longitudinales de esfuerzos una masa de concreto, se relaciona con las propiedades elásticas y con la densidad, de acuerdo a la relación siguiente:

$$V = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad (1)$$

Donde:

- E = módulo de elasticidad dinámico
- μ = Relación de poisson dinámica, y
- ρ = densidad

Importancia

Este método se puede usar principalmente para pruebas de control de calidad e inspección in situ en edificaciones de concreto; como indica la ficha técnica de un proveedor del equipo: “El sistema es ideal para revisar la uniformidad del hormigón, cavidades, grietas, defectos, espesor de losa y detección de huecos, conductos y grietas como también para la determinación de resistencias”. Este método como ensayo no destructivo resulta útil por su simplicidad, versatilidad y repetitividad. (ASTM C597-NTP339.237, 2012).

En el grafico se muestra el procedimiento para la medición directa de ensayos de velocidad de pulso , tiempo de transmisión y resistencia del concreto.

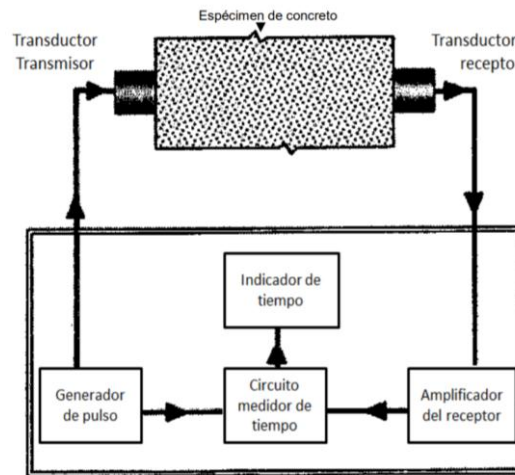


Figura 18: Instrumento de ensayo de velocidad de pulso ultrasónico de los procedimientos para determinar la resistencia in situ del concreto.

Fuente Estudio Experimental para Determinar Patrones De Correlación Entre La Resistencia a Compresión y La Velocidad De Pulso Ultrasónico En Concreto Simple (Gabriela valencia Elguera, Miguel Ángel Ibarra Navarro).

- **Generador de pulso eléctrico – transductor transmisor**

El generador de pulso consiste en un circuito para producir pulsaciones de voltaje, el transductor transforma estas pulsaciones en ondas intermitentes de energía mecánica, las cuales deben tener una frecuencia de resonancia con intervalo de 20 a 100 kHz. El generador de pulso debe producir las pulsaciones en forma repetitiva con un valor no menor de 3 pulsos por segundo y para iniciar la medición del tiempo del circuito producirá un pulso de disparo. (ASTM C597-NTP339.237, 2012)

- **El amplificador – transductor receptor**

El voltaje generado debe ser amplificado tanto como sea necesario, para producir pulsaciones que se detecten en el circuito medidor de tiempo. El amplificador tendrá una respuesta clara entre la mitad y tres veces la frecuencia de resonancia del transductor receptor. (ASTM C597-NTP339.237, 2012)

- **Circuito de medición de tiempo**

El circuito de medición de tiempo y los pulsos de disparo asociados deberán estar en condiciones de ofrecer una precisión de tiempo de medición de al menos 1 μ s y deben ser insensibles a una temperatura de funcionamiento que oscile entre 0 y 40 °C. La medición debe iniciarse mediante una descarga de voltaje procedente del generador de pulsos, y operar repetitivamente con la misma frecuencia. El circuito medidor de tiempo debe estar provisto de

una salida acoplada a una unidad de respuesta de tiempo, esta se utiliza para determinar el tiempo de tránsito que se muestra en la pantalla del equipo. (ASTM C597-NTP339.237, 2012)

Equipo

Para el desarrollo de este tema de investigación nos limitamos al uso del equipo Pundit Lab 200 (PL-200); velocidad de pulso ultrasónico.



Figura 19: Equipo Pundit Lab (PL-200)



Figura 20: Partes del PL-200

Las partes del mismo están constituidas por las siguientes características:

A. Pantalla táctil Pundit:

Presenta una unidad de pantalla táctil de nueva generación y de diseño protegido diseñada especialmente para duros entornos in situ; presenta una pantalla de alta resolución de 7" y con la imagen nítida de 800*480 pixeles, permitiendo el mejor análisis posible de las formas de

onda medidas. Memoria flash de 8 GB permitiendo un almacenamiento de hasta 100'000 escaneados A . (SA M. D., 2014)

B. Batería

La batería es fabricada de polímero de litio de 3.6v. 14.0 Ah. Teniendo un periodo de carga completa menor a 9 horas sin estar funcionando el instrumento , para usar un cargador rápido para una batería de reserva se requerirán menos de 4 horas para tener una carga completa. (SA M. D., 2014)

C. Transductores de 54 khz.

Los transductores, emisor y receptor, pueden ser construidos con elementos piezoeléctricos, magneto restrictivo, u otro material sensible al voltaje, ellos pueden ser: cuarzo, sulfato de litio, titanito de bario, metaniobato de bario y zirconato titanito de plomo. (SA M. D., 2014)

La selección del transductor correcto depende del tamaño de áridos/grano y de las dimensiones del objeto de ensayo.

Ancho de banda y tamaño de apertura	Límites del objeto de ensayo			Aplicaciones
	Longitud de onda*	Tamaño de grano máximo	Dimensión lateral mínima	
Transductores de onda P				
24 kHz Ø50 mm x 95 mm 	154 mm	≈ 77 mm	154 mm	» Hormigón: áridos muy gruesos y objetos grandes (varios metros)
54 kHz Ø50 mm x 46 mm 	68.5 mm	≈ 34 mm	69 mm	» Hormigón » Madera » Roca
150 kHz Ø28 mm x 46 mm 	24.7 mm	≈ 12 mm	25 mm	» Material de grano fino » Ladrillos refractarios » Roca (núcleos NX)
250 kHz Ø28 mm x 46 mm 	14.8 mm	≈ 7 mm	15 mm	» Material de grano fino » Ladrillos refractarios » Roca » Uso en objetos pequeños
500 kHz Ø57 mm x 32 mm 	7.4 mm	≈ 3 mm	7 mm	» Material de grano fino » Ladrillos refractarios » Roca » Uso en objetos pequeños
54 kHz Ø50 mm x 100 mm 	68.5 mm	≈ 34 mm	69 mm	» Hormigón: superficies rugosas y redondeadas (sin necesidad de acoplador) » Madera » Roca (lugares de Patrimonio)
Transductor de onda transversal				
250 kHz Ø41 mm x 32 mm 	10 mm	≈ 5 mm	Mayor que el espesor del objeto.	» Usado para la determinación del módulo de elasticidad » Hormigón, madera, roca (sólo muestras pequeñas) » Requiere acoplador especial para ondas transversales

*Se ha usado una velocidad de pulso de 3700 m/s (onda longitudinal) y de 2500 m/s (onda transversal) para computar las longitudes de onda.

Figura 21: Tipos de transductores para el PL-200



Para la realización de los ensayos del concreto simple y concreto autocompactable usamos el transductor de 54kHz de acuerdo a las características del mismo cumple los parámetros para diferentes tipos de hormigones; así también como el TMN de 3/4" cumpliendo con las limitaciones del equipo.

D. Cables BNC de 1.5 m.

Estos cables se usan para conectar los transductores con el equipo PL-200. Son cables coaxiales blindados de baja capacitancia.

E. Agente de acoplamiento

Su función es eliminar el aire entre la superficie de contacto de los transductores y el concreto, ya que las frecuencias que se aplican en el concreto no se transmiten en el aire, de esta manera se asegura la transferencia eficaz de la energía entre el concreto y los transductores. (SA M. D., 2014)

Para este fin se pueden utilizar materiales viscosos tales como: vaselina, gel soluble en agua, goma moldeable, petróleo en gel o grasas; en algunas referencias se menciona que incluso el agua puede cumplir este papel, de acuerdo al estado de las superficies en contacto, para esta tesis se usó al gel de ultrasónico como un agente de acoplamiento.

F. Varilla de calibración

Es una barra de material resistente del cual se conoce el tiempo de tránsito de las ondas longitudinales. Dicho tiempo de tránsito deberá estar marcado permanentemente en la barra como referencia. (ASTM C597-NTP339.237, 2012)

G. Cable adaptador BNC.

El cable adaptador BNC sirve para conectar el equipo PL-200 con los cables BNC de 1.5m.

H. Fuente de alimentación

La fuente de alimentación es el cargador que sirve como alimentador de energía para el equipo.

• Especímenes para ensayo

Se puede aplicar en las presentaciones usuales del concreto en estado endurecido (testigos, elementos estructurales, etc.), siempre que se tome en cuenta los siguientes criterios para la selección de toma de puntos de evaluación:

1. Antes de realizar el ensayo es necesario efectuar un reconocimiento visual de los puntos que se van a evaluar, con el fin de evaluar la rugosidad de la superficie, la presencia de huecos, fisuras u otras características que podrían afectar la prueba.
2. Cuando la superficie es rugosa es necesario lijarla y nivelarla, con el fin de evitar que los transductores obtengan una señal defectuosa.

3. Es conveniente evitar la presencia cercana de las barras de acero de refuerzo dado que influirá en la medición. (ASTM C597-NTP339.237, 2012)
4. Al hacer la evaluación en una estructura el aspecto más importante que se debe considerar es el número de elementos ensayados, ya que entre mayor sea la muestra se tendrán más elementos de comparación para poder obtener un juicio acerca de la calidad del concreto.

Considerando las recomendaciones anteriores, la selección de los puntos de evaluación debe hacerse de preferencia en forma aleatoria a fin de obtener una muestra representativa de resultados.

- **Tipos de medición**

Existen tres técnicas de medición para realizar el ensayo de ultrasonido:

- a) **Medición directa:**

se aplica en caras opuestas, proporciona la máxima sensibilidad y provee una longitud de trayectoria bien definida. Siempre que sea posible es conveniente aplicar esta técnica de medición.

- b) **Medición indirecta:**

se aplica en la misma cara (considerando que la otra cara es inaccesible), es la menos satisfactoria, ya que además de su relativa sensibilidad, nos da medidas de la velocidad de pulso que usualmente tienen la influencia de la capa de concreto cercana a la superficie, que no serán representativas del concreto en estratos más profundos. Además la longitud de trayectoria está menos definida y no resulta satisfactorio tomarla como la distancia de centro a centro de los transductores (existen algunos métodos para corregir los resultados). (ASTM C597-NTP339.237, 2012)

- c) **Medición semi-directa:**

Si por determinadas circunstancias el concreto tiene que examinarse mediante el uso de trayectorias diagonales (en caras adyacentes), es posible aplicar esta medición, tomando en cuenta que la distancia a medir será en diagonal, aplicando el teorema de Pitágoras entre los centros de los transductores. (Gabriela & Angel, 2013)

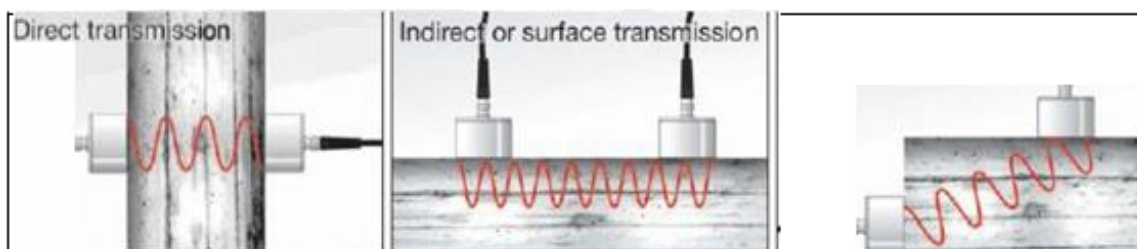


Figura 22: Técnicas de medición para aplicar el ensayo de ultrasonido del concreto.

Fuente Estudio Experimental para Determinar Patrones De Correlación Entre La Resistencia a Compresión y La Velocidad De Pulso Ultrasónico En Concreto Simple (Gabriela valencia Elguera, Miguel Ángel Ibarra Navarro).

Procedimiento de ensayo

1) Control de funcionamiento del equipo con barra calibradora

Aplicar agente de acoplamiento en los extremos de la barra calibradora y las superficies de contacto de los transductores, una vez que el equipo está energizado, presionar los transductores con firmeza contra los extremos de la barra (medición directa) hasta que el tiempo de tránsito se muestre estable en la pantalla.

2) Ajuste a “tiempo cero”

En la misma operación de control de funcionamiento se debe realizar el ajuste al cero de referencia, esto sucede cuando el tiempo de tránsito mostrado se hace coincidir con el valor marcado en la barra calibradora.

Durante operación continua

del instrumento se debe verificar el ajuste a “tiempo cero”, principalmente cada vez que el transductor y/o cables de conexión se cambien.

Si el tiempo mostrado no puede ser ajustado con el tiempo marcado en la barra es mejor no utilizar el equipo y verificar con el fabricante del mismo la correcta calibración. (Gabriela & Angel, 2013)

3) Determinación del tiempo de tránsito (medición directa)

Para realizar el ensayo en probetas cilíndricas o en un elemento de concreto de una construcción existente, inicialmente verifique la calidad de la superficie del punto de evaluación, asegure la suficiente cantidad del agente de acoplamiento y luego ubique los transductores directamente opuestos entre sí en las caras del espécimen de evaluación. (ASTM C597-NTP339.237, 2012)



Figura 23: Técnica de medición directa sobre la probeta cilíndrica de concreto.



Fuente: Estudio Experimental para Determinar Patrones De Correlación Entre La Resistencia a Compresión y La Velocidad De Pulso Ultrasónico En Concreto Simple (Gabriela valencia Elguera, Miguel Ángel Ibarra Navarro).

El tiempo de tránsito se medirá electrónicamente al activar el mecanismo de lectura en el equipo mientras presiona los transductores contra la superficie del concreto bajo prueba, registre el tiempo que figura en la pantalla cuando este se estabilice.

La longitud de camino es la distancia en línea recta entre los centros de las caras de los transductores, se debe obtener de la forma más precisa dado que la exactitud de la determinación de la velocidad de pulso ultrasónico se rige también por la precisión de esta, considerar que al usar el método de medición directa la transferencia de energía entre los transductores está en su máximo potencial.

Es conveniente repetir las mediciones en el punto de evaluación, estas deben hacerse en el mismo lugar para reducir al mínimo las lecturas erróneas debido a acoplamientos pobres. Finalmente, la velocidad de pulso ultrasónico (V) se calcula dividiendo la longitud de camino (L) entre el tiempo de tránsito del pulso ultrasónico (T). (ASTM C597-NTP339.237, 2012)

Ventajas y desventajas del ensayo

Ventajas

- Este método de ensayo es aplicable para evaluar de forma rápida y sencilla.
- Para determinar la uniformidad y calidad relativa del concreto simple y concreto autocompactable.
- una ventaja importante es su repetitividad infinita de toma de datos.
- La precisión de la medición depende en gran parte de la capacidad del operador para determinar con exactitud la distancia entre los transductores y del estado de los equipos para medir precisamente el tiempo de tránsito del pulso.

Desventajas

- Una desventaja a señalar es que los resultados son muy sensibles a: diferentes condiciones de humedad, presencia de otros elementos cercanos de material distinto al concreto, longitud del recorrido de la onda y calidad de acoplamiento entre la superficie del elemento evaluado y la de los transductores.
- La precisión de la medición depende en gran parte de la capacidad del operador para determinar con exactitud la distancia entre los transductores y del estado de los equipos para medir precisamente el tiempo de tránsito del pulso.



Ventajas y desventajas del equipo Pundit Lab 200 (PL-200)

Ventajas

- como ventaja podemos mencionar su poco peso.
- Es de fácil traslado, fácil uso y manejo.
- La facilidad de poder almacenar informacion por medio de carpetas , fecha y hora del ensayo , asi como poner observaciones de los ensayos realizados si es necesario.
- Mide por exploración por líneas para la evaluación de uniformidad de hormigón: Evalúa la uniformidad del hormigón y detecta grietas así como otros defectos. Las velocidades de pulso son visualizadas en forma de línea. Determina la profundidad de grietas verticales según BS 1881.
- Mide la velocidad de pulso: Calcula la velocidad de pulso del material ensayado.
- Determina la resistencia a la compresión usando la correlación de velocidad de pulso ultrasónico o usando SONREB. Determina la resistencia a la compresión usando la correlación de velocidad de pulso ultrasónico o usando SONREB.
- Velocidad superficial :Determina la velocidad superficial según BS 1881.
- Tiempo de transmisión: mide el tiempo de transmisión. Distancia: calcula la distancia entre los transductores.
- Mide módulo de elasticidad Determina el módulo de elasticidad dinámico de un material (p. ej. hormigón o roca) midiendo las velocidades de pulso de onda P y transversal. Cálculo del módulo de elasticidad directa mente en el instrumento
- Medición de las velocidades de onda P y transversal en la misma pantalla (cursor dual)
- Relación de Poisson calculada también en el software PL Link
- Registro de datos Configuración de secuencias de ensayos automatizadas para aplicaciones de medición de larga duración.
- Cronómetro regresivo indica el tiempo hasta la siguiente medición
- Desarrollo de la velocidad de pulso visualizada de modo gráfico en la pantalla
- Exploración de área Visualización 2D para ensayos de uniformidad en elementos estructurales.
- Clasificación de colores definida por el usuario basada en velocidad de pulso o tiempo de transmisión Cuadrícula definida por el usuario para mediciones de pequeña a gran escala Todas las mediciones pueden ser editadas (eliminadas, medidas de nuevo)



Desventajas

- Como desventaja cabe resaltar que los cables transmisores en ocasiones presentan falsos contactos debido al exceso de movimiento, con lo cual se dificulta efectuar las lecturas. (Gabriela & Angel, 2013)
- La precisión de la medición depende en gran parte de la capacidad del operador para determinar con exactitud la distancia entre los transductores y del estado de los equipos para medir precisamente el tiempo de tránsito del pulso.
- La instalación del programa para la extracción de datos del equipo.

2.2.4. Ensayos realizados con el Pundit Lab 200 (PL-200)

Los ensayos realizados con el equipo PL-200 son de Rango de medición de Corto alcance (predeterminado). Para mediciones de hasta aproximadamente 800 μs . Esto corresponde a una longitud de recorrido de aproximadamente 3 m para hormigón normal.

Esto proporciona una resolución de la medición máxima de 0.1 μs . Para objetos más grandes, seleccionar el largo alcance.

La frecuencia de repetición de pulso se podrá seleccionar frecuencias de repetición de pulso (PRF) de 5 Hz a 40 Hz (mediciones por segundo). Los valores altos sólo deberían seleccionarse si el instrumento es usado en objetos grandes con una configuración de gran amplificación del receptor. En tales casos, ayudará un aumento de la frecuencia de actualización en la pantalla. Para la ejecución de ensayos en hormigón o materiales cerámicos en general, normalmente se usará una PRF de 10 a 30 Hz.

Los transductores entregados con el instrumento no están amortiguados y, por lo tanto, al ser excitados por el transmisor tendrán un prolongado tiempo de amortiguación. El tiempo de amortiguación podrá exceder el intervalo de pulso si la PRF es ajustada en valores demasiado altos, p. ej. el pulso anterior todavía podrá estar amortiguándose al llegar el siguiente pulso. Este efecto podrá causar errores al estar ensayando muestras de corta longitud de recorrido que tienen baja amortiguación interna. Si esto ocurre, reducir la PRF. (SA M. D., 2014)

2.2.4.1. Tiempo de transmisión

El tiempo de transmisión medido entre los transductores inicial.

2.2.4.2. Velocidad de pulso ultrasónico

Introducir la distancia entre los transductores.

El resultado será el tiempo de transmisión y la velocidad de pulso del material ensayado.



Figura 24: Resultado de tiempo de transmisión y velocidad de pulso en PL-200

Fuente: Manual del PL-200

2.2.4.3. Resistencia a compresión

Antes de ejecutar esta medición, se deberá crear en PL-Link y descargar al instrumento una curva de conversión válida para el hormigón ensayado.

Seleccionar la curva de correlación.

Introducir la distancia entre los transductores.

Si está seleccionada una curva SONREB, introducir el valor de rebote determinado en la misma posición que la medición de velocidad de pulso. SONREB es un método de combinar una medición de velocidad de pulso ultrasónico con una medición con un martillo de rebote para mejorar la exactitud de la estimación de la resistencia a la compresión. El resultado será el tiempo de transmisión y la resistencia a la compresión del material ensayado.

2.2.4.4. Exploración por líneas

La distancia 'a' será introducida en el menú 'Configuración'.

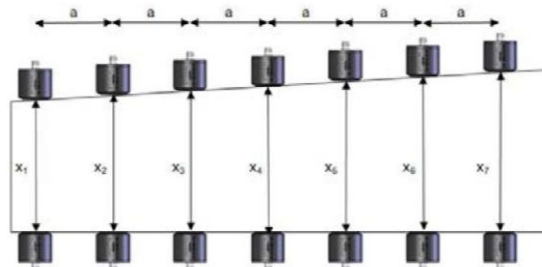


Figura 25: Distancia entre traductores

Fuente: Manual del PL-200

Posicionar los transductores en la posición de inicio e introducir la distancia x_1 . (Esto no será necesario si sólo se medirá el tiempo de transmisión.)



Figura 26: Grafico de inicio de lectura de exploración por línea

Fuente: Manual del PL-200

Pulsar el icono de inicio para comenzar.



Figura 27: Grafico de exploración por líneas

Fuente: Manual del PL-200

Pulsar el icono de instantánea y registrar la primera medición. Si está seleccionado el modo de transmisión saltatoria, el registro sucederá automáticamente.

Desplazar los transductores la distancia 'a' al siguiente punto en la cuadrícula.

Si la distancia 'x' no cambia, volver a pulsar el icono de instantánea para realizar la segunda medición, y continuar de este modo. Pulsar este icono para guardar la serie actual. Si la distancia 'x' es diferente en la nueva posición, podrá introducirse un nuevo valor antes de proceder con el escaneado. Introducir la nueva distancia 'x'.

Pulsar para continuar con el escaneado.

Usar este icono para eliminar la medición realizada más recientemente.

Pulsar para guardar la serie actual y restablecer el instrumento para una nueva serie.

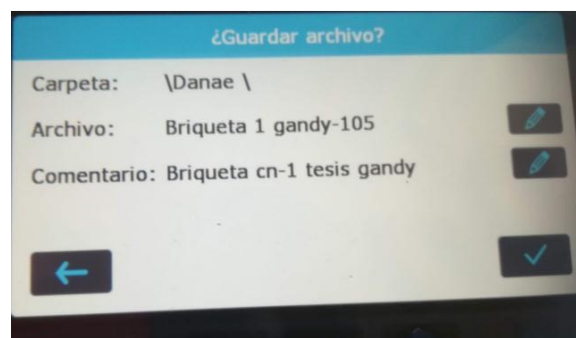


Figura 28: Ingreso de datos en el PL-200

Fuente: Manual del PL-200

Evalúa la uniformidad del hormigón y detecta grietas, así como otros defectos. Las velocidades de pulso son visualizadas en forma de línea. La exploración por líneas proporciona la capacidad de medir a lo largo de una cuadrícula lineal de un espacio uniforme. La distancia entre los transductores se podrá variar para cada medición para permitir la medición de objetos de forma irregular. Longitud de la serie Ajustar la cantidad de mediciones que habrán de ejecutarse o dejar el campo libre. Distancia entre mediciones Ajustar la distancia. Unidad Seleccionar entre velocidad de pulso o tiempo de transmisión para la unidad de la visualización gráfica de los resultados.

2.2.4.5. Exploración por área

La exploración de área permite la visualización 2D para ensayos de uniformidad de elementos estructurales de un elemento basada en velocidad de pulso, tiempo de transmisión o mediciones de distancia. La cuadrícula de medición es definida en 'Configuración.' Si no se conoce la variación esperada del parámetro medido, seleccionar 'Gama de colores automática'. Esto puede ajustarse posteriormente en el explorador. Si se conoce el rango esperado, la gama de colores se puede definir ajustando un valor máximo y un valor mínimo.

Clasificación de colores definida por el usuario basada en velocidad de pulso o tiempo de transmisión Cuadrícula definida por el usuario para mediciones de pequeña a gran escala Todas las mediciones pueden ser editadas (eliminadas, medidas de nuevo)



Figura 29: Lectura de exploración por área

Fuente: Manual del PL-200

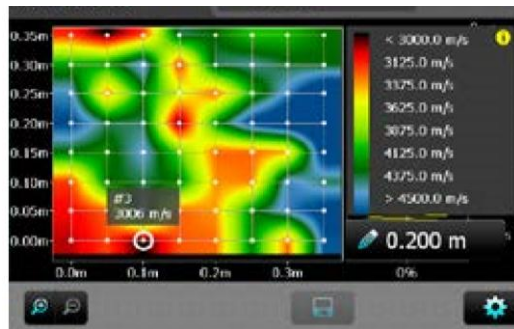


Figura 30: Exploración por área

Fuente: Manual del PL-200

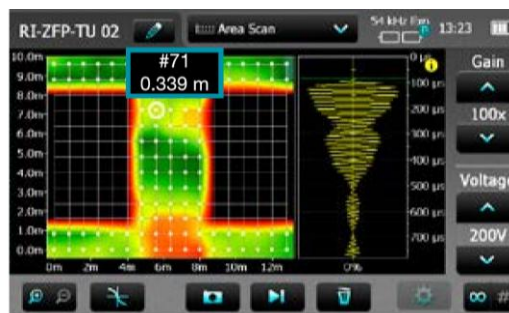


Figura 31: Exploración por área con resultados de tiempo de transmisión.

Fuente: Manual del PL-200

4'500 m/s: Excelente

3'500 – 4'500 m/s: Buena

3'000 – 3'500 m/s: Mediana

< 3'000 m/s: Dudosa

Ajustando la velocidad máxima en 4'500 m/s y la velocidad mínima en 3'000 m/s, se obtendrá una visualización simple de las estructuras que requieren atención. La posición del cursor indica la posición de la siguiente medición. Asegurarse de que la misma esté alineada con la cuadrícula dibujada en la estructura ensayada. Se podrá arrastrar el cursor a la posición en la cuadrícula en la cual se desee iniciar la medición. Flechas indicarán la dirección en la que continuará la medición.



Figura 32: Cuadrícula de medición indicando dirección de inicio

Fuente: Manual del PL-200

Es posible arrastrar el cursor a otra ubicación en la cuadrícula para esquivar obstáculos, etc. También es posible arrastrar el cursor de regreso a la medición previa y eliminar la misma o volver a medir. Está indicada y podrá ser eliminada o repetida. Si se repite la medición pulsando el botón de instantánea, se sobrescribirá el valor previo. Las áreas negras fueron excluidas arrastrando el cursor a la siguiente posición a medir.

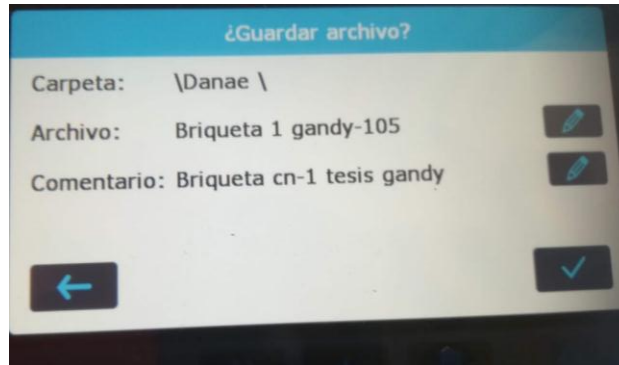


Figura 33: Guardar archivos en PL-20

Fuente: Manual del PL-200

2.2.4.6.Registro de datos

El modo Registro de datos permite la programación de una secuencia de ensayo. Una aplicación típica sería el seguimiento del cambio de velocidad de pulso durante el fraguado de hormigón. Los parámetros se deberán ajustar en Configuración. Al principio, el cuadro de información visualizará la configuración actual. Durante el ensayo, un cronómetro regresivo indicará el tiempo restante hasta la próxima medición, la cantidad de mediciones ya realizadas y la hora a la que el ensayo será finalizado.

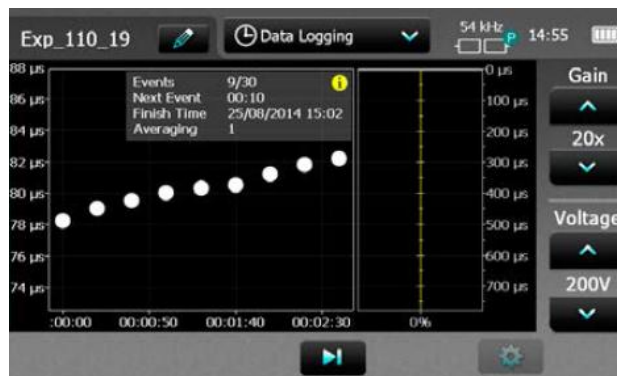


Figura 34: Pantalla de registro de datos del instrumento Pundit

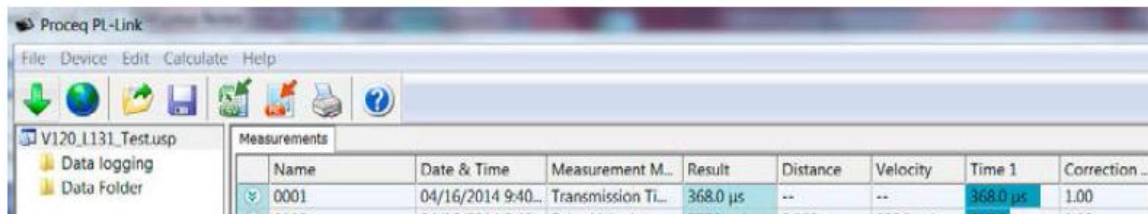
Fuente: Manual del PL-200

La pantalla de información se podrá visualizar u ocultar pulsando el botón 'i'. Las formas de onda son guardadas con cada medición y se podrán ver tocando el marcador. Si es necesario,

se podrán ajustar manualmente los puntos de disparo una vez que los datos hayan sido exportados a PL-Link. (SA P. , 2014)

2.2.4.7. Visualización de datos

Los archivos de medición almacenados en el dispositivo serán visualizados en la siguiente ventana:



Name	Date & Time	Measurement M...	Result	Distance	Velocity	Time 1	Correction ...
0001	04/16/2014 9:40...	Transmission TL...	368.0 μ s	--	--	368.0 μ s	1.00

Figura 35: Pantalla de visualización de datos en el programa proceq

Fuente: Manual del PL-200

Seleccionar una o varias mediciones y hacer clic en “Download” [descargar]. Las mediciones seleccionadas en la unidad de pantalla táctil Pundit del usuario serán visualizados en la pantalla. Las mediciones se pueden cambiar de carpeta usando la funcionalidad de copiar y pegar. Hacer clic con el botón derecho del ratón en alguna medición o alguna carpeta para ver las opciones disponibles. (SA P. , 2014)



Figura 36: Pantalla de Copiar, Pegar y Mover en el Programa Proceq

Fuente: Manual del PL-200

2.2.4.8. Exportación de datos

PL- Link permite la exportación de objetos seleccionados o del proyecto completo para utilizarlos en programas de terceros. Hacer clic en el objeto de medición que se desea exportar. Hacer clic en el icono “Exportar como archivo(s) CSV”. Los datos para este objeto de medición serán exportados como archivo o archivos Microsoft Office Excel de valores separados por comas.

2.2.5. Bases estadísticas

2.2.5.1 Criterio de Chauvenet

El criterio de Chauvenet es un método que consiste en determinar si un dato experimental de un conjunto de mediciones es probable que sea un dato atípico. La consecución de un dato atípico puede ser resultado de un mal proceso. Entonces, antes de realizar un análisis estadístico más profundo sobre el resultado de la medición, se procede a su filtrado previo, mediante la aplicación de dicho criterio. No se considera aceptable si hubieran mas de dos rechazos cada vez q se aplique el criterio.

Se rechazan todas aquellas medidas cuya probabilidad de aparición sea inferior a:

$$\infty = \frac{1}{2 \cdot n}$$

Se establecen unos límites inferior y superior en función de la desviación típica de la muestra de datos, y todas las medidas que superen esos límites deben ser rechazadas.

$$\underbrace{x - k n \cdot s}_{\text{Límite inferior}} \leq xi \leq \underbrace{x + k n \cdot s}_{\text{Límite superior}}$$

- Donde $k(n)$ se refiere a la función asociada a la distribución normal siendo
- $K(n) = k_{\alpha=1/2}$ a la que también se le suele llamar: razón de máxima desviación admisible. (ACEDO, 2012).

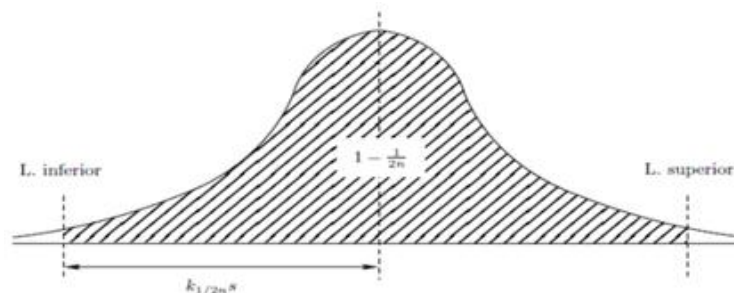


Figura 37: Campana de Gauss.

Fuentes: Del gráfico: Fundamentos básico de metrología dimensional de Joaquín Rodríguez.

Cálculo de $K(N)^2$:

- Para una confianza de $1 - \frac{\infty}{2}$ calculamos alfa, siendo $\infty = \frac{1}{2 \cdot n}$.



- Tomamos el valor asociado de la tabla de la distribución normal para el valor de confianza ∞ .

Pasos para la aplicación del criterio:

- Se calculan los estimadores centrales (media) y de dispersión (desviación típica) de la muestra de datos.
- Calculamos $K(n)$ en función del número de mediciones.
- Se calculan los límites inferior y superior.
- Si se rechaza alguna medida, habría que volver a calcular la desviación típica(n) y los límites inferior y superior.

Nota: El método de media no se considera aceptable si hubieran más de dos rechazos cada vez que se aplica el criterio.

- Aplicamos de manera reiterada el criterio hasta que no se rechace ninguna medida (todas las medidas dentro de los límites inferior y superior).

2.2.5.2 Expresión de una media

Cualquier magnitud susceptible de medición no exacta debe expresarse adecuadamente acotada por un intervalo.

El rango del intervalo de la magnitud viene definido por la incertidumbre como:

$$[y - U, y + U]$$

Con lo cual puede definirse la incertidumbre de una medida como “el valor de un intervalo, generalmente simétrico, dentro del cual se encuentra, con una alta probabilidad, el valor verdadero de la magnitud”.

De una manera más general:

$$y \pm u$$

Introduciendo la expresión de la incertidumbre expandida

$$y \pm k \cdot u$$

Es muy importante que la apreciación decimal en la expresión de la medida se corresponda con la apreciación de la incertidumbre, y ésta a su vez con la apreciación del aparato de medición. Es decir, no puede haber una precisión mayor que la de la escala de medición utilizada, por lo tanto, si obtenemos una incertidumbre expandida menor que el menor valor de escala de nuestro aparato de medida, tomaremos ese valor del aparato de medida. (ACEDO, 2012).

2.2.5.3 Regresión lineal

Es una técnica estadística utilizada para estudiar la relación entre variables. Se adapta a una amplia variedad de situaciones. El análisis de regresión lineal se utiliza para predecir un amplio rango de fenómenos, desde medidas económicas hasta diferentes aspectos del comportamiento humano. En el caso de dos variables (regresión simple) como en el caso de más de dos variables (regresión múltiple), el análisis de regresión lineal puede utilizarse para explorar y cuantificar la relación entre una variable llamada dependiente o criterio y una o más variables llamadas independientes o predictoras, así como para desarrollar una ecuación lineal con fines predictivos. (Anonimo)

2.1.5.4 Regresión exponencial

Al tratar de explicar (o predecir) la variable Y a través de una covariable X puede ocurrir que la relación no sea lineal. La regresión exponencial se utiliza cuando podemos asumir que la relación entre ambas variables es del tipo:

$$Y = \beta_0 e^{\beta_1 X} + \varepsilon$$

En este caso el ajuste se puede reducir a una simple regresión lineal ya que si la relación (X,Y) es exponencial, entonces (X, Ln(Y)) es lineal: (COMPOSTURA, 2011-2012)

$$\ln(Y) = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

2.1.5.5 Regresión logarítmica

Es un modelo de regresión que se utiliza cuando el modelo lineal no logra un coeficiente de determinación apropiado, o cuando el fenómeno en estudio tiene un comportamiento considerado logarítmico.

– Ecuación característica

La función que define el modelo es la siguiente:

$$Y_i = A * X_{Bi} * B$$

Donde:

Y_i: Variable dependiente

A, B: Parámetros de la ecuación, que generalmente son desconocidos

E: Error asociado al modelo

X: Valor de la observación de la variable independiente

Al sustituir los parámetros por estimadores, el modelo adopta la siguiente forma:

$$y_i = a \cdot x_i^b$$

Aplicando logaritmos de ambos lados, con lo cual se convierte a una forma lineal: (MENDEZ, 2014)

$$\ln y_i = \ln a + b \cdot \ln x_i$$

2.1.5.6 Regresión potencial

Siendo una extensión natural del caso lineal, este modelo es muy apropiado para analizar posibles no linealidades en la relación entre ambas variables, una vez que se ha estimado un modelo lineal. Puede utilizarse asimismo para analizar el carácter no lineal del efecto de una variable explicativo x_t sobre y_t en una regresión múltiple. (CUANTITAVA, 2016)

2.1.5.7 Regresión cubica

El análisis de la regresión cubica es un proceso estadístico para la estimación de relaciones entre variables. Incluye muchas técnicas para el modelado y análisis de diversas variables, cuando la atención se centra en la relación entre una variable dependiente y una o más variables independientes. (JHOANA, 2015)

2.2 Hipótesis

2.2.1. Hipótesis general

La relación de la velocidad de pulso ultrasónico en la determinación de las propiedades físicas y mecánicas del concreto simple (CS) de calidad $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y concreto autocompactable (CAC) brindara datos confiables para la calidad de resistencia.

2.2.2. Sub hipótesis

Hipótesis específico 1. Cuanto mayor sea la relación Agua/Cemento en un concreto simple (CS) de calidad $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y concreto autocompactable (CAC), menor será la velocidad de pulso ultrasónico.

Hipótesis específico 2. El concreto autocompactable (CAC) tendrá mayor relación de uniformidad con respecto al concreto simple (CS) de calidad $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ por medio de la velocidad de pulso ultrasónico.

Hipótesis específico 3. Las unidades de concreto autocompactable (CAC) tendrán menor densidad con respecto a las unidades de concreto simple (CS) de calidad $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en estado endurecido a la edad de 28 días.



Hipótesis específico 4. En las unidades de concreto simple (CS) de calidad $f'c= 210$ kg/cm² y concreto autocompactable (CAC), a mayor resistencia de compresión se obtendrá mayor velocidad de pulso ultrasónico.

Hipótesis específico 5. La calidad del concreto simple (CS) de calidad $f'c= 210$ kg/cm² y concreto autocompactable (CAC) en función de la velocidad de pulso, estará entre buena y excelente según el manual del equipo de velocidad de pulso ultrasónico pl-200.

2.3. Definición de variables

2.3.1. Variables

- Concreto
- Concreto autocompactable
- Velocidad de Pulso Ultrasónico
- Propiedades Físicas
- Propiedades Mecánicas

2.4.1.1 Indicadores de variables

- Dosificación del cemento Portland Tipo IP
- Contenido de Humedad (%)
- Granulometría (kg)
- Peso unitario (kg/m³)
- Peso específico de absorción (%)
- Resistencia a compresión (kg-f/cm²)
- Dosificación del aditivo Superplastificante (%)
- Agua Potable
- Tiempo de fragua
- Resistencia a la segregación
- Tamaño Máximo Nominal Del Agregado Grueso (3/4")
- Velocidad de Pulso Ultrasónico
- Tiempo de trasmisión de onda
- Velocidad de Pulso Ultrasónico
- Masa
- Volumen
- Uniformidad del concreto

- Relación Agua/Finos (Agua/Cemento)
- Resistencia (peso/área)

2.3.2. Cuadro de operacionalización de variables

Tabla 14: Cuadro de operacionalización de variables.

TEMA: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS DEL CONCRETO DE RESISTENCIA $f_c = 210 \text{ Kg/CM}^2$ Y CONCRETO AUTOCOMPACTABLE EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE PULSO ULTRASONICO - CUSCO 2019"					
VARIABLES	DEFINICION	NIVEL O DIMENSION	INDICADOR INDEPENDIENTE	UNIDAD	INSTRUMENTOS METODOLOGICOS
CONCRETO SIMPLE	Es una mezcla de agregados grueso y finos que por acción del agua nos brinda una pasta que al solidificarse alcanza resistencias altas y recibe el nombre de hormigón.	Cemento	Dosificación del cemento yura tipo IP	(Kg)	instrumento ultrasonico pundit PL 200, 'Diseño de mezclas, fichas de laboratorio y recolección de datos, Clasificación de la calidad del concreto según Leslie y Cheesmany según Agraval.
		Agregado Grueso	Contenido de humedad	(%)	
			Granulometria	(Kg)	
		Agregado Fino	Peso unitario	(Kg/m ³)	
			Peso Especifico de Absorción	(%)	
		relación agua/cemento	capacidad de relleno	(mm.s)	
			capacidad de paso	(mm)	
resistencia a la segregación	(%s)				
CONCRETO AUTOCOMPACTABLE	El hormigón Autocompactable es un hormigón capaz de compactarse por acción de la gravedad que llena los encofrados y discurre entre las armaduras sin necesidad de aplicar medios de compactación internos o externos y manteniéndose, durante su puesta en obra, homogéneo y estable sin presentar segregaciones.	superplastificante	Dosificación del aditivo	(lt)	
		Agua	Cantidad	(kg)	
		relación agua/finos	Resistencia a la compresión del concreto	(kg-f/cm ²)	
		Tamaño Maximo Nominal Del Agregado Grueso	Tamaño Maximo Nominal Del Agregado Grueso (Granulometria)	(mm)	
Velocidad de pulso ultrasónico	Se generan pulsos de ondas longitudinales de esfuerzos por un transductor electroacústico que se mantiene en contacto con una superficie del concreto bajo ensayo.	Velocidad de pulso ultrasónico	Tiempo de transmisión de onda	(μ s)	
			Velocidad de pulso ultrasónico	(m/s)	
Propiedades Físicas	es cualquier propiedad medible sin alterar su composición o identidad de la sustancia	densidad del concreto y concreto autocompactable	densidad	(kg/m ³)	
		uniformidad del concreto (resistencia a la segregación)	uniformidad del concreto (resistencia a la segregación)	escala cromatica	
		Tamaño Maximo Nominal Del Agregado Grueso	Contenido de humedad	(%)	
			Granulometria	(Kg)	
relación agua/finos (agua/cemento)	Resistencia a la compresión del concreto	(kg-f/cm ²)			
Propiedades Mecánicas	Es cualquier propiedad de la materia por la cual cambia de composición .cuando se enfrenta una sustancia química a distintos reactivos o condiciones experimentales puedes o no reaccionar con ellos, las propiedades químicas se determinan por ensayos químicos y están relacionados con la reactividad de las sustancias químicas .	Resistencia a la compresión del concreto	resistencia (peso/ área)	(kg-f/cm ²)	
		Ensayo de Velocidad de Pulso Ultrasónico	longitud	(m)	
		ensayo de tiempo de transmisión de onda	tiempo	(μ s)	



Capítulo III: Metodología

3.1. Tipo de investigación

3.1.1 Enfoque de la investigación

a. Por su enfoque

Este tipo de investigación es cuantitativa porque nos permite evaluar la realidad en función de parámetros que son medibles; replicables y que estos pueden ser reproducidos con las mismas condiciones en cualquier momento, además está orientada hacia la descripción, predicción y explicación de datos medibles u observables. (Hernández Sampieri R. E., 1999)

De acuerdo con la definición expuesta anteriormente la investigación es de enfoque CUANTITATIVO; ya que se pueden examinar los datos en forma numérica, cada etapa precede a la siguiente y no podemos eludir pasos porque la investigación puede ser reproducida en cualquier momento, por ello se realiza la comparación de las propiedades físicas y mecánicas del concreto autocompactable y concreto simple a los 28 días y ESTADÍSTICO; ya que posee variables y relaciones para analizar las medidas obtenidas utilizando métodos estadísticos; para después extraer una serie de conclusiones.

b. Por su finalidad

Este tipo de investigación es APLICATIVA ya que se utilizan diversos conocimientos de ingeniería que atenderá a un análisis para la correcta aplicación del Concreto autocompactable y concreto simple como materiales de construcción y el uso de ensayos in situ, no destructivos para así poder solucionar los problemas propios de la ingeniería civil en beneficio de la sociedad para finalmente obtener un producto final después de la investigación.

3.1.2 Nivel o alcance de la investigación

La presente investigación es “DESCRIPTIVO con alcance CORRELACIONAL” debido a que se analiza, especifican las propiedades del aditivo súper plastificante; propiedades del agregado fino de Cunyac; propiedades del agregado grueso de Vicho, trabajabilidad, resistencia a compresión de: la máquina de compresión y el instrumento no destructivo ultrasónico pandit PL-200 y que relacionan dependencia entre las variables del estudio y los resultados de la misma.



Descriptivo

Los estudios descriptivos son útiles para mostrar con precisión los ángulos o dimensiones de un fenómeno, suceso, comunidad, contexto o situación. En este tipo de estudios se debe visualizar que se dirá (que conceptos, variables, grupos, comunidades, etc.) y sobre que o quienes se recolectaran los datos (personas, grupos, comunidades, objetos, hechos, etc.). (Hernández Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2010)

Correlacional

Los estudios correlacionales asocian variables mediante un patrón predecible para un grupo o población. Este tipo de estudios tienen como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular. (HERNANDEZ , FERNANDEZ, & BAPTISTA, 2010 - PAG. 116, pág. 93)

3.1.3 Método de investigación

Hipotético – deductivo

Se emplea el método científico hipotético, porque se debe llegar a una conclusión se parte de una idea hipotética que debe ser demostrada y deductiva por que tomamos dos o más premisas particulares, para obtener como conclusión una premisa general. (Hernández Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2010, pág. 116)

El método utilizado en la presente investigación es el método HIPOTÉTICO-DEDUCTIVO ya que se tiene diferentes hipótesis planteadas, las cuales serán deducidas a partir del transcurso de la investigación mediante los ensayos de la caja U, embudo V, caja en L, la máquina de compresión y el instrumento no destructivo ultrasónico pandit PL-200.

3.2 Diseño de la investigación

3.2.1 Diseño metodológico

El diseño de la investigación presenta un diseño cuasi-experimental, debido a que se tiene parámetros que no se pueden controlar (concreto simple y concreto autocompactable) para luego estudiarlos, se realizaron una serie de mezclas de concreto simple y concreto autocompactable; testigos de CS y CAC para evaluar por métodos destructivos tradicionales e in situ y finalmente realizar un análisis estadístico correlacional de estos dos métodos de ensayo.



3.2.2 Diseño de ingeniería

El proyecto de investigación inicio en su primera etapa la adquisición de materiales, muestreo y control de diseños patrón del concreto simple y concreto autocompactable.

En la segunda etapa se procedió a realizar ensayos en estado fresco que cumplan los parámetros de diseño del concreto simple y concreto autocompactable.

En la tercera etapa se procedió a realizar la producción de la población total de testigos de concreto simple y concreto autocompactable

En la cuarta etapa se procedió a realizar los ensayos experimentales en estado fresco y estado endurecido en función a la resistencia de los testigos de CS Y CAC como el ensayo de pulso ultrasónico y ensayo a compresión, dividiéndolos en dos tipos de testigos; el testigo concreto simple (CS) y el testigo de concreto autocompactable (CAC) de calidad $f'c=210$ kg/cm².

Los resultados fueron discutidos de acuerdo a la variación de los mismos, finalmente se establecieron correlaciones y realizar un análisis de confiabilidad.

A continuación, se muestra el diseño de ingeniería usado durante esta investigación.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE RESISTENCIA $f'c=210$ Kg/CM² Y CONCRETO AUTOCOMPACTABLE EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO - CUSCO 2019

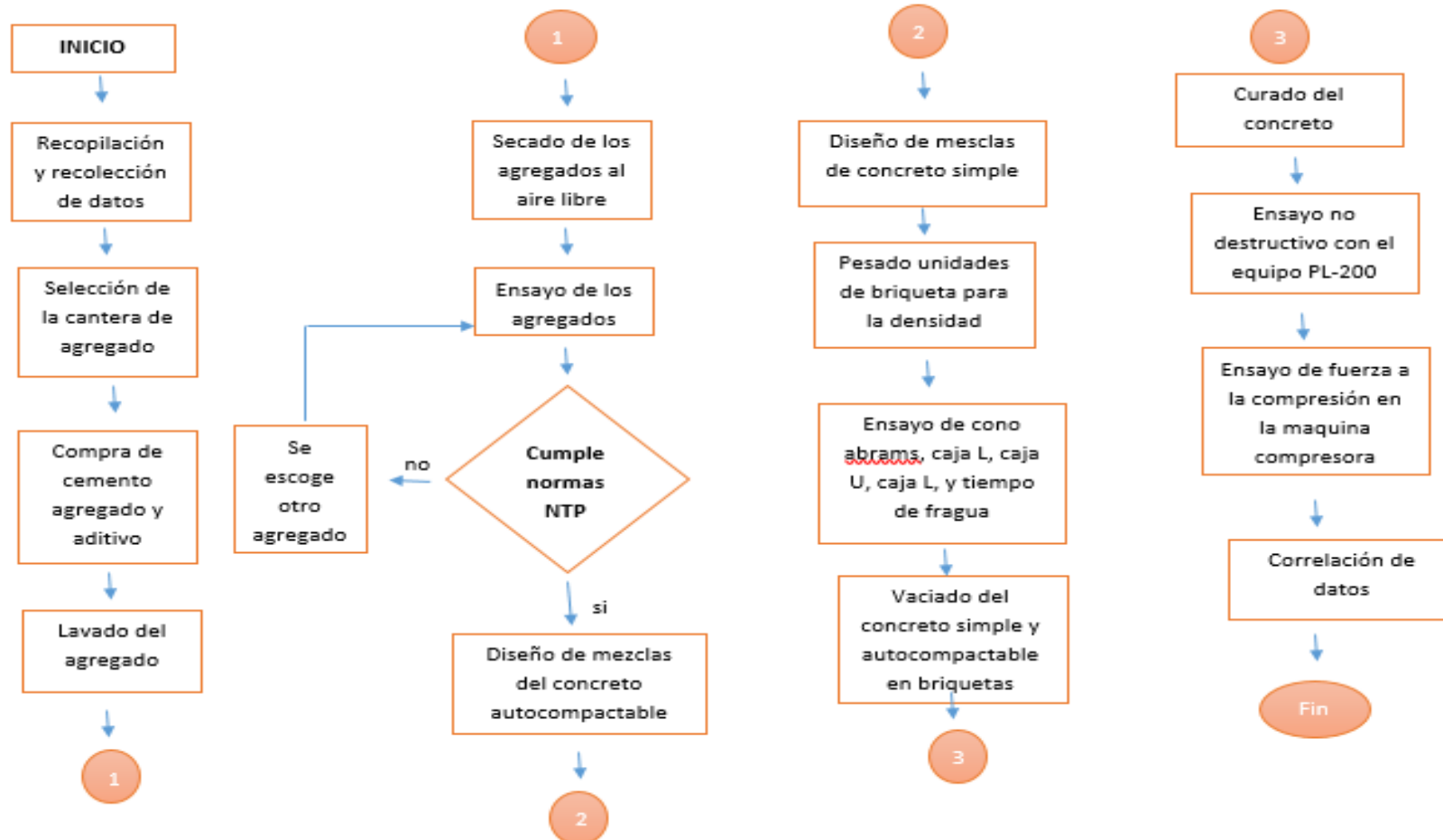


Figura 38: Diseño de ingenieril

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

3.3.1.1 Descripción de la población

La población de esta investigación estuvo conformada por dos tipos de concreto : concreto simple (CS) y concreto autocompactable (CAC) de resistencia $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ elaborado con agregado fino de la cantera de Cunyac y vicho ; cumpliendo los parámetros establecidos en la NTP 400.013; agregado grueso de la cantera de vicho; cumpliendo los parámetros establecidos en la NTP 400.017, cemento portland puzolánico IP de la empresa YURA, aditivo super plastificante SUPERPLAST y agua potable con respaldo de la norma técnica peruana NTP 339.088 “Agua para diseño de mezclas”, que fueron sometidos a ensayos de resistencia con el equipo PL-200 y máquina de compresión.

3.3.1.2 Cuantificación de la población

Se consideran dos tipos de concreto: concreto simple (CS) y concreto autocompactable (CAC); la población de CS es de 30 probetas cilíndricas de 10*20 cm y CAC es de 30 probetas de 10*20 cm, haciendo una población total de 60 probetas cilíndricas para todos los ensayos que englobaron la investigación como: ensayos de resistencia, por ambos métodos in situ y ensayos destructivos.



Figura 39: Briquetas fabricadas con los 2 tipos de concreto

3.3.2 Muestra

3.3.2.1 Descripción de la muestra

La muestra de esta investigación está constituida por los dos tipos de concreto que son: concreto simple (CS) de resistencia $f'c=210$ kg/cm² y concreto autocompactable (CAC) elaborados con agregado fino de la cantera de Cunyac y vicho, agregado grueso de la cantera de vicho, cemento portland puzolánico IP de la empresa YURA, aditivo super plastificante SUPERPLAST y agua potable. La investigación es de tipo censal ya que la muestra y la población coinciden.

3.3.2.2 Cuantificación de la muestra

La muestra está constituida por dos tipos de concreto que fueron evaluados, para lo cual se aplica como criterio de evaluación la fabricación de briquetas que se consigna en el ITEM 3.3.1.2. las probetas cilíndricas que fueron elaboradas con los dos tipos de concreto: CS Y CAC, fueron ensayadas a la edad de 28 días para determinar sus propiedades de resistencia.

En la NTP E-0.30 justifica que la población de cada grupo de CAC y CS evaluado este compuesto por 30 especímenes. Para la presente investigación se usaron 30 de CAC Y 30 de CS haciendo un total de 60 briquetas distribuidas de la siguiente manera:

Tabla 15: *Ensayos aplicados a las briquetas de concreto simple y concreto autocompactable.*

Tipo de concretos	Ensayos Realizados	cantidad de briquetas
Concreto Simple (CS)	VELOCIDAD DE PULSO ULTRASONICO	30
	TIEMPO DE TRANSMISION	30
	RESISTENCIA A LA COMPRESION (MAQUINA DE COMSRESION)	30
	RESISTENCIA A LA COMPRESION (PL-200)	30
CONCRETO AUTOCOMPACTABLE (CAC)	VELOCIDAD DE PULSO ULTRASONICO	30
	TIEMPO DE TRASMISION	30
	RESISTENCIA A LA COMPRESION (MAQUINA DE COMSRESION)	30
	RESISTENCIA A LA COMPRESION (PL-200)	30

Para un tamaño de muestra de población de 60 unidades de briquetas se determinó un nivel de confianza de 90% dando como error admisible máximo de 10%, considerando la cantidad de briquetas en función a las características de esta investigación .

$$E = \frac{Z\alpha}{2} * \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$E = \frac{1.65}{2} * \frac{10}{\sqrt{60}}$$

$$E = 11\%$$

Donde:

n: Tamaño de la población

Za: Nivel de confianza

E: Error máximo admisible

Tabla 16: *Calculo de una muestra por niveles de confianza*

TABLA DE APOYO AL CALCULO DEL TAMAÑO DE UNA MUESTRA POR NIVELES DE CONFIANZA									
Certeza	95%	94%	93%	92%	91%	90%	80%	62.27%	50%
Z	1.96	1.88	1.81	1.75	1.69	1.65	1.28	1	0.6745
Z ²	3.84	3.53	3.28	3.06	2.86	2.72	1.64	1.00	0.45
e	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.20	0.37	0.50
e ²	0.0025	0.0036	0.0049	0.0064	0.0081	0.01	0.04	0.1369	0.25

3.3.2.3 Método de muestreo

El método de muestreo que se usó en la tesis de investigación fue no probabilístico, considerando la cantidad de briquetas en función a las características de esta investigación y a criterio de los investigadores.

3.3.2.4 Criterios de evaluación de muestra

Los criterios de evaluación están basados en función a la resistencia; evaluando dos grupos de concreto; concreto (CS) Y concreto autocompactable (CAC) en probetas cilíndricas de 10*20 cm ;en estado endurecido, basados según las Normas Técnicas Peruanas y las normas del American Institute of Concrete (ACI).

Se realizó briquetas para evaluar la resistencia a la compresión que fueron 60 unidades en probetas cilíndricas, las cuales se repartieron en 2 grupos, es decir se tiene 30 briquetas por grupo, usando moldes de 10 cm de diámetro y 20cm de altura, a la edad de los 28 días.

Grupo Concreto (CS): Este grupo está constituido por briquetas de concreto simple fabricado con los materiales seleccionados anteriormente (agregados de la cantera de Vicho y Cunyac, cemento yura IP). Este grupo está constituido por 30 briquetas que fueron sometidas a ensayos de velocidad de pulso ultrasónico y compresión a la edad de 28 días



Figura 40: Muestras de briquetas de concreto simple

Grupo Concreto Autocompactable (CAC): Este grupo está constituido por briquetas de concreto autocompactable fabricado con los materiales seleccionados anteriormente (agregados de la cantera de Vicho y Cunyac, cemento yura IP, aditivo superplastificante Chema SUPERPLAST). Este grupo está constituido por 30 briquetas que fueron sometidas a ensayos de velocidad de pulso ultrasónico y compresión a la edad de 28 días.



Figura 41: Briquetas sometidas a ensayos de velocidad de pulso ultrasónico

Las muestras de concreto autocompactable (CAC) fueron evaluadas mediante ensayos de la caja en L y caja en U para la capacidad de paso, embudo en V y flujo de asentamiento para la capacidad de relleno, ensayo GTM para resistencia la segregación y finalmente mediante el ensayo de la aguja Vicat para determinar el tiempo de fragua, de donde obtuvimos datos para determinar las características de un concreto autocompactable, los ensayos mencionados anteriormente ,fueron realizados a al concreto en estado fresco y en estado endurecido todas las muestras fueron evaluadas mediante la prueba de rotura de briquetas para la resistencia a la compresión , según lo que se planteó en esta investigación.

Tabla 17: Cantidad de Muestras usadas para cada tipo de concreto

TIPO DE CONCRETO	EDAD	PARCIAL
	28 DÍAS	
CONCRETO SIMPLE (CS)	30	30
CONCRETO AUTOCOMPACTABLE (CAC)	30	30
TOTAL		60

3.3.2.5 Criterios de inclusión

A. Concreto (CS):

El concreto simple debe ser fabricado con los materiales siguientes: cemento portland yura IP, agregado fino de la cantera de Vicho y Cunyac, agregado grueso de la cantera de vicho, agua potable de Seda Cusco.

Debe cumplir la resistencia a la compresión de 300 Kg/cm² a los 28 días.

Para la aceptación de probetas las dimensiones son: la altura sea dos veces mayor que el diámetro de la probeta cilíndrica aproximadamente.

La diferencia entre el diámetro superior y el diámetro inferior no debe ser una considerable dimensión, caso contrario no se considera el testigo para la investigación.

B. Concreto autocompactable

El concreto autocompactable debe ser fabricado con los materiales siguientes: cemento portland yura IP, agregado fino de la cantera de Vicho y Cunyac, agregado grueso de la cantera de vicho, aditivo Chema SUPERPLAST, agua potable de Seda Cusco.

Tiene que cumplir los parámetros mínimos y máximos de caracterización de los ensayos:
grafico de ensayos

Tabla 18: *Parámetros mínimos y máximos de los ensayos realizados*

N°	MÉTODO	UNIDAD	MARGEN HABITUAL	
			DE VALORES	
			MÍNIMO	MÁXIMO
1	Flujo asentamiento por cono Abrams	mm	650	800
2	Embudo V	seg	6	12
3	Caja en L	(h2/h1)	0.8	1
4	Caja en U	(h2-h1) mm	0	30
5	Ensayo de estabilidad GTM	%	0	15

FUENTE: EFNARC – Cac, 2003

Debe cumplir la resistencia a la compresión de 300 Kg/cm² a los 28 días.

Para la aceptación de probetas las dimensiones son: la altura sea dos veces mayor que el diámetro de la probeta cilíndrica aproximadamente.

La diferencia entre el diámetro superior y el diámetro inferior no debe ser una considerable dimensión, caso contrario no se considera el testigo para la investigación.

3.4 Instrumentos

Se utilizaron diferentes guías de recolección de datos e instrumentos para la recolección de datos en laboratorio para dar continuidad al procesamiento de datos y resultados en gabinete.

3.4.1 Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos

Tabla 19: *Recolección de datos de la Capacidad de Relleno del ensayo de asentamiento y extensibilidad*



	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL																																												
<u>ENSAYO DE ASENTAMIENTO Y EXTENSIBILIDAD</u> NTP 339.034 ASTM C39																																													
NOMBRE DE LA TESIS:	“ ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO Y CONCRETO AUTOCOMPACTABLE DE RESISTENCIA $f'c=210$ Kg/CM2 EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO - CUSCO 2018”																																												
TESISTAS:	Bach. Chavez Cusi , Danae Gandy Bach. Soncco Romero , Stacy Beatriz																																												
Equipo utilizado	_____																																												
Tipo de concreto	_____																																												
Lugar	_____																																												
Fecha	_____																																												
Hora	_____																																												
Temperatura	_____																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="5" style="text-align: center;">Concreto convencional</th> </tr> <tr> <th rowspan="2" style="width: 10%;"># Ensayo</th> <th rowspan="2" style="width: 20%;">Asentamiento (cm)</th> <th colspan="3" style="text-align: center;">Extensibilidad (cm)</th> </tr> <tr> <th style="width: 10%;">D1</th> <th style="width: 10%;">D2</th> <th style="width: 10%;">D promedio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">5</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Promedio</td> <td></td> <td colspan="3" style="text-align: center;">Promedio</td> </tr> </tbody> </table>			Concreto convencional					# Ensayo	Asentamiento (cm)	Extensibilidad (cm)			D1	D2	D promedio	1					2					3					4					5					Promedio		Promedio		
Concreto convencional																																													
# Ensayo	Asentamiento (cm)	Extensibilidad (cm)																																											
		D1	D2	D promedio																																									
1																																													
2																																													
3																																													
4																																													
5																																													
Promedio		Promedio																																											
Equipo utilizado	_____																																												
Tipo de concreto	_____																																												
Lugar	_____																																												
Fecha	_____																																												
Hora	_____																																												
Temperatura	_____																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="5" style="text-align: center;">Concreto convencional</th> </tr> <tr> <th rowspan="2" style="width: 10%;"># Ensayo</th> <th rowspan="2" style="width: 20%;">Asentamiento (cm)</th> <th colspan="3" style="text-align: center;">Extensibilidad (cm)</th> </tr> <tr> <th style="width: 10%;">D1</th> <th style="width: 10%;">D2</th> <th style="width: 10%;">D promedio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">5</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Promedio</td> <td></td> <td colspan="3" style="text-align: center;">Promedio</td> </tr> </tbody> </table>			Concreto convencional					# Ensayo	Asentamiento (cm)	Extensibilidad (cm)			D1	D2	D promedio	1					2					3					4					5					Promedio		Promedio		
Concreto convencional																																													
# Ensayo	Asentamiento (cm)	Extensibilidad (cm)																																											
		D1	D2	D promedio																																									
1																																													
2																																													
3																																													
4																																													
5																																													
Promedio		Promedio																																											

Tabla 20: *Recolección de datos ensayo del embudo "V"*



	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL																	
ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESION DE BRIQUETAS NTP 339.034 ASTM C39																		
NOMBRE DE LA TESIS:	“ ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO Y CONCRETO AUTOCOMPACTABLE DE RESISTENCIA $f'_c=210$ Kg/CM2 EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO - CUSCO 2018”																	
TESISTAS:	Bach. Chavez Cusi , Danae Gandy Bach. Soncco Romero , Stacy Beatriz																	
Equipo utilizado	_____																	
Tipo de concreto	_____																	
Lugar	_____																	
Fecha	_____																	
Hora	_____																	
Temperatura	_____																	
<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Concreto convecional</th></tr><tr><th># Ensayo</th><th>Tiempo de flujo (seg)</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td></td></tr><tr><td>2</td><td></td></tr><tr><td>3</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td></tr><tr><td>5</td><td></td></tr><tr><td>PROMEDIO</td><td></td></tr></tbody></table>			Concreto convecional		# Ensayo	Tiempo de flujo (seg)	1		2		3		4		5		PROMEDIO	
Concreto convecional																		
# Ensayo	Tiempo de flujo (seg)																	
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
PROMEDIO																		
Equipo utilizado	_____																	
Tipo de concreto	_____																	
Lugar	_____																	
Fecha	_____																	
Hora	_____																	
Temperatura	_____																	
<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Concreto convecional</th></tr><tr><th># Ensayo</th><th>Tiempo de flujo (seg)</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td></td></tr><tr><td>2</td><td></td></tr><tr><td>3</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td></tr><tr><td>5</td><td></td></tr><tr><td>PROMEDIO</td><td></td></tr></tbody></table>			Concreto convecional		# Ensayo	Tiempo de flujo (seg)	1		2		3		4		5		PROMEDIO	
Concreto convecional																		
# Ensayo	Tiempo de flujo (seg)																	
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
PROMEDIO																		

Tabla 21: Recolección de datos del ensayo en la caja en "L"



 UAC	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL																																				
<u>CAPACIDAD DE PASO - CAJA L</u> NTP 339.034 ASTM C39																																					
NOMBRE DE LA TESIS:	“ ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO Y CONCRETO AUTOCOMPACTABLE DE RESISTENCIA $f'c=210$ Kg/CM2 EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO - CUSCO 2018”																																				
TESISTAS:	Bach. Chavez Cusi , Danae Gandy Bach. Soncco Romero , Stacy Beatriz																																				
Equipo utilizado	_____																																				
Tipo de concreto	_____																																				
Lugar	_____																																				
Fecha	_____																																				
Hora	_____																																				
Temperatura	_____																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Concreto convencional</th> </tr> <tr> <th rowspan="2" style="width: 15%;"># Ensayo</th> <th colspan="2" style="width: 60%;">Altura(cm)</th> <th style="width: 25%;">Altura de relleno (cm)</th> </tr> <tr> <th style="width: 25%;">H1</th> <th style="width: 25%;">H2</th> <th style="width: 25%;">H1/H2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">5</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Promedio</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Concreto convencional				# Ensayo	Altura(cm)		Altura de relleno (cm)	H1	H2	H1/H2	1				2				3				4				5				Promedio			
Concreto convencional																																					
# Ensayo	Altura(cm)		Altura de relleno (cm)																																		
	H1	H2	H1/H2																																		
1																																					
2																																					
3																																					
4																																					
5																																					
Promedio																																					
Equipo utilizado	_____																																				
Tipo de concreto	_____																																				
Lugar	_____																																				
Fecha	_____																																				
Hora	_____																																				
Temperatura	_____																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Concreto convencional</th> </tr> <tr> <th rowspan="2" style="width: 15%;"># Ensayo</th> <th colspan="2" style="width: 60%;">Altura(cm)</th> <th style="width: 25%;">Altura de relleno (cm)</th> </tr> <tr> <th style="width: 25%;">H1</th> <th style="width: 25%;">H2</th> <th style="width: 25%;">H1/H2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">5</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Promedio</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Concreto convencional				# Ensayo	Altura(cm)		Altura de relleno (cm)	H1	H2	H1/H2	1				2				3				4				5				Promedio			
Concreto convencional																																					
# Ensayo	Altura(cm)		Altura de relleno (cm)																																		
	H1	H2	H1/H2																																		
1																																					
2																																					
3																																					
4																																					
5																																					
Promedio																																					

Tabla 22: Recolección de datos del ensayo de la caja en "U"



 UAC	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
<u>CAPACIDAD DE PASO - CAJA U</u> NTP 339.034 ASTM C39		
NOMBRE DE LA TESIS:	“ ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO Y CONCRETO AUTOCOMPACTABLE DE RESISTENCIA $f'_c=210$ Kg/CM2 EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO - CUSCO 2018”	
TESISTAS:	Bach. Chavez Cusi , Danae Gandy Bach. Soncco Romero ,Stacy Beatriz	
Equipo utilizado _____ Tipo de concreto _____ Lugar _____ Fecha _____ Hora _____ Temperatura _____		
Cuadro resumen analisis del ensayo en caja en U.		
Concreto		Altura de llenado (cm)
CS Patron		
	CS	
	CS	
	CC	
CAC PATRON		
	CAC	
	CAC	
	CAC	
Equipo utilizado _____ Tipo de concreto _____ Lugar _____ Fecha _____ Hora _____ Temperatura _____		
Cuadro resumen analisis del ensayo en caja en U.		
Concreto		Altura de llenado (cm)
CS patron		
	CS	
	CS	
	CC	
CAC patron		
	CAC	
	CAC	
	CAC	



Tabla 23: Recolección de la resistencia a la segregación - GTM





	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL																																																	
<u>RESISTENCIA A LA SEGREGACION - ESTABILIDAD DE TAMIZ GTM</u>																																																		
NOMBRE DE LA TESIS:	“ ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO Y CONCRETO AUTOCOMPACTABLE DE RESISTENCIA $f'c=210$ Kg/CM2 EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO - CUSCO 2018”																																																	
TESISTAS:	Bach. Chavez Cusi , Danae Gandy Bach. Soncco Romero , Stacy Beatriz																																																	
Equipo utilizado _____ Tipo de concreto _____ Lugar _____ Fecha _____ Hora _____ Temperatura _____																																																		
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th># ENSAYO</th> <th>CONTENEDOR</th> <th>CONT</th> <th>F</th> <th>FONDO DE TAMIZ</th> <th>Ma</th> <th>Mb</th> <th>SEGREGACIÓN (%)</th> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">a</td> <td style="text-align: center;">b</td> <td style="text-align: center;">c</td> <td style="text-align: center;">d</td> <td style="text-align: center;">b-a</td> <td style="text-align: center;">d-c</td> <td style="text-align: center;">Mb/Ma</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="7" style="text-align: center;">PROMEDIO</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		# ENSAYO	CONTENEDOR	CONT	F	FONDO DE TAMIZ	Ma	Mb	SEGREGACIÓN (%)		a	b	c	d	b-a	d-c	Mb/Ma	1								2								3								PROMEDIO							
# ENSAYO	CONTENEDOR	CONT	F	FONDO DE TAMIZ	Ma	Mb	SEGREGACIÓN (%)																																											
	a	b	c	d	b-a	d-c	Mb/Ma																																											
1																																																		
2																																																		
3																																																		
PROMEDIO																																																		
Equipo utilizado _____ Tipo de concreto _____ Lugar _____ Fecha _____ Hora _____ Temperatura _____																																																		
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th># ENSAYO</th> <th>CONTENEDOR</th> <th>CONT</th> <th>F</th> <th>FONDO DE TAMIZ</th> <th>Ma</th> <th>Mb</th> <th>SEGREGACIÓN (%)</th> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">a</td> <td style="text-align: center;">b</td> <td style="text-align: center;">c</td> <td style="text-align: center;">d</td> <td style="text-align: center;">b-a</td> <td style="text-align: center;">d-c</td> <td style="text-align: center;">Mb/Ma</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="7" style="text-align: center;">PROMEDIO</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		# ENSAYO	CONTENEDOR	CONT	F	FONDO DE TAMIZ	Ma	Mb	SEGREGACIÓN (%)		a	b	c	d	b-a	d-c	Mb/Ma	1								2								3								PROMEDIO							
# ENSAYO	CONTENEDOR	CONT	F	FONDO DE TAMIZ	Ma	Mb	SEGREGACIÓN (%)																																											
	a	b	c	d	b-a	d-c	Mb/Ma																																											
1																																																		
2																																																		
3																																																		
PROMEDIO																																																		



Tabla 24: Recolección de datos de tiempo de fragua

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL																																					
<u>TIEMPO DE FRAGUA DE LA AGUJA VICAT</u>																																						
NOMBRE DE LA TESIS:	“ ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO Y CONCRETO AUTOCOMPACTABLE DE RESISTENCIA $f_c=210 \text{ Kg/CM}^2$ EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO - CUSCO 2018”																																					
TESISTAS:	Bach. Chavez Cusi , Danae Gandy Bach. Soncco Romero , Stacy Beatriz																																					
Equipo utilizado	_____																																					
Tipo de concreto	_____																																					
Lugar	_____																																					
Fecha	_____																																					
Hora	_____																																					
Temperatura	_____																																					
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2">ENSAYO 1</th> <th colspan="2">ENSAYO 2</th> <th colspan="2">ENSAYO 3</th> </tr> <tr> <th>TIEMPO</th> <th>PENETRACION (mm)</th> <th>TIEMPO</th> <th>PENETRACION (mm)</th> <th>TIEMPO</th> <th>PENETRACION (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>		ENSAYO 1		ENSAYO 2		ENSAYO 3		TIEMPO	PENETRACION (mm)	TIEMPO	PENETRACION (mm)	TIEMPO	PENETRACION (mm)																								
ENSAYO 1		ENSAYO 2		ENSAYO 3																																		
TIEMPO	PENETRACION (mm)	TIEMPO	PENETRACION (mm)	TIEMPO	PENETRACION (mm)																																	
Equipo utilizado	_____																																					
Tipo de concreto	_____																																					
Lugar	_____																																					
Fecha	_____																																					
Hora	_____																																					
Temperatura	_____																																					
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2">ENSAYO 1</th> <th colspan="2">ENSAYO 2</th> <th colspan="2">ENSAYO 3</th> </tr> <tr> <th>TIEMPO</th> <th>PENETRACION (mm)</th> <th>TIEMPO</th> <th>PENETRACION (mm)</th> <th>TIEMPO</th> <th>PENETRACION (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>		ENSAYO 1		ENSAYO 2		ENSAYO 3		TIEMPO	PENETRACION (mm)	TIEMPO	PENETRACION (mm)	TIEMPO	PENETRACION (mm)																								
ENSAYO 1		ENSAYO 2		ENSAYO 3																																		
TIEMPO	PENETRACION (mm)	TIEMPO	PENETRACION (mm)	TIEMPO	PENETRACION (mm)																																	



3.4.2 Instrumentos de ingeniería

Los equipos e instrumentos que fueron utilizados en la investigación fueron los siguientes:

1. Para el ensayo de: Contenido de Humedad del Agregado

- Recipiente metálico
- Balanza de precisión
- Horno

2. Para el ensayo de: Granulometría de los Agregados

a. Para la granulometría del agregado fino:

- Espátula
- Bandeja metálica
- Brocha
- Balanza de precisión
- Serie de tamices: N° 4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200

b. Para la granulometría del agregado grueso:

- Espátula
- Bandeja metálica
- Balanza de precisión
- Serie de tamices: 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4
- Peso Específico de los Agregados

3. Para el ensayo de: Peso específico de los agregados

a. Para el peso específico del agregado fino:

- Cono metálico
- Apisonador de metal Fiola de vidrio de 500 ml. Bomba de vacíos
- Balanza de precisión
- Bandeja metálica
- Horno

b. Para peso específico del agregado grueso:



- Balanza con precisión
- Varilla lisa de 5/8" de 60 cm de longitud
- Recipiente cilíndrico o molde de volumen conocido

4. Para el ensayo de: Resistencia a la Abrasión del Agregado Grueso

- Balanza de precisión
- Horno
- Tamices
- Máquina de abrasión Los Ángeles

a. Para el ensayo de: Resistencia a la Compresión de Probetas Cilíndricas de Concreto

- Máquina de ensayo de compresión
- Probetas cilíndricas de concreto
- Escuadra metálica

b. Para el ensayo de: Peso Unitario del Concreto en Estado Fresco

- Balanza de precisión
- Varilla lisa de 5/8" de 60 cm de longitud
- Recipiente cilíndrico o molde de volumen conocido.
- Maso de goma

3.5 Procedimiento de recolección de datos

3.5.1 Muestreo de los agregados (NTP 400.012)

3.5.1.1. Muestreo del agregado fino (NTP 400.012)

1. Objetivo

- Conocer el procedimiento en la toma de muestra de agregado fino.
- Conocer la aceptación o rechazo de los materiales.
- Conocer el procedimiento de la toma de muestra del agregado fino.

- Determinar la cantidad de material mínimo que indica la norma técnica peruana.

2. Equipos y materiales

- Regla de madera
- Espátula
- Bandejas
- Balanza de precisión.
- Pala
- Escoba
- Brocha
- 25 kg. De agregado fino para el cuarteo

3. Procedimiento

- Se tomó una muestra de agregado de 25 kg. de agregado como mínimo.
- Se echó el agregado a un piso limpio libre de residuos y se procedió a formar un cono con el agregado y procedimos con el mezclado con un mínimo de 7 vueltas al mismo tiempo con ayuda de una pala.
- Con ayuda de la pala se extendió el agregado hasta darle una base circular que mantenga un espesor uniforme.
- Con la regla de madera se dividió diagonalmente la muestra en 4 partes similares.
- Una vez dividido procedimos a escoger las 2 partes diagonalmente opuestas de semejantes características y las otras 2 partes se desecharon del muestreo.
- Las partes elegidas se procedieron a mezclar nuevamente y se repitió la operación descrita anteriormente hasta obtener la cantidad de muestra que se requiero, por último la muestra se pesa en la balanza que fueron 5 kg.



Figura 42: División de la muestra de agregado fino en 4 partes similares