

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

“FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA  
USANDO ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES  
CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA  
CIUDAD DE TACNA”

TESIS

Presentada por:

**Bach. José Manuel Aguilar Chanini**

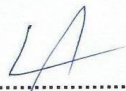
Para optar el Título Profesional de:

**INGENIERO CIVIL**

TACNA - PERÚ

2015

**PÁGINA DE JURADOS**



.....  
Ing. Luis Alfaro Ravello  
Presidente



.....  
Ing. Omar Dueñas Rospigliosi  
Secretario



.....  
Ing. Samuel Amar Antezana  
Vocal

## **DEDICATORIA.**

*A Honorato, mi padre que de Dios goce.*

*A Nazaria, mi madre, a mis hermanos Julia  
Cecilia, Julio César, y Alberto, a Cinthia mi  
esposa y a Fabiana mi hija, mi razón de vivir y  
progresar.*

## **AGRADECIMIENTO.**

*Agradezco de antemano a Dios por estar siempre a mi lado y haberme concedido la bendición de seguir esta maravillosa carrera profesional que edifica esta civilización, tener una gran familia y las ganas de continuar estudiando y seguir en este camino de la investigación científica.*

*A mis hermanos Julia Cecilia, Julio César y Alberto por el apoyo incondicional brindado, por darme las fuerzas suficientes, para superar los momentos difíciles y llegar a culminar esta primera etapa de largo recorrido académico que me depara.*

*A mis primos Hilario, Eva, Jesús y Felipe por las grandes facilidades prestadas por su tiempo dedicado y por su hospitalidad en los viajes realizados para hacer posible el objetivo de esta Tesis.*

*A mi asesor y mentor Ing. Edgar Chura Arocutipa, por su confianza y por incentivar a realizar esta investigación. También agradecerle por el apoyo incondicional, comprensión y guía brindados durante el desarrollo de este trabajo.*

*Al Ing. Santiago Limache jefe de planta de concretos SUPERMIX, por el asesoramiento y facilidades prestadas para realizar los ensayos del tratamiento de materiales en el laboratorio de tecnología de materiales de dicha empresa.*

*Al Ing. Peter Laquita jefe del Laboratorio de Mecánica de Materiales de la Municipalidad Provincial de Tacna, por su asesoramiento en los trámites y ensayos realizados en los ambientes de su representada.*

# ÍNDICE

RESUMEN

SUMMARY

INTRODUCCIÓN

<b>CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES .....</b>	<b>1</b>
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA. ....	1
1.1.1 ANTECEDENTES. ....	1
1.1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1.3 HIPÓTESIS. ....	2
1.1.4 JUSTIFICACIÓN. ....	3
1.2 OBJETIVOS.....	5
1.2.1 OBJETIVO GENERAL:.....	5
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS: .....	5
1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	6
1.4 DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES. ....	7
1.4.1 VARIABLES INDEPENDIENTES. ....	7
1.4.2 VARIABLE DEPENDIENTE.....	7
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>8</b>
2.1 CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA.....	8
2.1.1 INTRODUCCIÓN. ....	8
2.1.2 DESCRIPCIÓN DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA. ....	9
2.1.3 APLICACIÓN DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA. ....	13
2.1.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL CAR.....	17
2.1.5 PRECAUCIONES A TOMAR EN EL CAR.....	17
2.2 MATERIALES.....	18
2.2.1 INTRODUCCIÓN. ....	18
2.2.2 CEMENTO PORTLAND.....	19
2.2.3 AGREGADOS. ....	23
2.2.4 ADITIVOS. ....	37

2.2.5	AGUA.....	53
2.3	MEZCLAS DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA.....	55
2.3.1	INTRODUCCIÓN.....	55
2.3.2	DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA DEL COMITÉ ACI 211.4 .....	57
2.3.3	DISEÑO DE MEZCLA DE AGREGADOS.....	67
2.3.4	MEZCLAS DE CONCRETO.....	78
2.4	ESPECIFICACIONES Y NORMAS.....	82
2.4.1	RESPECTO AL DISEÑO DE MEZCLAS.....	83
2.4.2	RESPECTO A LOS MATERIALES.....	83
2.4.3	RESPECTO AL CONCRETO.....	86
2.4.4	NORMAS COMPLEMENTARIAS.....	90
	<b>CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>91</b>
3.1	METODOLOGÍA Y ESTRUCTURA DE TRABAJO.....	91
3.2	MATERIALES.....	94
3.2.1	AGREGADOS.....	94
3.2.2	AGREGADOS USADOS.....	95
3.2.3	ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE SIKA VISCOCRETE – 20 HE.....	110
3.2.4	MICROSÍLICE SIKA FUME.....	113
3.2.5	NANOSÍLICE SIKA STABILIZER PE.....	115
3.2.6	CEMENTO PORTLAND TIPO IP.....	116
3.2.7	AGUA POTABLE.....	117
3.3	PREPARACIÓN DEL CONCRETO.....	119
3.3.1	PROPORCIONAMIENTO DE LA MEZCLA BASE.....	119
3.3.2	DESARROLLO DEL DISEÑO.....	123
3.3.3	PREPARACIÓN, MEZCLADO Y COLOCACIÓN DE MEZCLAS.....	133
3.3.4	RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO PARA OBTENER CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA.....	138
	<b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>144</b>
4.1	ENSAYOS DEL CONCRETO.....	144

4.1.1	ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.....	144
4.1.2	ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.....	149
4.2	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	155
4.2.1	GENERALIDADES.....	155
4.2.2	AGREGADOS.....	156
4.2.3	ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.....	156
4.2.4	ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.....	159
4.3	ANÁLISIS DE COSTOS.....	161
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>169</b>
5.1	CONCLUSIONES.....	169
5.2	RECOMENDACIONES.....	170
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>172</b>

## **ANEXOS:**

- ANEXO 01: Panel Fotográfico.
- ANEXO 02: Diseños de Mezclas Preliminares.
- ANEXO 03: Diseños de Mezclas.
- ANEXO 04: Certificaciones de ensayo de materiales.
- ANEXO 05: Certificación de ensayos preliminares.
- ANEXO 06: Certificación de ensayos del concreto en estado fresco.
- ANEXO 07: Certificación de ensayos del concreto en estado endurecido.
- ANEXO 08: Certificación del laboratorio de Mecánica de suelos, concreto y asfalto –Municipalidad Provincial de Tacna.
- ANEXO 09: Orden de servicio de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- ANEXO 10: Guide for Selecting Proportion for High – Strength Concrete with Portland cement and Fly Ash.

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
Tabla 2. 1: El concreto como un sistema de cinco componentes. ....	18
Tabla 2. 2: Límites granulométricos del agregado fino. ....	26
Tabla 2. 3: Límites granulométricos del agregado grueso. ....	28
Tabla 2. 4: Pesos específicos aparentes de diversos grupos de rocas. ....	29
Tabla 2. 5: Porosidad de algunas rocas. ....	31
Tabla 2. 6: Máximo porcentaje en peso de la muestra. ....	35
Tabla 2. 7: Tipos de aditivos químicos según la norma ASTM C 494. ....	39
Tabla 2. 8: Superficie específica característica del cemento. ....	45
Tabla 2. 9: Características de la nanosílice, microsílice y sílice precipitada. ....	50
Tabla 2. 10: Contenido máximo de agentes dañinos en el agua de mezclado. ...	55
Tabla 2. 11: Slump recomendado para concretos de alta resistencia. ....	65
Tabla 2. 12: Tamaño máximo del agregado grueso. ....	65
Tabla 2. 13: Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto. ...	65
Tabla 2. 14: Requerimiento aproximado de agua de mezclado. ....	66
Tabla 2. 15: Relación (agua/material cementicio) para concretos sin SP. ....	66
Tabla 2. 16: Relación (agua/material cementicio) para concretos con SP. ....	66
Tabla 2. 17: Valores de las constantes de la ecuación de Fuller-Thompson. ....	70
Tabla 2. 18: Valores de n para la ecuación de Weymouth. ....	74
Tabla 2. 19: Módulo de finura de la combinación de agregados. ....	77
Tabla 3. 1: Análisis químico de la Microsílice Sika Fume. ....	114
Tabla 3. 2: Especificaciones químicas para el cemento Portland tipo IP. ....	117
Tabla 3. 3: Características físicas del Cemento Portland Tipo IP-YURA. ....	117
Tabla 3. 4: Desviación estándar del concreto. ....	120

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
Cuadro 3. 1: Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino. ....	95
Cuadro 3. 2: Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso. ....	96
Cuadro 3. 3: Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino. ....	97
Cuadro 3. 4: Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino. ....	97
Cuadro 3. 5: Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso. ....	100
Cuadro 3. 6: Granulometría del agregado fino usado. ....	101
Cuadro 3. 7: Granulometría del agregado grueso usado. ....	102
Cuadro 3. 8: Peso unitario del agregado fino usado. ....	105
Cuadro 3. 9: Peso unitario del agregado grueso usado. ....	106
Cuadro 3. 10: Peso específico del agregado fino usado. ....	106
Cuadro 3. 11: Peso específico del agregado grueso usado. ....	107
Cuadro 3. 12: Porcentaje de absorción del agregado fino usado. ....	107
Cuadro 3. 13: Porcentaje de absorción del agregado grueso usado. ....	107
Cuadro 3. 14: Resistencia a la abrasión del agregado grueso. ....	109
Cuadro 3. 15: Resumen de propiedades físicas de los agregados usados. ....	110
Cuadro 3. 16: Valores del peso unitario compactado máximo. ....	124
Cuadro 3. 17: Valores de la resistencia a la compresión a los 7 días. ....	126
Cuadro 3. 18: Valores de la resistencia a la compresión a los 3 y 7 días. ....	127
Cuadro 3. 19: Valores de la resistencia a la compresión a los 3 y 7 días. ....	128
Cuadro 3. 20: Resumen de los diseños de mezcla finales. ....	132
Cuadro 4. 1: Valores de consistencia. ....	144
Cuadro 4. 2: Valores del peso unitario del concreto fresco. ....	145
Cuadro 4. 3: Valores de la capacidad de paso para cada diseño. ....	146
Cuadro 4. 4: Valores de la capacidad de paso para cada diseño. ....	147
Cuadro 4. 5: Resistencia a la penetración. ....	148
Cuadro 4. 6: Valores de resistencia a la compresión según edad. ....	150

Cuadro 4. 7: Valores de tracción por compresión diametral. ....	152
Cuadro 4. 8: Valores de módulo de rotura a los 28 días. ....	153
Cuadro 4. 9: Registro de deformaciones, esfuerzos y deformación específica. ....	154
Cuadro 4. 10: Costo del concreto patrón.....	164
Cuadro 4. 11: Costo del concreto con aditivo superplastificante. ....	165
Cuadro 4. 12: Costo del concreto con aditivo más 10% de Microsílice.....	165
Cuadro 4. 13: Costo del concreto con aditivo más 12.5% de Microsílice.....	165
Cuadro 4. 14: Costo del concreto con aditivo más 15% de Microsílice.....	166
Cuadro 4. 15: Costo del concreto con aditivo más 1.0% de Nanosílice. ....	166
Cuadro 4. 16: Costo del concreto con aditivo más 1.25% de Nanosílice.....	166
Cuadro 4. 17: Costo del concreto con aditivo más 1.5% de Nanosílice. ....	167
Cuadro 4. 18: Costo del concreto con aditivo más 5% de MS y 0.5% de NS. ..	167
Cuadro 4. 19: Costo del concreto con aditivo más 7.5% de MS y 1.0% de NS. ....	167
Cuadro 4. 20: Costo del concreto con aditivo más 10% de MS y 1.5% de NS. ....	168
Cuadro 4. 21: Comparación de resistencia vs costos a los 28 días.....	168

## ÍNDICE DE IMÁGENES

CONTENIDO	PÁGINA
Imagen 1: Como actúa el aditivo sobre las partículas del cemento .....	42
Imagen 2: Microfotografía de partículas de cemento .....	43
Imagen 3: Imagen y escaneo electrónico de la microsílíce.....	44
Imagen 4: Imagen y escaneo electrónico de nanosílíce. ....	47
Imagen 5: Concreto convencional y otro usando nanosílíce.....	51
Imagen 6: Curvas de Fuller para diferentes tamaños máximos de agregados. .	71
Imagen 7: Líneas de igual compacidad en la mezcla de agregados. ....	72
Imagen 8: Modelo de Weymouth para partículas de interferencia.....	73
Imagen 9: Curvas de Weymouth para diferentes tamaños de agregados. ....	75
Imagen 10: Granulometrías recomendadas por la norma DIN 1045 .....	77
Imagen 11: Curva granulométrica del agregado fino en estudio. ....	98
Imagen 12: Curva granulométrica del agregado grueso en estudio. ....	99
Imagen 13: Curva granulométrica del agregado fino usado. ....	103
Imagen 14: Curva granulométrica del agregado grueso usado. ....	104
Imagen 15: Curva del peso unitario compactado máximo.....	125
Imagen 16: Curva de la resistencia a la compresión a los 7 días.....	126
Imagen 17: Curva de la resistencia a la compresión a los 3 y 7 días. ....	127
Imagen 18: Curva de resistencia a la compresión con aditivo.....	129
Imagen 19: Asentamiento y extensibilidad de las mezclas de concreto. ....	145
Imagen 20: Peso unitario para cada tipo de mezcla de concreto. ....	146
Imagen 21: Capacidad de paso para cada tipo de mezcla de concreto. ....	147
Imagen 22: Capacidad de paso para cada tipo de mezcla de concreto. ....	148
Imagen 23: Curva Resistencia a la Penetración vs. Tiempo transcurrido.....	149
Imagen 24: Resistencia a la compresión para los diferentes diseños .....	151
Imagen 25: Resistencia a la tracción por compresión diametral.....	152
Imagen 26: Módulos de rotura a la edad de 28 días. ....	153
Imagen 27: Curva Esfuerzo – Deformación. ....	154

## **RESUMEN.**

En el presente trabajo se estudia el Concreto de Alta Resistencia (CAR), fabricado en la ciudad de Tacna con agregados locales de la cantera Arunta, cemento comercial Portland Tipo IP de cementos Yura y aditivos de tecnología de punta adquiridos de la empresa Sika Perú S.A. En este trabajo se presentan las normas y especificaciones que rigen la selección de los materiales utilizados, diseño de mezcla y evaluación del concreto en sus estados fresco y endurecido.

Para la determinación de la mezcla base se usó el método semi empírico del Código ACI 211.4 con relación agua-cemento de 0,40, con la modificación en el proporcionamiento del agregado fino y agregado grueso mediante el método empírico del peso unitario compactado máximo y tomando muestras para ensayarlos a los 7 días. Además, para determinar la cantidad de cemento ideal y la dosis adecuada del aditivo superplastificante se tomaron muestras para la rotura a los 3 y 7 días, este último con relación agua-cemento de 0,25.

Se realizaron mezclas con diferentes cantidades de Microsílice y Nanosílice, estas se diseñaron con relación agua-cemento de 0,25, contenido de cemento de  $565 \text{ kg/m}^3$  y dosis de superplastificante del 2 %. Los asentamientos obtenidos varían en el orden de 10 a 11 pulgadas, y se ensayaron cilindros a 1, 3, 7, 28 y 90 días de edad obteniendo la resistencia más alta de  $1\ 282 \text{ kg/cm}^2$ . También se presenta la comparación de las propiedades del CAR en sus dos estados, y la comparación de sus costos unitarios respecto al diseño patrón (DCPO).

## **SUMMARY**

This work studies High Strength Concrete (HSC) made in Tacna city with local aggregates of Arunta's quarry, Portland Type IP commercial cement from Yura Company, and acquired technology aggregates from Sika Peru SA. It presents rules and specifications that implies the selection of the used materials, type of concrete mixture and fresh and hardened concrete test.

For the determination of the base mixture it was used the semi empirical method from the ACI 211.4 code, on 0.40 water-cement relation, with the modification of the proportion of fine and thick aggregates through empirical method of the maximum unit weight compacted, and taking samples to be tested after 7 days. Furthermore, it determines the ideal amount of cement and proper dosage of the super plasticizer additive then taken breaking samples between 3 and 7 days, this last one in 0.25 water-cement relation.

Comparison of different mixtures of different quantities of nanosilica and microsilica were made, these were designed on 0.25 water-cement relation, contained cement  $565 \text{ kg} / \text{m}^3$  and superplasticizer dose of 2 %. The Settlements obtained vary in the order of 10 to 11 inches in which cylinders tested at 1, 3, 7, 28 and 90 days of age obtaining the highest resistance of  $1282 \text{ kg} / \text{cm}^2$ . Also it presents the properties of high strength comparison concrete in two states and the regarding comparison of unit costs according to the design pattern (DCPO).

## **INTRODUCCIÓN.**

Gracias a las investigaciones sobre el concreto de alta resistencia, han sido posibles construir rascacielos como el Water Tower Place de Chicago en el año 1975 con 262 m de altura y el Burj Khalifa de Dubái en los emiratos árabes entre los años 2004 al 2010 con 828 m de altura; igualmente en el empleo de superestructuras de concreto en puentes tales como el East Huntington sobre el río Ohio de 270 m de longitud construido en el año 1985. Todo esto sin dejar de lado el aspecto Arquitectónico y las exigencias sísmicas.

Los CAR por sus bondades de resistencia y durabilidad tales como el incremento de las resistencias mecánicas a compresión, tracción, flexión y corte han dado lugar a que los elementos estructurales sean de secciones reducidas y con esto la cuantía de acero también disminuye, principalmente en las columnas; además respecto a los edificios de gran altura diseñados con el acero estructural produce menor desplazamiento lateral y con ello le da más resistencia a la rigidez lateral y al acortamiento axial del edificio.

En la ciudad de Tacna la investigación de concretos de alta resistencia es limitada y las edificaciones crecen verticalmente conforme al crecimiento económico y poblacional de la ciudad, y aún se vienen usando concretos tradicionales de hasta  $210 \text{ kg/cm}^2$  como máximo y concretos autocompactantes de hasta  $350 \text{ kg/cm}^2$  eventualmente, con estas resistencias se mantiene el sistema estructural compuesto por columnas, vigas, losas y muros armados.

En vista de la necesidad de explorar nuevos materiales para la tecnología de la construcción para nuestra localidad la presente Tesis denominada “Fabricación y Evaluación de Concreto de Alta Resistencia con aditivo superplastificante y sílices con cemento portland Tipo IP en la ciudad de Tacna”, desarrolla los cinco capítulos siguientes:

**CAPÍTULO I;** denominada como el Problema de Investigación trata cuatro puntos muy importantes como: la formulación del problema, objetivos de la investigación, alcances y limitaciones, y como último punto la definición de variables. En la formulación del problema se da inicio con las revisiones de los antecedentes del uso y las investigaciones respecto al concreto de alta resistencia, seguido por el planteamiento del problema existente, la formulación de la hipótesis, y la justificación de la importancia de esta investigación. A través de los objetivos se plantean los medios para la obtención de resultados favorables y las metas a cumplir en esta Tesis. Finalmente se desarrollan los dos últimos puntos que definen los alcances y limitaciones, y la definición de variables de la investigación.

**CAPÍTULO II;** presenta el marco teórico o estado de arte del concreto de alta resistencia, describiendo sus características y comportamiento, aplicaciones, ventajas y desventajas, y precauciones a tener en cuenta. También se expone respecto a la importancia, propiedades, características, proporciones y requisitos con los que deben cumplir los materiales; además presenta las características, métodos y procedimientos de diseño de mezcla de agregados y del concreto.

Finalmente se ostentan las especificaciones y normas que rigen la selección de los materiales, diseño de mezcla y evaluación del concreto en sus dos estados además de normas complementarias para los ensayos.

**CAPÍTULO III;** desarrolla la parte esencial de esta investigación; trata dos aspectos fundamentales para lograr concretos de alta resistencia; la primera es el desarrollo y presentación de las propiedades y características físicas, químicas y físico-mecánicas de los materiales componentes del concreto de alta resistencia, y la segunda consiste en el proporcionamiento y desarrollo de mezclas de concreto.

**CAPÍTULO IV;** aquí se realizan los principales ensayos del concreto de alta resistencia en sus dos estados (fresco y endurecido) presentando resultados del comportamiento de los mismos a través de cuadros e imágenes; paralelo a esto se realiza el análisis e interpretación de los resultados de cada ensayo; finalmente se presentan los análisis de costos unitarios de cada mezcla por metro cúbico de concreto.

**CAPÍTULO V;** Presenta las conclusiones y recomendaciones de la presente Tesis de investigación.

## **CAPÍTULO I**

### **ASPECTOS GENERALES.**

#### **1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

##### **1.1.1 ANTECEDENTES.**

En el presente siglo XXI la Ingeniería se ha visto revolucionada por investigaciones relacionadas con los aditivos químicos y minerales, que facilitan los trabajos de la industria de la construcción y que permiten obtener materiales nuevos y mejorados al combinar con lo tradicional. El concreto de alta resistencia no es ajeno a este avance, ya que se hicieron investigaciones para obtener resistencias a compresión que llegan a 1 500 kg/cm<sup>2</sup> usado en los rascacielos de Dubái.

El concreto en nuestro país se fabrica desde los 500 kg/cm<sup>2</sup> de Carlos Aire<sup>1</sup>; 700 kg/cm<sup>2</sup> con José Álvarez; con los 1 200 kg/cm<sup>2</sup> de Patricia Morales<sup>2</sup> en el año 2008; y los 1 400 kg/cm<sup>2</sup> de Patricia Vilca<sup>2</sup> y Edher Huincho<sup>2</sup>, realizados en la Universidad Nacional de Ingeniería del Perú.

En nuestra localidad se tiene los 420 kg/cm<sup>2</sup> de Sally Schebesta, en el

---

<sup>1</sup> Doctor por la Universidad Politécnica de Cataluña (España -2002)-CAR con humo de sílice.

<sup>2</sup> Tesistas FIC Universidad Nacional de Ingeniería –Lima – Perú 2008 -2011.

año 2006 como concreto autocompactante, sin embargo se vienen usando concretos de 175-210 kg/cm<sup>2</sup> y eventualmente 280-350 kg/cm<sup>2</sup> como máximo. Es así que la necesidad de contar con diseños propios de la localidad y la ambición de obtener concretos de alta resistencia, han motivado la presente investigación denominada “FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA USANDO ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA”.

#### **1.1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

¿De qué manera es posible producir concretos de alta resistencia en la ciudad de Tacna, y qué características físico mecánicas tendrán estos concretos; cuáles serán los ensayos necesarios para determinar su comportamiento y el costo que involucrará su preparación?

#### **1.1.3 HIPÓTESIS.**

La presente Tesis de investigación tiene la intención de aportar diseños propios de concreto de alta resistencia a la tecnología del concreto local y demostrar que es posible producirla en la ciudad de Tacna, alcanzando la resistencia deseada con el correspondiente incremento en las resistencias en flexión y tensión permitiendo mejores resultados que los obtenidos por los concretos tradicionales. Para su desarrollo se usarán aditivos de tecnología de punta siendo en la actualidad esencial el uso del

aditivo superplastificante y la Microsílice para la obtención de concretos de alta resistencia; pero en el presente siglo se inserta la nanotecnología en los materiales de la Ingeniería Civil uno de ellos es la Nanosílice que de acuerdo a la investigación de WAN JO<sup>3</sup> en el 2007 en morteros de concreto concluye, que ofrece mayores bondades de resistencia a la compresión que la Microsílice; además se usará el cemento portland IP.

Los resultados alcanzados en esta investigación permitirán determinar que con la adición del aditivo superplastificante, microsílice y nanosílice sobre el concreto patrón diseñado con cemento Portland Tipo IP y agregados fino y grueso de la ciudad de Tacna, se logrará la obtención de concretos que ofrecerán bondades de alta resistencia a la compresión en el rango de 500 a 1 200 kg/cm<sup>2</sup> y la mejora de sus propiedades en estado fresco y endurecido a comparación de los concretos tradicionales.

#### **1.1.4 JUSTIFICACIÓN.**

A nivel mundial para la construcción de edificios de gran altura se vienen empleando materiales como el acero estructural y el concreto de alta resistencia, los CAR por sus bondades de elevada resistencia mecánica y durabilidad dan lugar a que los elementos estructurales sean de secciones reducidas, además respecto a los edificios diseñados con el acero estructural produce menor desplazamiento lateral.

---

<sup>3</sup> Investigation: of Effect of Nano - Silica on Properties of Blended Cement – 2007.

Las edificaciones en la ciudad de Tacna debido al crecimiento económico y poblacional están obligadas a crecer verticalmente; entonces la aplicación de la configuración estructural usada actualmente con columnas, vigas y losas aligeradas con concretos de baja resistencia implica el uso de enormes bloques de muros armados debido al alto riesgo sísmico de la zona, atentando así contra la arquitectura, reduciendo espacios con elementos estructurales de gran dimensión y muros armados cerrando por todos lados; además no es posible el uso de aceros estructurales, pues no se cuenta con la tecnología adecuada para su producción y aplicación en edificaciones.

Los estudios realizados a nivel mundial y los realizados en la Universidad Nacional de Ingeniería del Perú, concluyen que los concretos de alta resistencia tienen la versatilidad de la alta resistencia a la compresión, con altas resistencias a la flexión y al corte; esto beneficia a la Ingeniería Estructural con una reducción sustancial de las secciones de los elementos estructurales; además según Rivva López<sup>4</sup> estos concretos deben tener excelente comportamiento frente a acciones sísmicas con un orden de 9 en la escala de Richter.

En Tacna la investigación de concretos de alta resistencia es limitada, y estando ubicada la ciudad en zona de alto riesgo sísmico y obligada al crecimiento vertical de sus edificaciones en el futuro; necesita innovar su

---

<sup>4</sup> Ing. Enrique Rivva López – ICG Concretos de Alta Resistencia - 2002 -2010 Lima-Perú.

tecnología en la industria de la construcción con materiales nuevos y de gran desempeño estructural, además de resistentes a los ataques de los sulfatos y cloruros existentes en los suelos de cimentación de las edificaciones de Tacna; por estas razones se realiza la presente Tesis, con la finalidad de aportar diseños óptimos para la obtención de concretos de alta resistencia a la tecnología del concreto local, empleando agregados locales, cemento Portland Tipo IP, aditivo superplastificante (SIKAVISCOCRETE 20HE), Microsílice (SIKAFUME), y Nanosílice (SIKASTABILIZER PE).

## **1.2 OBJETIVOS.**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL:**

- Fabricar y evaluar el concreto de alta resistencia diseñado con cemento Portland Tipo IP, agregados locales, aditivo superplastificante, microsílice y nanosílice en la ciudad de Tacna; aplicando las metodologías de obtención y determinación de las propiedades para resistencias en el rango de 500 a 1200 kg/cm<sup>2</sup>.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los componentes del concreto de alta resistencia.

- Dosificar el concreto patrón con cemento Portland Tipo IP y agregados de la ciudad de Tacna.
- Determinar la proporción ideal del aditivo superplastificante para producir concretos de alta resistencia trabajables en estado fresco.
- Determinar la dosis adecuada de las sílices: Microsílice y Nanosílice.
- Determinar la mejora de resistencia a la compresión del concreto usando el aditivo superplastificante, Microsílice y Nanosílice adicionados al concreto patrón diseñado con cemento portland Tipo IP.
- Determinar la mejora de las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto de alta resistencia.
- Comparar precios del concreto patrón, con los concretos adicionados de aditivo superplastificante y sílices.

### **1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES.**

Con la presente Tesis se determinará el diseño óptimo para obtener la resistencia más alta a compresión del concreto y la mejora de sus propiedades mecánicas, utilizando la dosificación adecuada de agregados locales, cemento portland Tipo IP, agua potable, aditivo superplastificante y sílices.

La dosificación de concreto de alta resistencia obtenido en la Tesis, es únicamente, para agregados de la localidad de Tacna; siendo delimitado por la propiedades físicas y mecánicas de los agregados de la cantera proveedora y la proporciones de los aditivos, cemento y agua potable usados en el diseño.

#### **1.4 DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES.**

##### **1.4.1 VARIABLES INDEPENDIENTES.**

- Aditivo superplastificante.
- Sílices.

##### **1.4.2 VARIABLE DEPENDIENTE.**

- Fabricación y evaluación de concreto de alta resistencia diseñado con cemento Portland tipo IP y agregados locales de la ciudad de Tacna.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA.**

##### **2.1.1 INTRODUCCIÓN.**

La tecnología del concreto hoy en día ya no es una ciencia joven, ha sufrido una revolución en su desarrollo a partir de la década de los años 80, en la actualidad es muy sencillo lograr concretos especiales con ayuda de los numerosos productos de adición al concreto que se encuentran en el mercado, sin embargo el camino a la optimización del proceso de obtención de estos concretos es aún desconocido en muchos criterios básicos de composición, dosificación y elaboración.

El presente Capítulo pretende dar a conocer a la industria de la construcción todo lo relacionado a este tipo de concreto, es decir, sus características, ventajas, aplicaciones, materiales a utilizar, ensayos a practicarle (equipo, procedimiento y manejo de resultados). Al término del capítulo también se detallarán las normas que rigen el control de la calidad de los materiales usados, normas para el control de calidad de concretos de alta resistencia y las normas para la obtención y manejo de los concretos de alta resistencia.

## **2.1.2 DESCRIPCIÓN DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA.**

### **2.1.2.1 Definición.**

El concreto de alta resistencia es definido por el comité 116 del Instituto Americano de la Construcción ACI como aquella que supera los 450 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión. La producción de concreto de alta resistencia necesita un mayor estudio así como un mayor control de calidad en comparación del concreto convencional.

El CAR es un material de construcción que adecuadamente dosificado, puede alcanzar una resistencia a la compresión igual o mayor a 1 400 kg/cm<sup>2</sup> a los 90 días de edad, y que además cumple con las propiedades deseadas tanto al estado fresco como al endurecido. La dosificación de este tipo de concreto implica una adecuada combinación de cemento portland, agua, agregado fino, agregado grueso, aditivo superplastificante, y adición de sílices; todos los cuales deben cumplir con las especificaciones y normas vigentes.

### **2.1.2.2 Características y Comportamiento.**

El CAR es un concreto innovador, considerado como una nueva categoría de los concreto de alto performance, se caracteriza por poseer cualidades de gran desempeño en sus dos estados, y presentar diferencias dramáticas frente a un concreto convencional.

Los concretos de alta resistencia (CAR) o de alto performance han alcanzado un mayor grado de optimización dado sus usos especiales; sus características mejoradas de resistencia y durabilidad son conocidas, siendo su uso una alternativa real en la construcción de diversas estructuras con requerimientos especiales, que pueden ser tanto del tipo estructural como medioambiental.

La definición del ACI propuesta por Russell en 1999, indica que “un concreto de alta resistencia es el que reúne una combinación especial de requerimientos de desempeño y uniformidad que no siempre puede lograrse usando materiales tradicionales, mezclado normal, criterios de colocación normales y prácticas de curado ordinarias”.

Un Concreto de Alta Resistencia (CAR) es un concreto, en el cual ciertas características son desarrolladas para una aplicación y medioambiente particular, además debe reunir las siguientes características:

- Facilidad de colocación.
- Compactación sin segregación.
- Propiedades mecánicas a largo plazo.
- Resistencias iniciales.
- Permeabilidad.
- Densidad.
- Calor de hidratación.

- Dureza.
- Estabilidad volumétrica.
- Gran periodo de vida de servicio en un medioambiente severo.

Dado que muchas de las características de un CAR son interrelacionadas; un cambio en una sola usualmente resulta en cambios en una o más de otras características. Consecuentemente, muchas características tienen que ser tomadas en cuenta en la producción de concreto para una aplicación, cada una de estas características debe ser claramente especificada en los documentos contractuales.

### **2.1.2.3 Antecedentes de Aplicación del Concreto de Alta Resistencia.**

A menudo el concreto de alta resistencia es considerado relativamente un nuevo material, este fue desarrollándose durante estos últimos años. En la década de los 60 y 70 fue introduciéndose en el mercado de los edificios de gran altura de Chicago.

Se le llama concretos de alta resistencia a aquellos que superan los 45 MPa ( $450 \text{ kg/cm}^2$ ) de resistencia a la compresión; en comparación con los concretos convencionales que solo llegan a resistencias entre 14 a 21 MPa ( $140 - 210 \text{ kg/cm}^2$ ). Este concreto fue expandiéndose gradualmente, tanto que en 1997 se estuvo utilizando alrededor del mundo y despertando a su vez el interés de muchos investigadores por conocer mejor las propiedades de este nuevo y especial súper-concreto.

En principio, la forma de obtención de una mayor resistencia era disminuir el índice de vacíos del hormigón, dicho de otra forma, una mayor compacidad de este, lo cual se puede lograr disminuyendo la relación agua/cemento a los niveles mínimos para la hidratación del cemento, utilizando súper plastificantes y reductores de agua para obtener asentamientos iniciales de 200 mm, pero solo de 75 a 100 mm puesta en obra. Por ello fueron incorporándose los retardadores de fraguado para tratar de mantener un mejor asentamiento en obra.

A partir de esas primeras experiencias fueron aumentando los conocimientos de relación entre la calidad de los agregados y la calidad del concreto: tamaño máximo de los agregados gruesos, módulo de finura de los agregados finos, el tipo de cemento, el tipo de superplastificante y otros agregados que se fueron introduciendo en la elaboración del concreto, gracias a esto hoy el CAR alcanza resistencias superiores a los 100 MPa (1000 kg/cm<sup>2</sup>).

Un ejemplo de aplicación del concreto de alta resistencia de los últimos tiempos es el edificio Burj Kalifa de Dubái (el edificio más alto del mundo actualmente) con una altura de 828 metros. Construida con el CAR, que le dieron una mayor rigidez a la estructura, comparada con las construidas con perfiles de acero, que disminuye la oscilación lateral.

Hay que destacar que además de la mayor resistencia a la compresión,

también se ve mejorada su durabilidad en comparación del hormigón convencional, a la carbonatación, al ataque de cloruros, etc., por ello, se los denomina también de alto desempeño (CAD).

### **2.1.3 APLICACIÓN DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA.**

En general, las ventajas económicas del concreto de alta resistencia son más parecidas cuando este es usado en las columnas de edificios muy altos (rascacielos). En estas aplicaciones, los ingenieros pueden tomar todas las ventajas posibles, incrementando el esfuerzo de compresión, reduciendo la cantidad de acero, el tamaño de las columnas y vigas, aumentando así el espacio en cada ambiente.

No obstante, el uso del concreto de alta resistencia tuvo también propagación en otras aplicaciones como recubrimientos primarios, vigas y puentes de larga extensión. A continuación, exponemos algunas de las potenciales aplicaciones del CAR:

#### **2.1.3.1 Aplicación del concreto a nivel internacional.**

Las más grandes aplicaciones del CAR en los edificios las encontramos en las columnas estructurales de los rascacielos. Desde 1872, más de 30 edificios en Chicago fueron construidos con especificaciones para esfuerzos de compresión de  $420 \text{ kg/cm}^2$ .

- **Japan Center.**

Edificio terminado de construir en 1996 y situado en Frankfurt, tiene 32 plantas (28 de ellas sobre rasante y cuatro sótanos) y una altura de 115 m. Las columnas y las vigas de la corona perimetral están ejecutadas con concretos de resistencias entre 95 a 105 Mpa (950– 1050 kg/cm<sup>2</sup>)

- **Central Plaza.**

Edificio de 78 plantas y 374 m de altura (incluye el mástil). Se encuentra en la ciudad de Hong Kong y su construcción finalizó en 1992. El concreto empleado en los soportes tiene una resistencia a la compresión de 60 MPa (600 kg/cm<sup>2</sup>).

- **Sky Central Plaza.**

Edificio situado en Guangzhou (China), tiene 80 plantas y 322 m de altura de estructura principal y 352 m el punto más elevado. Su construcción finalizó en 1997. El concreto empleado en los elementos estructurales verticales tiene una resistencia a la compresión de 60 MPa (600kg/cm<sup>2</sup>).

- **Petronas Towers.**

Comprende dos torres de 88 plantas cada una (82 sobre rasante y seis plantas sótano), se encuentra situada en Kuala Lumpur, Malasia. Con sus 450 m, es uno de los edificios más altos del mundo. El concreto

dispuesto en los soportes varía en función de la altura, siendo de una resistencia a la compresión de 80 a 130 MPa (800– 1 300 kg/cm<sup>2</sup>).

- **Burj Kalifa.**

Actualmente es el edificio más alto del mundo, con 828 m equivalente a la de un edificio de 200 pisos, alberga 160 plantas habitables. La torre inicia su construcción en septiembre del 2004 y es inaugurado el 4 de enero del 2010. El concreto usado en elementos estructurales varía desde 60 -150 MPa (600 -1 500 kg/cm<sup>2</sup>).

- **Conjunto de edificios Costanera Center.**

Localizado en Santiago de Chile tiene un total de 70 pisos y una altura de 295 m, comprende cuatro torres. La resistencia del concreto usado en elementos verticales es de 90 MPa (900 kg/cm<sup>2</sup>).

### **2.1.3.2 Aplicación del concreto a nivel nacional - local.**

- **Marriot Hotel.**

Edificio localizado en Larcomar Miraflores Lima, tiene 24 pisos y consta de 300 habitaciones y fue inaugurado en el año 2000. En su construcción se usaron concretos de 45 a 70 Mpa (450 kg/cm<sup>2</sup> – 700 kg/cm<sup>2</sup>) de resistencia en cimentaciones y columnas.

- **Centro Cívico de Lima.**

Conjunto arquitectónico ubicado en el cercado de Lima, fue construido en el año 1970, el edificio tiene 33 pisos y una altura máxima de 109 m (102 hasta la azotea). Compuesto de elementos estructurales que constan de columnas y muros de 60 a 70 Mpa (600 – 700 kg/cm<sup>2</sup>).

- **Westin Libertador Lima.**

Edificio localizado en la ciudad de Lima, inicia su construcción en el año 2008 y culmina en el 2010, con una altura de 118 m de 30 pisos. Tiene 311 habitaciones, 5 sótanos y 14 salas. El concreto usado en este proyecto varía desde 42 a 28 MPa (420 – 280 kg/cm<sup>2</sup>).

- **Fuerte del silo de Clinker resistente a la abrasión.**

Calificadas de edificios, se encuentran localizadas en la planta cementera de “Cementos Lima” en Atocongo en la ciudad de Lima. La altura de estas torres de intercambio de calor llega a 110 m. Luego en el 2008 se proyecta la construcción del intercambiador N° 3, la estructura de concreto armado alcanza los 141 m de altura constituidos por placas y vigas. Llegando a usarse concretos de 750 kg/cm<sup>2</sup> en su construcción.

En la ciudad de Tacna la máxima resistencia a compresión usada es de 350 kg/cm<sup>2</sup> como concreto autocompactante en el Hotel de F. Martorell localizada en la Av. Billingurt.

#### **2.1.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL CAR.**

- **Ventajas del concreto de alta resistencia.**

- Alta resistencia a edad temprana y final. Permite la rotación de encofrados y menos tiempo de uso.
- Permite diseñar menores secciones estructurales.
- Permite la reducción de la cantidad de acero de refuerzo en columnas.
- Mejora la protección contra la corrosión del acero de refuerzo.
- Mayor resistencia a la erosión.
- Su consistencia permite bombearlo a grandes alturas.
- Su alta fluidez permite la colocación aun en zonas congestionadas de acero de refuerzo.

- **Desventajas del concreto de alta resistencia.**

- Necesidad de materiales y componentes de alta calidad.
- Control de calidad muy exigente.
- Riguroso cuidado en el curado por la relación agua-cemento baja.
- Rotura frágil.

#### **2.1.5 PRECAUCIONES A TOMAR EN EL CAR.**

- Requiere excelentes condiciones de curado.
- Cualquier adición de agua, cemento o aditivo en obra alterara su diseño, perjudicando la calidad del concreto.
- Se debe cumplir estrictamente todas las normas referentes a manejo, protección y control de concreto.

## 2.2 MATERIALES.

### 2.2.1 INTRODUCCIÓN.

La adecuada selección de los materiales para la producción de concretos de alta resistencia es más exigente que para concretos convencionales, un adecuado control de calidad de estos debe llevarse a cabo, debiendo cumplir con todos los requerimientos y especificaciones. Actualmente el concreto ha sido definido como un sistema de cinco componentes: cemento, agregados, agua, aditivos y adiciones, esta definición de un concreto se ajusta perfectamente a los requerimientos de los concretos de alta resistencia, todas las propiedades del concreto estarán basadas en las variaciones del tipo y cantidad de estos materiales.

**Tabla 2. 1:** El concreto como un sistema de cinco componentes.

<b>Material</b>	<b>Ejemplo de variable</b>
Cemento	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tipo de cemento.</li><li>• Propiedades especiales.</li></ul>
Agregados	<ul style="list-style-type: none"><li>• Normales, ligeros, pesados.</li><li>• Naturales, chancados.</li><li>• Gradación, forma, textura.</li></ul>
Agua	<ul style="list-style-type: none"><li>• Límites de componentes dañinos al concreto.</li></ul>
Adiciones	<ul style="list-style-type: none"><li>• Microsílice, ceniza volante, etc.</li><li>• Pigmentos y Fibras.</li></ul>
Aditivos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Plastificantes, superplastificantes.</li><li>• Acelerantes, retardantes, etc.</li></ul>

Fuente: MCs. Ing. Pablo Portugal Barriga – UNSA.

En la Tabla 2.1 se muestran a los cinco componentes del concreto con algunas de sus variables, el análisis de estas para la selección de los

materiales, conjuntamente con una dosificación adecuada lograrán los requerimientos deseados.

A continuación se desarrolla cada uno de estos componentes, tratando de ser una guía para la selección de estos, para posteriormente realizar la selección de las proporciones que se desarrolla en los capítulos posteriores.

### **2.2.2 CEMENTO PORTLAND.**

El Cemento Portland se presenta en forma de polvo finísimo, de color gris, que mezclado con agua forma una pasta que endurece tanto bajo el agua como el aire. Por endurecer bajo el agua y por necesitar agua para su fraguado se le define como un aglomerante hidráulico.

#### **2.2.2.1 Definición.**

El cemento portland es un aglomerante hidráulico y proveniente de la calcinación (1400°C a 1600°C) hasta la fusión incipiente de materiales calcáreos y arcillosos y posterior molienda muy fina del "Clinker" que es el material resultante de la calcinación, con una pequeña dosificación de yeso, menor al 1% del peso total. El cemento posee la propiedad que al mezclarlo con agua forma una pasta aglomerante, que unido a los agregados y a medida que transcurre el tiempo va aumentando su resistencia y volviéndose más rígida.

### **2.2.2.2 Características necesarias.**

La elección del tipo de cemento a usarse es muy importante para los concretos de alta resistencia, estos deben cumplir con las normas como la ASTM C150 o ASTM C595, por ser el cemento el componente más activo del concreto, y teniendo en cuenta que todas las propiedades del concreto dependen de la cantidad y tipo de cemento a usarse es que la selección del tipo a usarse y una adecuada dosificación son muy importantes.

Es muy importante que el cemento empleado tenga una elevada resistencia y uniformidad. Cementos Tipo I o II de conformidad con la Norma ASTM C150, Tipos IP o IS, los cuales cumplen con las especificaciones de la Norma ASTM C595 y son cementos mezclados con porcentajes fijos de puzolanas o escorias y  $f'_c$  mayores de  $700\text{kg/cm}^2$ , sin embargo, estas proporciones fijas de puzolanas podrán o no ser aptos para un rendimiento óptimo de resistencia.

La cantidad de cemento por metro cúbico que se utilizará en la mezcla debe ser determinada mediante cilindros de prueba. Estos contenidos generalmente están comprendidos entre los  $400$  y  $550\text{ kg/m}^3$ , aunque se han realizado estudios con contenidos mayores.

### **2.2.2.3 Tipos de cemento**

Los Tipos de cemento que existen son los tradicionales: cementos Portland Tipo I, Tipo II, Tipo III, Tipo IV y Tipo V.

Tipo I : cemento portland estándar: para concretos de uso normal, sin propiedades especiales.

Tipo II : cemento portland modificado: para concretos expuestos a ataque moderados de sulfatos, como en suelos y aguas subterráneas, que tienen un bajo contenido de sulfatos. Se usa en estructuras masivas, en donde la temperatura debe ser controlada durante el proceso de hidratación. Retarda el proceso de hidratación.

Tipo III: cemento portland de alta resistencia a edades tempranas: es usado cuando se requiere resistencias a edades tempranas y en lugares fríos.

Tipo IV: cemento portland de bajo calor: cuando el calor durante el proceso de hidratación debe ser mínimo, por ejemplo, las presas de concreto donde se colocan grandes volúmenes de concreto.

Tipo V : cemento portland de alta resistencia a sulfatos: se usa en concreto que estará expuesto a altas concentraciones de sulfatos, por ejemplo: tuberías de aguas residuales, plantas de tratamientos de aguas residuales etc.

#### **2.2.2.4 Elección del cemento a usar.**

Como ya mencionamos anteriormente la elección del tipo de cemento Portland es muy importante para concretos de Alta Resistencia, no solo la resistencia del tipo de cemento es importante sino también su uniformidad.

Existen numerosos estudios los cuales han determinado la influencia de los diferentes tipos de cemento, así como de sus características físicas y químicas, en la efectividad de los aditivos y adiciones. A pesar que los ensayos de resistencia del cemento nos dan una buena indicación del tipo de cemento a usar, es conveniente realizar ensayos de prueba con los materiales y el slump requerido, determinando las resistencias a los 7, 14, 28 días. Recomendaciones específicas son necesarias según las condiciones de servicio a los que serán sometidos los concretos.

Mehta<sup>6</sup> y Aitcin<sup>5</sup> indican que debe considerarse seriamente el uso de los cementos adicionados por su capacidad de reacción de las puzolanas con los hidratos de calcio, que hacen de los concretos elaborados con estos cementos sean más durables, reduciendo la permeabilidad a los agentes externos como el agua, el ion cloruro y el ataque de sulfatos, así también estos concretos tendrán una mayor estabilidad volumétrica y un menor calor de hidratación, dependiendo de la adición del cemento este

---

<sup>5</sup> High-Performance Concrete – 1990.

también podrá alcanzar mayores resistencias en edades avanzadas. Sin embargo destacamos que son los requerimientos del proyecto ya sea de resistencia o durabilidad los que determinen el tipo de cemento a usar.

### **2.2.3 AGREGADOS.**

#### **2.2.3.1 Definición.**

Se define como tales los materiales pétreos inertes resultantes de la desintegración natural de rocas o que se obtienen de la trituración de las mismas. Estos ocupan típicamente las tres cuartas partes del volumen en el concreto, deben estar libres de suciedad, ser durables, y no deben tener sustancias que reaccionen químicamente con el cemento.

#### **2.2.3.2 Clasificación.**

La clasificación entre agregado fino y agregado grueso se realiza basándose en su tamaño, de la siguiente manera: el fino tiene diámetro menor al tamiz número 4 (4,76mm), pero se recomienda que sea mayor que  $74 \mu\text{mm}$  y el agregado grueso que son partículas de un tamaño mayor a 4,76mm.

Según la clasifican de estos por su forma, tenemos: el canto rodado, proveniente de cauces de ríos, forma redondeada, producen concretos de buena calidad y de ventajas como trabajabilidad o docilidad. El agregado triturado, proveniente de la desintegración de rocas en cantera, tiene

ventajas por su composición mineralógica más uniforme y cantos angulosos.

#### **2.2.3.2.1 Agregado fino.**

Está constituida en arena natural, arena manufacturada, o una combinación de ambas; definiéndosele como aquel proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, el cual pasa por la Malla de 3/8" y cumple con los límites establecidos en la Norma NTP 400.037 o ASTM C 33.

#### **2.2.3.2.2 Agregado grueso.**

Se define como agregado grueso al material retenido en el Tamiz 4,75mm (N°4) y que cumple con los límites establecidos en la Norma NTP 400.037 e indicados en la Tabla 2.3.

#### **2.2.3.3 Características y requisitos de los agregados.**

Si bien los agregados son los componentes inertes del concreto, su influencia en las características del concreto es notable; sin embargo durante varios años su estudio fue descuidado, debido principalmente, al bajo costo comparativo con el costo del cemento, además de los bajos requerimientos de resistencia, en los cuales los agregados no tienen gran influencia, hoy en día se conoce la influencia del agregado en las propiedades del concreto tanto en estado fresco y endurecido.

En los concreto de alta resistencia los agregados deben cumplir las normas ASTM C-33 o NTP 400.037, caso contrario se deberá comprobar su eficiencia en el concreto.

### **Forma y textura de las partículas.**

La forma y textura de la superficie de los agregados ejerce gran influencia en la resistencia del concreto. Se ve más afectada la resistencia a la flexión que la resistencia a la compresión, y los efectos de la forma y textura superficiales son especialmente importantes en el caso de concretos de alta resistencia.

Una textura más áspera da por resultados una mayor fuerza de adherencia entre las partículas y la matriz de cemento. Asimismo, la mayor área superficial del agregado angular significa que se puede lograr una fuerza más grande de adherencia.

### **Granulometría.**

Se hace necesario aclarar inicialmente que no existe una curva granulométrica ideal, cada combinación de agregados tendrá la propia suya, la influencia de la forma y textura superficial, son las principales causas para no poder generalizar los conceptos de curva ideal, además de existir otro factor muy poco considerado, para esto debemos aclarar que las curvas granulométricas representan las proporciones de los

diferentes tamaños de partículas de agregados en el conjunto, y en realidad simplemente son un factor determinante en el acomodo de los granos del agregado, por lo cual estas deben tener una relación con los factores externos e internos que generan este acomodo.

La granulometría de los agregados grueso y fino deberá estar dentro de los límites indicados en las Normas NTP 400.037 o ASTM C33, ilustrados en las Tablas 2.2 y 2.3.

**Tabla 2. 2:** Límites granulométricos del agregado fino para diseño de concretos.

Tamiz estándar (abertura cuadrada)	Porcentaje que pasa
3/8" (9,51mm)	100
N°4 (4,75mm)	95 a 100
N°8 (2,38mm)	80 a 100
N°16 (1,19mm)	50 a 85
N°30 (0,595mm)	25 a 60
N°50 (0,297mm)	10 a 30
N°100(0,148mm)	2 a 10

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 400.037.

### **Tamaño máximo.**

El estudio del tamaño máximo de los agregados y su influencia en las propiedades del concreto han sido ampliamente investigados, para obtener una óptima resistencia a la compresión de los concretos con baja relación agua/cemento. Diversos investigadores han concluido que el

tamaño máximo a utilizarse debe variar entre  $\frac{1}{2}$ " a  $\frac{3}{4}$ ", no es recomendable usar tamaños mayores a 1", se ha encontrado que la adherencia de partículas de agregados de 3" es solamente cerca de 1/10 de la de los agregados de  $\frac{1}{2}$ ".

Los agregados con tamaño menor contribuyen a producir concreto más resistentes debido a una menor concentración de esfuerzos alrededor de las partículas causadas por la diferencia de módulos de elasticidad entre la pasta y el agregado.

### **Superficie específica.**

La medición de la superficie específica es aún una de las características del agregado cuya medición es inexacta, existen diferentes métodos para medir esta característica. Se define como superficie específica de una partícula del agregado al área superficial de la misma, su influencia en las características del concreto tanto en estado fresco como endurecido es notable, sobretodo en concretos con baja relación agua/cemento donde tendrá especial influencia en la resistencia a la compresión. Su influencia en las propiedades del concreto fresco se resume en que conforme se incrementa la superficie específica del agregado la trabajabilidad del concreto disminuye.

**Tabla 2. 3:** Límites granulométricos del agregado grueso para el diseño de concretos.

HUSO	TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS													
		100mm (4 pulg)	90mm (3 1/2 pulg)	75mm (3 pulg)	63mm (2 1/2 pulg)	50mm (2 pulg)	37,5mm (1 1/2 pulg)	25,0mm (1 pulg)	19,0mm (3/4 pulg)	12,5mm (1/2 pulg)	9,50mm (3/8 pulg)	4,75mm (N° 4)	2,36mm (N° 8)	1,18mm (N° 16)	4,75µm (N° 50)
1	90mm a 37,5mm (3 1/2 a 1 1/2 pulg)	100	90 a 100	----	25 a 60	----	0 a 15	----	0 a 15	----	----	----	----	----	
2	63mm a 37,5mm (2 1/2 a 1 1/2 pulg)	----	----	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	----	0 a 15	----	----	----	----	----	
3	50mm a 25mm (2 a 1 pulg)	----	----	----	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	----	0 a 5	----	----	----	----	
357	50mm a 4,75mm (2pulg a N°4)	----	----	----	100	95 a 100	----	35 a 70	----	0 a 30	----	0 a 5	----	----	
4	37,5mm a 19,0mm (1 1/2 a 3/4 pulg)	----	----	----	----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	----	0 a 5	----	----	----	
467	37,5mm a 4,75mm (1 1/2 pulg a N°4)	----	----	----	----	100	95 a 100	----	35 a 70	----	10 a 30	0 a 5	----	----	
5	25,0mm a 12,5mm (1 a 1/2 pulg.)	----	----	----	----	----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	----	----	----	
56	25,0mm a 9,5mm (1 a 3/8 pulg.)	----	----	----	----	----	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	----	----	
57	25,0mm a 4,75mm (1 pulg a N°4)	----	----	----	----	----	100	95 a 100	----	25 a 60	----	0 a 10	0 a 5	----	
6	19,0mm a 9,5mm (3/4 a 3/4 pulg.)	----	----	----	----	----	----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	----	----	
67	19,0mm a 4,75mm (3/4 pulg a N°4)	----	----	----	----	----	----	100	90 a 100	----	20 a 55	0 a 10	0 a 5	----	
7	12,5mm a 4,75mm (1/2 pulg a N°4)	----	----	----	----	----	----	----	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	----	
8	9,5mm a 2,36mm (3/8 pulg a N°8)	----	----	----	----	----	----	----	----	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	
89	9,5mm a 1,18mm (3/8 pulg a N°16)	----	----	----	----	----	----	----	----	100	90 a 100	20 a 35	5 a 30	0 a 10	
9	4,75mm a 1,18mm (N°4 a N°16)	----	----	----	----	----	----	----	----	----	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 400.037.

### **Peso específico.**

El peso específico de los agregados depende tanto de la gravedad específica de sus constituyentes sólidos como de la porosidad del mismo. El peso específico cobra especial importancia en los concretos de alta resistencia, dado que por requerimientos de resistencia es usual requerir un agregado con peso específico adecuado y no menor de lo convencional, pues agregados con bajas densidades generalmente indican material poroso, poco resistente y de alta absorción. Sin embargo, estas características de bajo peso específico pueden ser requeridas para concretos ligeros de alto desempeño.

El peso específico aparente del agregado depende de la densidad de los minerales que los componen, así como la cantidad de poros que contengan. La mayoría de los agregados naturales tienen una densidad relativa del orden de 2,60 a 2,70 y el rango de los valores que aparecen en la Tabla 2.4.

**Tabla 2. 4:** Pesos específicos aparentes de diversos grupos de rocas.

<b>Grupo de roca</b>	<b>Peso específico promedio</b>	<b>Amplitud de densidades</b>
Basalto	2,80	2,60 – 3,00
Pedernal	2,54	2,40 – 2,60
Granito	2,69	2,60 – 3,00
Arenisca	2,69	2,60 – 2,90
Hornfelsa	2,82	2,70 – 3,00
Caliza	2,66	2,50 – 2,80
Pórfido	2,73	2,60 – 2,90
Cuarcita	2,62	2,60 – 2,70

Fuente: MCs. Ing. Pablo Portugal Barriga – UNSA.

### **Poros y absorción de los agregados.**

Cuando se habló de la densidad de los agregados, se mencionó la presencia en ellos de poros internos y, de hecho, las características de dichos poros son muy importantes en el estudio de sus propiedades como la adherencia entre el agregado y los materiales cementicios, la resistencia del concreto a la congelación y al deshielo, así como la estabilidad química y la resistencia a la abrasión. Como se mencionó anteriormente, la densidad aparente de los agregados depende también de la porosidad y, como consecuencia de esto, se ve afectado al rendimiento del concreto para un determinado peso del agregado.

Los poros del agregado presentan una variación del tamaño; los más grandes son visibles con un microscopio e incluso a simple vista, pero hasta los poros más pequeños suelen ser mayores que los poros del gel de la pasta de cemento. Los poros menores de 4mm son de especial interés, ya que por lo general se cree que afectan la durabilidad de los agregados sujetos a frecuentes ciclos de congelación – deshielo.

Algunos de los poros del agregado se encuentran completamente dentro del sólido, mientras otros se abren a la superficie de la partícula. Debido a su viscosidad, la pasta de cemento no puede penetrar a gran profundidad en los poros menos grandes; por lo tanto, es el volumen bruto de la partícula el que se considera como sólido para propósitos de cálculo del

contenido de agregado en el concreto. Sin embargo, el agua puede penetrar en los poros y la tasa de penetración dependerá de su tamaño, continuidad y volumen total. En la Tabla 2.5 aparece del orden de porosidad de algunas rocas comunes, está claro que la porosidad del agregado contribuye materialmente a la porosidad general del concreto.

**Tabla 2. 5:** Porosidad de algunas rocas.

Grupo de roca	Porosidad (%)
Arenisca	0,00 – 48,00
Cuarcita	1,90 – 15,10
Caliza	0,00 – 37,60
Granita	0,40 – 3,80

Fuente: MCs. Ing. Pablo Portugal Barriga – UNSA.

Por lo general, se supone que en el momento del fraguado del concreto, los agregados se encuentran saturados y superficialmente secos. Si la dosificación del agregado se ha hecho cuando este se encuentra seco, se supone que absorberá de la mezcla el agua suficiente para que el agregado se sature, y esta agua absorbida no está incluida en el agua neta o efectiva de mezclado. Sin embargo, es posible que cuando se utilice agregado seco las partículas se recubran rápidamente con pasta de cemento, lo que impide el paso del agua necesaria para lograr la saturación. Esto es especialmente cierto cuando se trata de agregado grueso, en el que el agua tiene que viajar un trecho mayor para penetrarlos. Como resultado de esto, la relación agua/cemento es mayor de lo que sería en caso de que hubiera absorbido el agua por completo

desde el principio. Este efecto es muy importante en las mezclas con relaciones bajas agua/cemento las que contienen mayor cantidad de cemento en las que el recubrimiento de pasta ocurre con rapidez. En situaciones prácticas, el verdadero comportamiento de la mezcla se verá afectado solamente por el orden en que se vayan introduciendo los ingredientes a la mezcladora, es recomendable introducir una dosis de agua sobre los agregados antes del cemento.

#### **Peso unitario, compacidad y porosidad.**

Si bien de estos tres conceptos el más utilizado en la tecnología del concreto es el peso unitario, los conceptos de compacidad y porosidad (relacionados comúnmente con la mecánica de suelos) son muy útiles en el campo de los concretos de alta resistencia, a continuación definimos cada uno de estos tres términos.

- **Peso unitario (P.U.):** Se define peso unitario o volumétrico del agregado, ya sea en estado suelto o compactado, al peso que alcanza un determinado volumen unitario. Usualmente esta expresado en Kg/m<sup>3</sup>.
- **Compacidad ( $\phi$ ):** Se define como compacidad del agregado, al volumen de sólidos en un volumen unitario.

$$\phi = \frac{\text{Peso Unitario}}{\text{Peso específico} * \gamma}$$

- **Porosidad ( $\omega$ ):** se define porosidad o contenidos de vacíos, al espacio no ocupado por las partículas de agregado en un volumen unitario  $\omega = 1 - \varphi$ , la porosidad la podemos calcular con la siguiente expresión:

$$\omega = \frac{\text{Peso específico} - \text{Peso Unitario}}{\text{Peso específico}} * 100$$

Estas tres definiciones dependen de los siguientes parámetros principales:

- La gravedad específica de los agregados.
- El tamaño de los granos, descritos por la curva granulométrica.
- La forma y textura de los granos.
- El grado de compactación, la manera de la cual es realizado el acomodo.
- El efecto pared ejercido por el recipiente donde se realiza la prueba.

Se conoce que para medir estos valores, el agregado se debe encontrar en condición seca, pues tendrá el efecto de incrementar el valor del peso unitario del agregado grueso y generará el efecto de abundamiento del agregado fino.

La compacidad de un agregado no solo depende de las diversas características ya mencionadas, sino también de la compactación real a la que es sometido, por ejemplo la compacidad encontrada en el ensayo de peso unitario varillado da una característica del acomodo del

agregado, este acomodo no será el mismo en la mezcla de concreto, las partículas de cemento ejercerán un efecto de lubricación de las partículas de agregado por lo cual la compacidad será diferente, es por esta razón que el valor de compacidad máxima encontrada por combinaciones de agregados grueso y fino, por el método de varillado, debe ser corregido para lograr esta máxima compacidad en la mezcla de concreto.

### **Resistencia de las partículas del agregado.**

En términos generales, la resistencia y elasticidad de los agregados dependen de su composición, textura y estructura. Por lo que una baja resistencia puede deberse a la debilidad de los granos que lo constituyen, o bien, a que siendo estos suficientemente resistentes no estén bien unidos o cementados unos con otros.

Un buen valor promedio de resistencia a la trituración de los agregados será del orden de  $2\ 109\ \text{kg/cm}^2$  (200 Mpa), pero muchos agregados excelentes pueden llegar a tener una resistencia baja de hasta  $843\ \text{kg/cm}^2$  (80 Mpa). En el caso de cierta cuarcita, el valor máximo registrado ha sido de  $5\ 413\ \text{kg/cm}^2$  (530 Mpa). Cabe señalar que la resistencia requerida en los agregados es considerablemente mayor que las incluidas dentro del rango de resistencias del concreto, porque los esfuerzos reales ejercidos en los agregados es considerablemente mayor que las incluidas dentro del rango de resistencias del concreto, porque los

esfuerzos reales ejercidos en los puntos de contacto entre las partículas individuales contenidas en el concreto, pueden ser mucho mayores que el esfuerzo nominal de compresión aplicado.

### **Sustancias inconvenientes.**

**Tabla 2. 6:** Máximo porcentaje en peso de la muestra del agregado fino.

<b>Sustancias deletéreas</b>	<b>Límites de contenido</b>
Lentes de arcilla y partículas deleznableles.	3,0%
Material más fino que la malla N°200.	3,0%
Concreto sujeto a abrasión.	3,0%
Todos los otros concretos.	5,0%
Carbón y lignito:	
Cuando la apariencia de la superficie es importante.	0,5%
Todos los otros concretos.	1,0%
Mica	0,0%
Partículas deleznableles.	3,0%

**Fuente:** Ing. Enrique Rivva López – ICG – 2010.

La cantidad de sustancias deletéreas o partículas inconvenientes presentes en el agregado fino, como porcentaje en peso de la muestra, no deberá exceder de los límites indicados en el Tabla 2.6.

La determinación aproximada de las lentes de arcilla en agregados naturales deberá efectuarse siguiendo lo indicado en la Norma ASTM C142-55T.

### **Materia orgánica.**

El agregado grueso deberá estar libre de cantidades inconvenientes de impurezas orgánicas, no debiéndose indicar presencia de estas cuando se determina de acuerdo con los requisitos de la Norma ASTM C 40 o la Norma NTP 400.013.

#### **2.2.3.4 Recomendaciones para la elección del agregado.**

##### **a) Recomendaciones sobre el agregado fino:**

- Un agregado fino con un perfil redondeado y una textura suavizada requiere menos agua de mezclado en el concreto y por esta razón es más recomendada cuando se requiere concretos con bajas relaciones agua/cemento.
- Las arenas con un módulo de fineza por debajo de 2,5 dan concretos con consistencia espesa que los hace difíciles de compactar. Las arenas con un módulo de fineza igual o mayor de 3,0 dan mejor trabajabilidad y resistencia en compresión. Para bajas relaciones agua/cemento se recomienda usar arenas con un módulo de fineza cercano a 3,0.
- Para concretos con relaciones agua/cemento bajas; las cantidades de materiales cementantes son usualmente altas por lo cual la granulometría del agregado fino tiene relativamente poca importancia, en comparación con su importancia en los concretos con relaciones agua/cemento normales.

#### **b) Recomendaciones sobre el agregado grueso:**

- Debido a la mayor adherencia mecánica de las partículas de perfil angular, la piedra chancada produce resistencias mayores que la grava redondeada. La angularidad acentuada deberá ser evitada por requerir altos contenidos de agua y presentar reducciones en la trabajabilidad.
- Para concretos de alta resistencia, se considera que el agregado ideal debe ser 100% agregado chancado de perfil angular y textura rugosa, limpio, duro, resistente, poco absorbente, de preferencia con el menor porcentaje de partículas chatas o alargadas.
- Los estudios recomiendan el uso de agregado chancado, pues producen resistencias más altas que los agregados redondeados, la razón principal de esto es la adherencia mecánica que puede ser desarrollada con partículas angulares. Sin embargo, partículas muy anguladas causan disminución de la trabajabilidad. El agregado ideal debe ser limpio, de formas cúbicas y anguladas, 100% chancado con un mínimo contenido de partículas planas y alargadas.

#### **2.2.4 ADITIVOS.**

Son los materiales, aparte del cemento, los agregados y el agua empleados normalmente en la preparación del concreto, puede

incorporarse antes de o durante la ejecución de la mezcla, con el objeto de modificar alguna o varias de sus propiedades en la forma deseada, aportando un volumen desestimable. Los hay de dos tipos: aditivos químicos y aditivos minerales.

#### **2.2.4.1 Aditivos químicos.**

##### **Introducción.-**

Desde la década de 1930, el uso de aditivos en el concreto se ha difundido, pero no es hasta la década de 1970 cuando su uso se incrementó significativamente, sin embargo en el Perú su uso aun no es generalizado a pesar del incremento registrado en la pasada década. La definición actual del concreto como un material de 5 componentes tomará mayor fuerza en los próximos años dadas las nuevas tecnologías, en las cuales los aditivos químicos tienen un papel muy importante. Existe gran variedad de aditivos químicos sin embargo son los plastificantes y superplastificantes los aditivos químicos más comúnmente utilizados en el concreto.

La forma de actuar de los aditivos superplastificantes se encuadra dentro de alguno de los cuatro mecanismos mencionados a continuación:

- Adsorción del polímero sobre las superficies de las partículas.
- Repulsión electrostática (dispersión).

- Repulsión estérica (barrera).
- Bloqueo de los sitios reactivos superficiales de las partículas del cemento por las moléculas de superfluidificantes.

### **Clasificación según norma.-**

Los aditivos plastificantes y superplastificantes han sido clasificados según norma ASTM C-494, donde se encuentran combinados con la acción de aditivos reductores y aceleradores de fragua, en la Tabla 2.7 se muestra los diferentes tipos.

A diferencia de los plastificantes (Tipos A, D y E), los superplastificantes (Tipos F y G) pueden reducir el contenido de agua de una mezcla hasta un orden del 40%.

**Tabla 2. 7:** Tipos de aditivos químicos para el concreto según la norma ASTM C 494.

<b>Tipo</b>	<b>Características</b>
A	Actúan como reductores de agua.
B	Actúan como retardadores del tiempo de fraguado.
C	Actúan como Acelerantes.
D	Actúan como reductores de agua y retardadores de fragua.
E	Actúan como reductores de agua y Acelerantes.
F	Actúan como reductores de agua del alto rango.
G	Actúan como reductores de agua de alto rango y retardadores.

**Fuente: ASOCEM – Boletín de Ingeniería – 2014.**

En el mercado Peruano se puede encontrar diferentes marcas de aditivos químicos, la elección del tipo y marca se debe realizar según los

requerimientos específicos de calidad que son de mayor importancia, en estos productos dado que un mal control de calidad en la elaboración de los diferentes compuestos, puede provocar inadecuadamente propiedades del concreto elaborado con este producto.

#### **2.2.4.2 Aditivos minerales.**

##### **Generalidades.-**

El uso de adiciones minerales en el concreto, no es una tecnología reciente, Maliowski reporta un viejo ejemplo que data de 5000 – 4000 años A.C., la cual fue una mezcla de limos y una puzolana natural, los viejos escritos del Ingeniero romano Marcus Vitrubius Pollio, reportan cementos hechos por los Griegos y Romanos, los que describe como de durabilidad superior, él indica que los Romanos desarrollan técnicas superiores mediante el uso de una combinación de limos y puzolanas. Actualmente, el uso de adiciones minerales al concreto y al cemento, se ha difundido mundialmente, estando en boga el uso de materiales como la ceniza volante y el filler calizo, este incremento en el uso de estos materiales se debe principalmente a las mejoradas propiedades del concreto en sus estados fresco y endurecido; este incremento de trabajabilidad, durabilidad y según sea el caso de resistencia, hacen que el uso de adiciones ya sea naturales o artificiales sea muy recomendado para el concreto.

Por medio de estas adiciones minerales de extrema finura y químicamente reactivos, se logran llenar los microvacíos del empaquetamiento granular conformado por agregados y cemento, mejorando la compacidad del material y a la vez, las propiedades de la mezcla fresca.

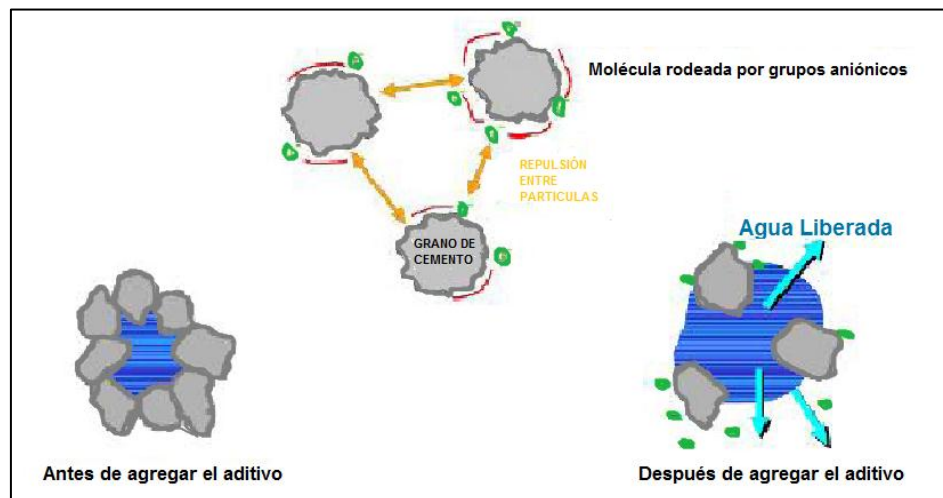
La cantidad de agua necesaria puede ser reducida mejorando la resistencia del concreto. Por otra parte, estas adiciones reaccionan a mediano y largo plazo con el hidróxido de calcio producido en la hidratación del cemento Portland, dando como resultado compuestos de mucha mayor resistencia.

#### **2.2.4.3 Aditivos usados en la investigación.**

##### **2.2.4.3.1 Aditivos Superplastificantes.**

También conocidos como fluidificantes, son aditivos reductores de agua de alto rango según la norma ASTM C-494 de los tipos F y G, los cuales tienen por finalidad reducir sustancialmente el contenido de agua del concreto manteniendo una resistencia dada y sin producir efectos indeseables sobre el fraguado. Igualmente se emplean para incrementar el asentamiento sin necesidad de aumentar el contenido de agua en la mezcla de concreto.

**Imagen 1:** Como actúa el aditivo sobre las partículas del cemento

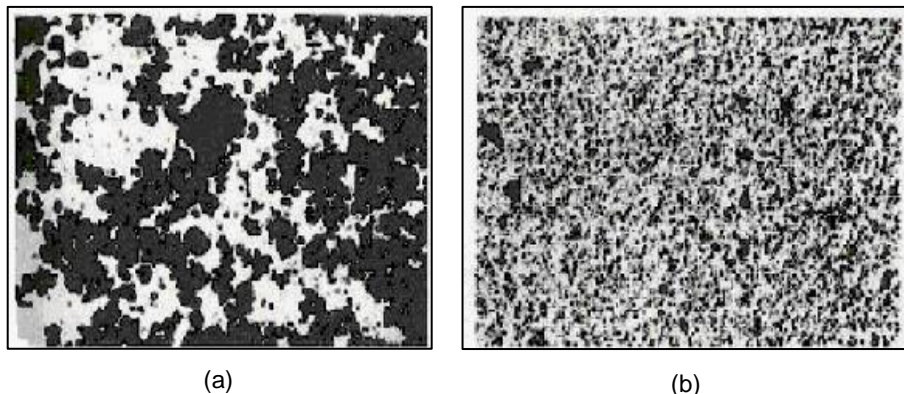


Fuente: Antony Pajuelo Amez- Tesis – Universidad Nacional de Ingeniería – Perú.

Los aditivos superplastificantes o reductores de alto rango son surfactantes aniónicos de naturaleza orgánica, que una vez disueltos en agua, dispersan las partículas del cemento y mejoran la cohesión y reología del sistema cementante (Edmeades, R.M. et al. 1998).

Estos aditivos superplastificantes (basados en policarbonatos) se adsorben sobre los granos de cemento a través de sus grupos aniónicos (grupos sulfónicos), debido a la carga positiva superficial de las partículas de cemento. Además, una parte de estos grupos con carga negativa quedan en contacto con la disolución confiriendo a los granos de cemento una carga neta negativa responsable de una repulsión de tipo electrostático entre ellos. Esta repulsión provoca la dispersión entre los granos de cemento, liberando el agua contenida en los flóculos (Imagen 1).

**Imagen 2:** Microfotografía de partículas de cemento en una solución de agua/cemento si aditivo superplastificante (a) y con aditivo superplastificante (b) (Mehta y Monteiro, 1994)



Fuente: Antony Pajuelo Amez- Tesis – Universidad Nacional de Ingeniería – Perú.

El superplastificante es muy efectivo en la floculación y dispersión de las partículas de cemento, son aditivos altamente eficientes cuando se utilizan adecuadamente, por medio de él es posible:

- a) Aumentar la trabajabilidad del concreto sin adición de agua.
- b) Dispersar las partículas del cemento de tal forma que los concretos puedan fabricarse usando menos agua de la necesaria para una completa hidratación de la pasta.
- c) Producir pastas de cemento hidratado lo suficientemente estables y densas para unirse fuertemente a los agregados y al acero de refuerzo, para producir un material compuesto muy resistente.

#### 2.2.4.3.2 Microsílice.

Es un polvo muy fino, obtenido por la decantación del humo de chimeneas de altos hornos de aleaciones metálicas, el cual está compuesto del 90% al 95% de dióxido de sílice amorfo y que tiene propiedades puzolánicas que le permiten reaccionar químicamente con el hidróxido de calcio para formar un gel con notable incremento en las propiedades positivas del concreto, especialmente su resistencia en compresión y su durabilidad.

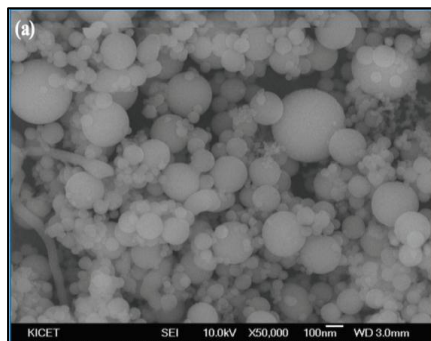
#### Definición:

Según el Comité 116 del ACI "American Concrete Institute", define a la Microsílice como: "Una sílice no cristalina muy fina producida por altos hornos de arco eléctrico como un subproducto de la fabricación de silicio metálico o ferro silicio".

**Imagen 3:** Imagen y escaneo electrónico de la microsíllice



Fuente: Silica Fume User's Manual 2005



Fuente: Byung Wan Jo, et. Al., 2007

### **Producción:**

Es un subproducto de la reducción de cuarzo de alta pureza con carbón mineral, el cual es calentado a 2 000 grados centígrados en un horno de arco eléctrico durante la fabricación de aleaciones de ferrosílice y silicio metálico, siendo la aleación recogida en el fondo del horno.

El cuarzo es calentado conjuntamente con carbón o madera, empleados para remover al oxígeno. Conforme el cuarzo se reduce a aleación, deja escapar vapores de óxido de silicio. En la parte superior del horno, estos humos se oxidan en contacto con el oxígeno de la atmosfera y se condensan en microesferas de sílice amorfa.

### **Características de la Microsílices:**

La Microsílice es producida como un polvo ultra fino de color gris, el cual tiene las siguientes propiedades típicas:

**Tabla 2. 8:** Superficie específica característica de materiales usados como adición y del cemento.

<b>Material</b>	<b>Superficie Especifica</b>
Microsílices	200 000 cm <sup>2</sup> /kg
Cenizas	4 000 – 7 000 cm <sup>2</sup> /gr
Escorias	3 500 – 6 000 cm <sup>2</sup> /gr
Cemento portland	3 000 – 4 000 cm <sup>2</sup> /gr

**Fuente:** MCs. Ing. Pablo Portugal Barriga – UNSA.

- a) Un contenido de por lo menos 90% de SiO<sub>2</sub>.
- b) Partículas con tamaño promedio de 0,1 – 0,2 micrómetros.

- c) Superficie específica mayor de 15 000 m<sup>2</sup>/kg.
- d) Perfil esférico de las partículas.
- e) Mínimo contenido de carbón.

#### **Empleo de Microsílices en el concreto:**

Estas fueron inicialmente consideradas como un material de reemplazo del cemento y en algunas áreas ese es todavía su único uso.

En general, parte del cemento puede ser reemplazada por una cantidad menor de Microsílice. La adición de esta generalmente incrementa la demanda de agua. Si se desea mantener la misma relación agua/cementante, deberá usarse un aditivo reductor de agua.

Debido a su limitada disponibilidad y su alto precio, referido al cemento Portland u otras puzolanas o escorias, las Microsílices han sido empleadas en forma creciente como un material para mejorar las propiedades del concreto, es decir, para proporcionar concretos con muy altas resistencias en compresión o con muy alto nivel de durabilidad.

#### **2.2.4.3.3 Nanosílices.**

La Nanosílice consiste en nanopartículas de sílice modificadas químicamente para permitirles estar en solución, ser estables, tener aún mejores propiedades que la Microsílice, y con la ventaja adicional de no contaminar; ni al medio ambiente ni a los operadores, y de carecer de sus

ventajas de aglomeración y retracción. Aparte de su alta superficie efectiva de reacción, la clave de su gran desempeño en comparación con la Microsílice, es su mayor reactividad química.

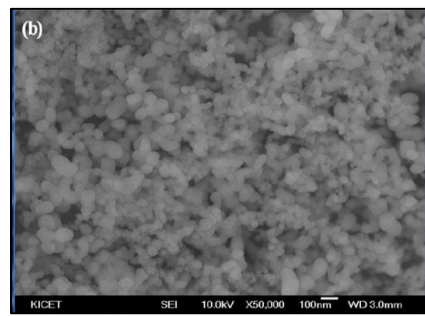
**Definición:**

La Nanosílice está constituida por partículas de tamaño nanométrico (decenas de nanómetros) compuestas mayoritariamente por  $\text{SiO}_2$ . Cuando la sílice se mezcla con iones de calcio, sodio o potasio, como los productos provenientes de la reacción de hidratación del cemento, produce partículas de C-S-H (gel) que es el “pegamento” del concreto, lo que mantiene cohesionada todas las partículas.

**Imagen 4:** Imagen y escaneo electrónico de nanosílice.



Fuente: Edher Huincho-Tesis-UNI-Lima.



Fuente: Byung Wan Jo, et. al., 2007.

Los mecanismos propuestos de los fenómenos que ocurren al incorporar las nanopartículas de sílice en el cemento se pueden recoger de la siguiente manera:

- Estas actúan como núcleo durante el proceso de hidratación gracias a su alta energía superficial y a la actividad de los átomos en su superficie que le permiten generar muchos más sitios de nucleación para la formación de los productos de hidratación. Lo cual se traduce en una mejora de la adherencia del cemento hidratado y aumento de la cinética de hidratación del cemento, lo cual es favorable para la resistencia (Qing et al, 2006; Li et al, 2004; 2004).
- A través de la reacción de las partículas de Nanosílice con el  $\text{Ca(OH)}_2$  (portlandita o CH) y del aceleramiento del proceso de hidratación, este C-S-H (gel) llena los espacios vacíos para mejorar la densidad, la cohesión y la impermeabilidad, mejorando la integración y estabilidad de los productos de hidratación, esto a su vez incrementa la resistencia. (Ji, 2005; Li, Xiao 2004).

### **Características.**

Las nanopartículas de sílice, presentan distribuciones bastantes homogéneas, son de color negro o muy oscuras, como una especie de puntos, poseen formas tetraédricas bastante bien definidas, con tamaños individuales que oscilan entre 4,73 (nm) y 14,19 (nm). Tiene la tendencia a agruparse en clústeres entre 3 y 5 nanopartículas, con tamaños grupales entre 16,55 (x3) y 35,47 (x5)(nm), con fórmulas cristalinas relativamente distorsionadas y con bordes bastante irregulares.

A mayor porcentaje de nanopartículas se tiene mayor consistencia y más aglomeración, con menos espacios entre los microconstituyentes del mortero lo que le da una morfología distinta en relación a una muestra patrón, que no tiene adiciones de nanosílice. Esto que se aprecia a nivel superficial, tiene gran relación en cuanto al comportamiento (quizás no precisamente directa), con lo que ocurre al interior de las muestras, lo que implica mejores propiedades de los materiales ante la distribución de cargas, porosidad, microgrietas. Esto implica mayores resistencias a flexotracción y compresión por ejemplo, dada la menor existencia de vacíos por la mayor presencia de nanopartículas (nanocemento) lo que implica mayores dosis, mejor distribución de esfuerzos como la menor posibilidad de agrietamiento y la homogeneidad de la mezcla, entre otros. (Cárcamo, 2006).

### **Nanosílice, microsílice y sílice precipitada.**

La microsílice, la sílice precipitada, y la nanosílice, tienen un rango que puede llamarse “similar” en cuanto a tamaño de partículas, pero las dos primeras, al existir como una gran aglomeración de partículas y no como partículas aisladas, tienen una mucho menor área efectiva de superficie en comparación con la nanosílice. De allí la alta velocidad de reacción que presenta la nanosílice y las mayores resistencias que permiten a 12 y 24 horas.

Basándose en la bibliografía es posible establecer que al contrastar la microsílíce con la nanosílíce, la primera presenta una serie de estructuras no homogéneas en su composición y que en el momento de la reacción de hidratación del cemento al combinarse con el hidróxido de calcio formará una serie de estructuras CSH (silicato de calcio hidratado) poco ordenadas. La nanosílíce en cambio, presenta menor cantidad de estructuras componentes, sin embargo es un compuesto mucho más puro y ordenado, con formas cristalinas más regulares que forman la misma o incluso mayor cantidad de estructuras CSH.

**Tabla 2. 9:** Características generales de la nanosílíce, microsílíce y sílice precipitada.

Tipo	Densidad (g/ml)	Tamaño de partículas (nm)	Área específica de superficie (m <sup>2</sup> /g)	Apariencia
Nanosílíce	1,15	3 – 150	20 – 1 000	Líquido
Sílice precipitada	0,16	20 – 50	20 – 100	Polvo seco
Microsílíce	0,30	200 – 1 000	15 – 20	Polvo seco

Fuente: MCs. Ing. Pablo Portugal Barriga – UNSA.

## EMPLEOS DE NANOSÍLICE EN EL CONCRETO.

### Forma de uso.

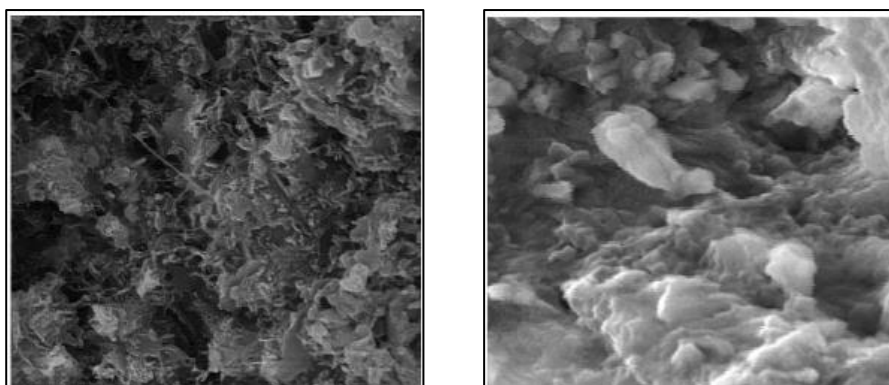
Sus dosis recomendadas están entre 0,2 y 2,1% en relación al peso del cemento. No requiere cuidados ni precauciones especiales y se trata como cualquier otro aditivo líquido para el hormigón. En caso de congelación, debe dejarse descongelar y agitar un poco.

### ¿Cómo actúa el nanosílice en el concreto?

Cuando la sílice se mezcla con iones de calcio, sodio o potasio, como los productos provenientes de la reacción de hidratación del cemento, producen partículas de CSH (silicato de calcio hidratado), que es el “pegamento” del concreto, lo que mantiene cohesionado a todas sus partículas.

Al estar en tamaño nanométrico, la nanosílice produce partículas de CSH con un tamaño de entre 5nm y 250nm, nano-CSH, lo que mantiene cohesionado a todas sus partículas, reforzando la estructura del hormigón a un nivel mil veces más pequeño que el concreto tradicional, generando una alta superficie efectiva (tiene 1 000m<sup>2</sup>/g frente a 20 m<sup>2</sup>/g de microsílice), por lo que es posible reducir el uso del cemento, es decir nanosílice es en sí misma un productor de nanocemento.

**Imagen 5:** Concreto convencional (izquierdo) y otro usando nanosílice (derecha)



Fuente: Antony Pajuelo Amez- Tesis – Universidad Nacional de Ingeniería – Perú.

Además no requiere de superplastificantes porque la nanosílice otorga plasticidad y trabajabilidad excepcional al concreto, lo que hace innecesario el uso de estos.

### **Aplicaciones de la nanosílice.**

- Grouts.
- Lechadas para pernos (60 – 70 MPa en 24 horas).
- Shotcrete.
- Concretos autocompactantes.
- Concretos prefabricados (30–50 Mpa en 6–8 horas según requerimiento).
- Concretos fast-track (40 Mpa a 4 horas).
- Concretos de alta resistencia.
- Concretos de alto desempeño.
- Concretos livianos de baja densidad.
- Lechada para pozos petroleros.
- Pavimentos.
- Concretos marinos.
- Puentes.
- Vigas pre y postensadas.
- Y todas las aplicaciones tradicionales de microsílice.

### **Ventajas de usar Nanosílice:**

- Versátil: desde altas resistencias, tanto a compresión como a tracción, a bajas dosis (1,0 – 1,5% en peso del cemento) hasta propiedades autocompactantes a altas adiciones.

- Posee una muy buena trabajabilidad, incluso a valores muy pequeños de la relación agua-cemento (A/C) como 0,20. como consecuencia de lo anterior, el concreto “se coloca solo”. Por lo que esta trabajabilidad hace innecesario el uso de superplastificantes, excepto pequeñas dosis para los concretos autocompactantes.
- Alta velocidad de reacción.

### 2.2.5 AGUA.

Debido a que el agua ocupa un papel predominante en las reacciones del cemento durante el estado plástico, el proceso de fraguado y el estado endurecido de un concreto; la presente sección pretende dar una visión generalizada acerca de las características que debe tener desde un punto de vista de la tecnología del concreto.

#### 2.2.5.1 Definiciones.-

- **Agua de mezclado.-** Es definida como la cantidad de agua por volumen unitario de concreto.
- **Agua de hidratación.-** Es aquella parte del agua original de mezclado que reacciona químicamente con el cemento para pasar a formar parte de la fase sólida del gel, es también conocida como agua no evaporable.
- **Agua evaporable.-** el agua restante que existe en la pasta, es agua que puede evaporarse, pero no se encuentra libre en su totalidad. El gel cemento cuya característica principal es un enorme desarrollo superficial

interno, ejerce atracción molecular sobre una parte del agua evaporable y la mantiene atraída.

- **Agua de adsorción.-** es una capa molecular de agua que se halla fuertemente adherida a las superficies del gel por fuerzas intermoleculares de atracción.
- **Agua capilar.-** En el agua que ocupa los poros capilares de la pasta, a distancias que suelen estar comprendidas en el intervalo de 30 a 10 Å, de manera que parte de ella está sujeta débilmente a la influencia de las fuerzas de superficie de gel.
- **Agua Libre.-** Es la que se encuentra fuera de la influencia de las fuerzas de superficie, de tal modo que tiene completa movilidad y puede evaporarse con facilidad.

#### **2.2.5.2 Requisitos de calidad.-**

El agua a ser empleada debe cumplir con los requisitos dados por las normas como la NTP 339.088, y ser de preferencia potable. Si se hace necesario el uso de agua no potable, se deben realizar estudios comparándola con agua potable, manteniendo la similitud en los procedimientos. En la siguiente tabla se dan los valores máximos permisibles de diferentes compuestos presentes en el agua, sin embargo es necesario descartar que no existen criterios uniformes en cuanto a estos valores.

**Tabla 2. 10:** Contenido máximo de agentes dañinos en el agua de mezclado para el concreto – Norma Técnica Peruana NTP 339.088.

<b>Sustancia</b>	<b>Valor máximo NTP 339.088</b>
Cloruros	330 ppm
Sulfatos	300ppm
Sales de magnesio	150 ppm
Sales solubles totales	500 ppm
Ph	Mayor de 7.
Sólidos en suspensión	1500 ppm
Materia orgánica	10 ppm

Fuente: Norma Técnica Peruana 339.088 – 2013.

## **2.3 MEZCLAS DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA.**

### **2.3.1 INTRODUCCIÓN.**

Las proporciones de las mezclas a ser empleadas en los concretos de alta resistencia son variadas, dependiendo de muchos factores. Los requisitos de resistencia, la edad de los ensayos, las características del material, y el tipo de aplicaciones en que va ser empleado el concreto, tienen influencia en la selección de las proporciones de la mezcla.

Adicionalmente, razones económicas, requisitos estructurales, prácticas de fabricación, ambiente de curado, y aun la estación del año, son factores que pueden afectar la selección de las proporciones de las mezclas de alta resistencia.

El proporcionamiento de mezclas de concreto de alta resistencia es un proceso más crítico, y por ello debe ser más cuidadoso, que el diseño de mezclas de concreto de resistencia normal. Generalmente se emplea material Puzolánico, en este caso sílices, y aditivos plastificantes especialmente seleccionados. En los concretos de alta resistencia la obtención de una relación agua-material cementante baja se considera esencial.

Debe recordarse, al seleccionar las proporciones que los consumos de cemento varían de 425 y 550 kg/m<sup>3</sup> y la relación agua-cemento, en peso, entre 0,25 y 0,35. Se considera, en teoría, que una relación agua-cemento del orden de 0,28 es adecuado para la hidratación total del cemento.

Por ello algunos investigadores afirman que el proceso de diseño de mezclas de concretos de alta resistencia, debe enfocarse principalmente a la búsqueda del agregado apropiado y a una adecuada relación fino - grueso.

Por ello, autores como Walker y Bloem (1958-1961), insisten que para lograr altas resistencias debe seleccionarse los tamaños menores, lo que permite aumentar la superficie específica y la adherencia entre mortero y el agregado, con lo cual se incrementa en forma sustancial la resistencia del concreto.

Los investigadores mexicanos consideran necesario tener en consideración tres relaciones básicas:

- a) Las mezclas diseñadas deberán reunir características adecuadas de trabajabilidad, consistencia y resistencia.
- b) El concreto debe ser compactado totalmente, el método depende de la consistencia de la mezcla.
- c) Un incremento en la cohesión aumenta la resistencia del concreto, siendo esta la forma más directa para conseguir concretos de alta resistencia.

### **2.3.2 DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA DEL COMITÉ ACI 211.4**

El método propuesto por el comité 211.4 del ACI abarca el rango de resistencia entre 450 a 840 kg/cm<sup>2</sup>, este método es aplicable a concretos de peso normal. Las consideraciones básicas de este método al igual que el método para concretos convencionales es la determinación de la cantidad de los materiales requeridos para producir un concreto con las propiedades en estado fresco y endurecido deseadas y a un bajo costo. Generalmente, en concretos de alta resistencia con adiciones puzolánicas y aditivos químicos especialmente seleccionados se considera la obtención de una relación agua-material cementante  $a/(c+p)$  baja.

El procedimiento para el proporcionamiento de nuestra mezcla consiste en una serie de pasos, con los cuales se debe cumplir los requerimientos de resistencia y trabajabilidad deseadas.

#### **2.3.2.1 Proporciones de mezclas.**

Las proporciones de mezcla para un concreto de alta resistencia son de un proceso más crítico que el diseño de mezclas normales. Generalmente es considerado esencial emplear puzolanas seleccionadas y aditivos químicos para lograr una relación de agua/cemento baja. A menudo se exigen muchos ensayos de prueba para que el laboratorista identifique cual es la proporción de mezcla más óptima.

#### **2.3.2.2 Procedimiento para el proporcionamiento de la mezcla.**

El procedimiento a ser empleado requiere de experiencia, intuición, un profundo conocimiento de los principios básicos, un buen conocimiento de las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los materiales disponibles y una apreciación de las limitaciones bajo condiciones de obra.

El desarrollo de los siguientes pasos dará como resultado, un conjunto de proporciones, que ajustadas con las pruebas de laboratorio darán la mezcla base; el cual servirá para determinar la dosificación óptima de los aditivos y adiciones minerales, para lograr concretos de alta resistencia.

- **PASO 1:**

**Selección del slump y la resistencia del concreto requerido**, valores recomendados para el slump se muestran en la Tabla 2.11 a pesar que un concreto de alta resistencia es producido exitosamente con la adición de un superplastificante sin una medida inicial del slump, es recomendado un slump de 1" a 2" antes de adicionar el superplastificante. Esto asegurará una adecuada cantidad de agua para la mezcla y permitirá que el superplastificante sea efectivo.

Para un concreto elaborado sin superplastificante es recomendado un slump entre 2" a 4", este puede ser escogido de acuerdo al trabajo a realizarse. Concretos con menos de 2" de slump son difíciles de consolidar dado al alto contenido de agregado grueso y materiales cementicios.

- **PASO 2:**

**Seleccionar el tamaño máximo del agregado**, basados en los requerimientos de resistencia, el tamaño máximo del agregado grueso es dado en la Tabla 2.12. El ACI 318 establece que el tamaño máximo de un agregado no debe exceder un quinto de la dimensión menor entre los lados del elemento, la tercera parte de la profundidad de la losa, o las tres cuartas partes del mínimo espaciamiento entre las barras del refuerzo.

- **PASO 3:**

**Seleccionar el contenido óptimo del agregado grueso**, el óptimo contenido de agregado grueso depende de su resistencia, características y tamaño máximo. El contenido óptimo recomendado de agregado grueso, expresado como una fracción del peso unitario compactado, es dado en la Tabla 2.13 como una función del tamaño máximo nominal.

$$\text{Peso seco del agregado grueso} = \%Psag * P.U.C.$$

El peso seco del agregado grueso por metro cúbico de concreto puede ser calculado usando la ecuación anterior.

En un proporcionamiento de una mezcla de concreto normal, el contenido óptimo de agregado grueso es dado como una función del tamaño máximo y del módulo de fineza del agregado fino. Las mezclas de concreto de alta resistencia, sin embargo, tienen un alto contenido de materiales cementicios, y por lo tanto no son dependientes del agregado fino para lograr la lubricación y compactabilidad de la mezcla. Por supuesto los valores dados en la Tabla 2.13 son recomendadas para arenas que tienen un módulo de finura entre 2,5 a 3,2.

- **PASO 4:**

**Estimar el agua de mezcla y el contenido de aire**, la cantidad de agua por unidad de volumen de concreto requerida para producir un slump dado es dependiente del tamaño máximo, forma de las partículas,

gradación del agregado, cantidad de cemento y tipo de superplastificante usados. Si se usa un superplastificante, el contenido de este aditivo es tomado en cuenta para el cálculo de la relación agua/cemento. La Tabla 2.14 da una primera estimación del agua de mezclado requerido para concretos elaborados con agregados del tamaño máximo entre 1" y 3/8", esta cantidad de agua es estimada sin la adición del aditivo, en la misma Tabla también se dan los valores estimado de aire incorporado.

Estas cantidades de agua de mezclado son máximas para un agregado bien graduado, angular y limpio que cumplen con los límites de la norma ASTM C-33.

Dado que la forma de las partículas y la textura superficial del agregado fino pueden influenciar significativamente en su contenido de vacíos, el requerimiento de agua de mezclado puede ser diferente de los valores dados.

$$\text{Contenido de vacíos} = \%V = \left( 1 - \frac{\text{PUC}}{\text{Peso específico}} \right) * 100$$

Cuando el contenido de vacíos del agregado fino no es 35%, es necesario un ajuste a la cantidad de agua de mezclado, este ajuste puede ser calculado usando la siguiente ecuación:

$$\text{Ajuste del agua de mezclado} = A(\text{kg} / \text{m}^3) = 4.72(V - 35)$$

Usando la ecuación obtenemos un ajuste de  $4,72 \text{ kg/m}^3$  por cada punto porcentual del contenido de vacíos de la arena.

- **PASO 5:**

**Seleccionar la relación agua/materiales cementicios**, en las Tablas 2.15 y 2.16, valores máximos recomendados para la relación agua/materiales cementicios son mostrados como una función del tamaño máximo del agregado para alcanzar diferentes resistencias a compresión en 28 o 56 días. Los valores dados en la Tabla 2.15 son para concretos elaborados sin superplastificantes y los dados en la Tabla 2.16 para concretos con superplastificante.

- **PASO 6:**

**Cálculo del contenido de material cementicio**, el peso del material cementicio requerido por metro cúbico de concreto puede ser determinado por la división de la cantidad de agua de mezclado entre la relación a/mc. Seleccionada. Sin embargo si las especificaciones incluyen un límite mínimo en la cantidad de material cementicio por metro cúbico, este debe ser cumplido.

- **PASO 7:**

**Proporcionamiento de la mezcla de prueba base**, para determinar las proporciones óptimas, primero de debe realizar una mezcla base siguiendo los siguientes pasos:

1. Contenido de arena.- después de determinar los pesos por metro cúbico de agregado grueso, cemento, agua, y contenido de aire atrapado, el contenido de arena puede ser calculado usando el método de volúmenes absolutos.
2. Contenido de cemento.- para esta mezcla, el peso del cemento será igual al calculado en el paso 6.

- **PASO 8:**

**Proporcionamiento de la mezcla usando fly ash**, este método incluye el uso de fly ash como adición al concreto, la adición de este reducirá la demanda de agua, reduce la temperatura, y reduce el costo. Este paso describe la manera de adicionar al concreto este material y los pasos para su proporcionamiento, recomendando al menos dos pruebas por diferentes contenidos de este material.

- **PASO 9:**

**Mezclas de prueba, para cada mezcla el proporcionamiento se hará** siguiendo los pasos del 1 al 8, una mezcla de prueba debe ser producida determinando su trabajabilidad y características de resistencia.

- **PASO 10:**

**Ajuste de las proporciones de la mezcla**, si las propiedades deseadas del concreto no han sido obtenidas en las mezclas de prueba, las

proporciones de la mezcla base deben ser modificadas siguiendo el procedimiento siguiente:

1. Slump inicial.- si el slump inicial no se encuentra en los rangos deseados, el agua de mezclado debe ser ajustada, el contenido de cemento debe ser corregido para mantener constante la relación  $a/mc$ , y el contenido de arena debe ser ajustada para asegurar el flujo del concreto.
2. Dosis de superplastificante.- si un superplastificante es usado, debe ser determinado su efecto en la trabajabilidad y resistencia. Se debe seguir las indicaciones dadas por el fabricante en cuanto a su tasa máximo de uso. El uso en laboratorio de superplastificantes debe ser ajustado para su uso en campo.
3. Contenido de agregado grueso.- una vez que la mezcla de prueba de concreto ha sido ajustada para el slump deseado, se debe determinar si la mezcla es demasiado áspera. Si es necesario, el contenido de agregado grueso puede ser reducido y el contenido de arena ajustado. Sin embargo este incremento del contenido de arena incrementará la demanda de agua, y por lo tanto el contenido de cemento.
4. Contenido de aire.- si el contenido de aire difiere significativamente de las proporciones deseadas, el contenido de arena puede ser ajustado.

5. Relación a/mc.- si la resistencia requerida no es alcanzada, mezclas adicionales con una menor relación a/mc deben ser elaborados.

• **PASO 11:**

**Selección de la mezcla óptima**, una vez que las proporciones de mezcla han sido ajustadas para producir la trabajabilidad y resistencia deseada, es necesario realizar pruebas en las condiciones de campo de acuerdo a los procedimientos recomendados por el ACI 211.1.

**2.3.2.3 Tablas para el diseño de mezclas de concreto de alta resistencia.**

**Tabla 2. 11:** Slump recomendado para concretos de alta resistencia.

Slump con Superplastificante	Slump sin Superplastificante
1" - 2"	2" - 4"

Antes de la adición del superplastificante.

Fuente: Código ACI 211.4R – 93.

**Tabla 2. 12:** Tamaño máximo del agregado grueso para concretos de alta resistencia.

Resistencia requerida del concreto (kg/cm <sup>2</sup> ).	Tamaño máximo del agregado.
< 630	$\frac{3}{4}$ " – 1"
> 630	$\frac{3}{8}$ " – $\frac{1}{2}$ "

Fuente: Código ACI 211.4R – 93.

**Tabla 2. 13:** Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

Tamaño máximo nominal	$\frac{3}{8}$ "	$\frac{1}{2}$ "	$\frac{3}{4}$ "	1"
Fracción volumétrica Psag.	0,65	0,68	0,72	0,75

Fuente: Código ACI 211.4R – 93.

**Tabla 2. 14:** Requerimiento aproximado de agua de mezclado y contenido de aire del concreto basado en el uso de arena con 35% de vacíos.

Slump	Agua de mezclado en kg/m <sup>3</sup> para los tamaños máximos nominales de agregados gruesos indicados.			
	3/8"	1/2"	3/4"	1"
1" – 2"	183	174	168	165
2" – 3"	189	183	174	171
3" – 4"	195	189	180	177
	Aire Atrapado.			
Sin superplastificante.	3,0	2,5	2,0	1,5
Con superplastificante.	2,5	2,0	1,5	1,0

Fuente: Código ACI 211.4R – 93.

**Tabla 2. 15:** Relación (agua/material cementicio) para concretos sin SP.

Resistencia promedio f'cr* kg/cm <sup>2</sup>	Edad (días)	Relación a/cm para los tamaños máximos de agregados gruesos indicados			
		3/8"	1/2"	3/4"	1"
500	28	0,41	0,40	0,39	0,38
	56	0,44	0,43	0,42	0,42
550	28	0,36	0,35	0,34	0,34
	56	0,39	0,38	0,37	0,36
600	28	0,32	0,31	0,31	0,30
	56	0,35	0,34	0,33	0,32
650	28	0,29	0,28	0,28	0,27
	56	0,32	0,31	0,30	0,29
700	28	0,26	0,26	0,25	0,25
	56	0,29	0,28	0,27	0,26

Fuente: Código ACI 211.4R – 93.

**Tabla 2. 16:** Relación (agua/material cementicio) para concretos con SP.

Resistencia promedio f'cr* kg/cm <sup>2</sup>	Edad (días)	Relación a/cm para los tamaños máximos de agregados gruesos indicados			
		3/8"	1/2"	3/4"	1"
500	28	0,49	0,47	0,45	0,42
	56	0,54	0,51	0,47	0,45
550	28	0,44	0,42	0,40	0,39

	56	0,49	0,46	0,43	0,41
600	28	0,40	0,38	0,36	0,35
	56	0,44	0,41	0,39	0,37
650	28	0,36	0,35	0,33	0,32
	56	0,40	0,38	0,36	0,34
700	28	0,33	0,32	0,31	0,30
	56	0,37	0,35	0,33	0,32
750	28	0,31	0,30	0,28	0,28
	56	0,34	0,32	0,30	0,30
800	28	0,29	0,28	0,26	0,26
	56	0,32	0,30	0,28	0,28
850	28	0,27	0,26	0,25	0,25
	56	0,30	0,28	0,27	0,26

Fuente: Código ACI 211.4R – 93.

### 2.3.3 DISEÑO DE MEZCLA DE AGREGADOS.

Desde los comienzos de la tecnología del concreto, los investigadores han dedicado un tiempo preferencial al estudio de las características granulométricas, de forma y superficie del agregado; han relacionado estas características directamente con la compacidad de los agregados. Desde D'Henry Le Chtelier (1850 – 1936) luego L.J. Vicat y Rene Feret. Fueron los precursores de la búsqueda de la granulometría óptima de los agregados, en Estados Unidos, R.B. Fuller y J, Thompson proponen en 1907 una curva granulométrica continua y basan en ella un método de dosificación científica de concretos, que la bibliografía registrada como Método de Fuller. Fuller sustentaba la teoría de que usando una curva granulométrica adecuada podía mejorarse la resistencia mecánica y otras características del concreto.

En 1925 en Suiza, el profesor Bolomey propuso una curva granulométrica continua en la cual también incluía al cemento. En la misma época en Francia el profesor Caquot encontró una solución matemática para la composición granulométrica de los concretos. Por un lado determinó que el volumen absoluto varía proporcionalmente al tamaño de los agregados y a la superficie de las paredes que lo contienen, este efecto fue conocido como el efecto pared. Estos conceptos teóricos de Caquot fueron luego utilizados por Faury y Joisel para su aplicación práctica en sus métodos de dosificación de concretos por curvas de referencia.

En la actualidad las curvas de referencia han sido generalizadas y normadas, en casi todos los códigos alrededor del mundo, como la norma ASTM C-33, la norma DIN 1045, y por supuesto la norma técnica peruana 400.037.

Sin embargo, el problema de encontrar la curva ideal aún persiste, recientes intentos con resultados favorables han sido presentados en Francia, Canadá y Estados Unidos; en 1999 en Francia de Larrard y Sedran presentaron la última versión de un modelo para el cálculo de la compacidad de las mezclas de agregado, en Canadá, Aitcin presentó su modelo para predecir las proporciones de agregados en función de su granulometría, factores de textura y forma; en China Q. Weizu presentó otro modelo basado en el máximo paquete de densidad, estos en concordancia con lo propuesto de De Larrard y Sedran.

### 2.3.3.1 Proporciones de agregados.

En el proporcionamiento de los concretos de alta resistencia, los agregados tienen una consideración muy importante dado que ellos ocupan el más alto contenido de los ingredientes del concreto. Generalmente, los concretos de alta resistencia son producidos empleando agregados de peso normal.

### 2.3.3.2 Teoría de Fuller Thompson.

El trabajo titulado “las leyes del proporcionamiento del concreto” presentado en 1907 por Fuller y Thompson, se considera como el punto de partida para todos los desarrollos posteriores sobre curvas granulométricas. Fuller y Thompson concluyen que toda curva de gradación ideal presenta un comportamiento elíptico en su fracción fina, la cual incluye al cemento. La ecuación general para la parte elíptica de esta curva, está dada por:

$$\frac{(y - b)^2}{b} + \frac{(x - a)^2}{z} = 1$$

Donde, “y” es el porcentaje de material que pasa el tamiz de abertura “x”, “a” y “b” son constantes que representan los ejes de la elipse y su valor depende del tamaño máximo (D) del agregado y de la forma de las partículas; estos valores se muestran en la Tabla 2.17. Estas constantes fueron dadas de tal manera que a más angulosas son la partículas del

agregado es más amplio el porcentaje de material fino representado por la parte elíptica.

En esta curva ideal, Fuller y Thompson encontraron que para un valor “Y” igual al 7% el valor de “X” era de 0,074mm, es decir, que el 7% de la masa está constituido por partículas de diámetro inferior a 0,074mm, o sea la fracción que pasa el tamiz N° 200 más el cemento. Posteriormente, la curva con su forma elíptica, llega hasta un valor de aproximadamente igual al 10% del tamaño máximo, y a partir de este punto sigue como una línea recta.

**Tabla 2. 17:** Valores de las constantes que representan la parte elíptica de la ecuación de Fuller-Thompson.

Clase de material	a	b
Agregados redondeados	0,164 D	28,6
Arena natural y grava chancada	0,150 D	30,4
Agregados chancados	0,147 D	30,8

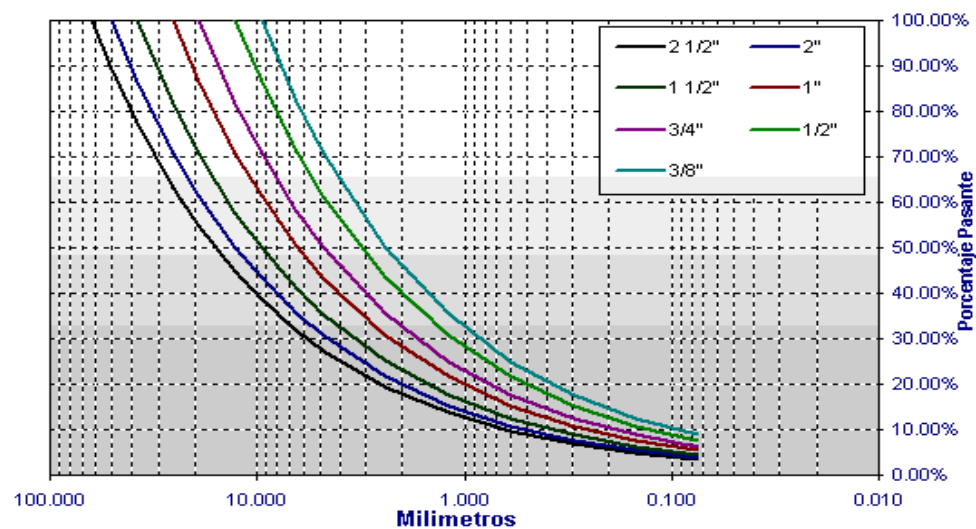
Fuente: Pablo Portugal Barriga -UNSA

Según algunos autores, cuando se desea obtener la curva para el agregado solo, debe restarse la porción de cemento prevista en cada caso y tomar el resto como 100%. Al hacer esto se obtiene una curva de forma aproximadamente parabólica, la cual se ha llamado curva o parábola de Fuller, y es expresada de la siguiente manera:

$$P = 100 \sqrt{\frac{d}{D}}$$

En donde, “P” es el porcentaje de material que pasa por el tamiz de abertura “d” y “D” es el tamaño máximo del agregado.

**Imagen 6:** Curvas de Fuller para diferentes tamaños máximos de agregados.



Fuente: Pablo Portugal Barriga -UNSA

Es necesario destacar que la gradación parabólica de Fuller-Thompson, es solamente una, de muchas familias de parábolas de varios grados, que no son otra expresión que la ley potencial de Talbot y se expresa como:

$$P = 100 \sqrt[n]{\frac{d}{D}}$$

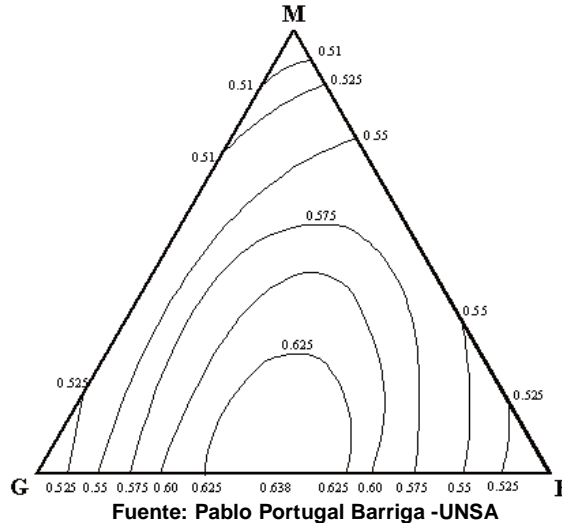
Para el diseño de mezclas de agregado la relación de fino de los agregados será ajustada por la curva de Fuller tomando la malla N°4 (la divisoria entre el agregado grueso y agregado fino). Hay que destacar que estas curvas no producen la máxima compacidad buscada en los

agregados, y algunos investigadores han calificado a la mezcla hecha con este método como áspera y poco manejable.

### 2.3.3.3 Teoría de Feret.

En 1894 el investigador Francés Rene Feret, realizó tal vez los primeros estudios a profundidad sobre mezclas granulares en el concreto, sus investigaciones sirvieron de base para el desarrollo de muchos de los conceptos conocidos actualmente.

**Imagen 7:** Líneas de igual compacidad en la mezcla de agregados donde G: Gruesos, M: Mediano, F: Finos.



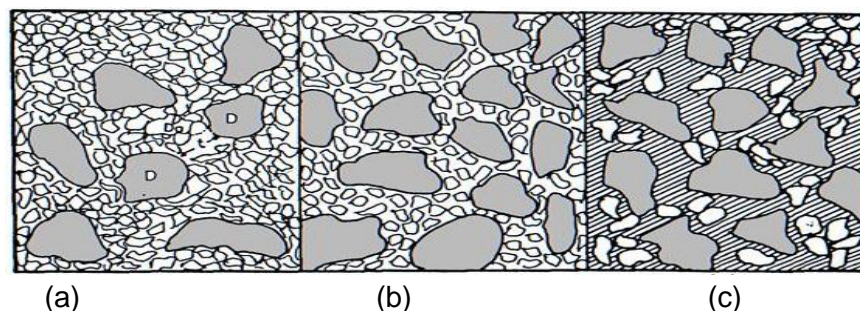
Estas investigaciones sobre compacidad se centraron en realizar mezclas binarias y ternarias de partículas de agregados y encontrar curvas de compacidad, de estas investigaciones encontró una serie de expresiones conocidas como las leyes de Feret, las cuales se resumen en la Imagen 7, en forma de curvas de nivel.

Sus estudios demostraron que la máxima compacidad era alcanzada por medio de mezclas de granos gruesos y finos con ausencia de medianos, generalizando estos resultados podemos decir que Feret encontró que la máxima compacidad se logra con granulometrías discontinuas.

#### 2.3.3.4 Teoría de Weymouth.

La obra publicada en 1933 por C.A.G. Weymouth titulada "Effect of particle interference in mortars and concrete" en la cual se expone el efecto de interferencia en los requerimientos de agua y trabajabilidad, incluyendo la tendencia de los diferentes tamaños de partículas a la segregación. Weymouth ilustró su concepto en términos de mezcla seca de agregados, usando el modelo mostrado en la Imagen 8.

**Imagen 8:** Modelo de Weymouth para partículas de interferencia.



Fuente: Pablo Portugal Barriga -UNSA

La Imagen 8 representa en dos dimensiones una mezcla de dos tamaños de partículas. En (A) las partículas grandes no son dominantes y se encuentran separadas por más de una partícula pequeña, por lo cual la distancia entre ellas será más del diámetro de una partícula pequeña. En (B) la cantidad de partículas grandes es mayor y la distancia entre ellas

será igual al diámetro de una partícula pequeña. En (C) la cantidad de partículas grandes es mucho mayor por lo cual las partículas pequeñas no llegan a rellenar todos los poros por lo cual la distancia entre partículas grandes será menor que el diámetro de una partícula pequeña.

Weymouth concluyó que existe una ley de gradación de tal manera que los diferentes tamaños de agregados deben tener espacio para moverse entre las partículas más grandes, evitando de esta manera la interferencia de las partículas. Sin embargo Weymouth también menciona que esta interferencia aparece cuando hay mucha cantidad de agregados de un solo tamaño, esto solo es cierto cuando las diferentes partículas de agregados son muy cercanas en diámetro, siendo el efecto diferente cuando los tamaños de partículas son muy diferenciados en tamaños.

La ley de gradación de Weymouth es otra forma de la ecuación potencial de Talbot, diferenciando el coeficiente n según tamaño máximo del agregado.

$$P = 100^n \sqrt{\frac{d}{D}}$$

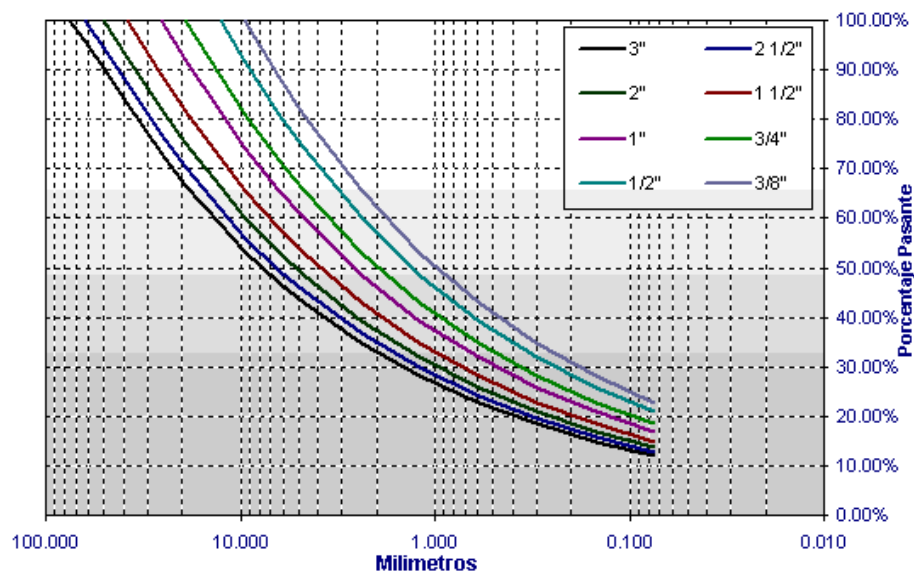
**Tabla 2. 18:** Valores de n para la ecuación de Weymouth en función del tamaño del agregado grueso.

Tamaño d	n
3"	0,230
2"	0,255
1 1/2"	0,268
1"	0,283
3/4"	0,292
1/2"	0,298
3/8"	0,304
Nº4 – Nº100	0,305

Fuente: Pablo Portugal Barriga -UNSA

Donde,  $n$  es el exponente que gobierna la distribución de las partículas y es función del agregado grueso. Los valores de “ $n$ ” fueron dados por García Balado y se presentan en la Tabla 2.18.

**Imagen 9:** Curvas de Weymouth para diferentes tamaños de agregados.



Fuente: Pablo Portugal Barriga -UNSA

### 2.3.3.5 Teoría de Bolomey.

Después de la publicación de los trabajos de Fuller, Thompson y Weymouth, se han realizado múltiples curvas ideales, y aun no hay muchos investigadores que las utilizan, sin embargo, la modificación que ha sido más aceptada es la realizada por Bolomey en 1947, la cual contempla un mayor contenido de finos dentro de la masa de agregado con objeto de eliminar la aspereza y mejorar la manejabilidad de la mezcla de concreto en estado fresco. Esta modificación es mostrada en la ecuación siguiente:

$$P = f + (100 - f) \sqrt{d/D}$$

Donde “f” es una constante empírica que representa el grado de trabajabilidad de una mezcla de concreto. Los valores de “f” se muestran en la Tabla 3.8:

**Tabla 3.8:** Valores de f según la fórmula de Bolomey.

Forma de las partículas de agregado	Consistencia del concreto		
	Seca	Normal	Húmeda
Agregados redondeados	6 -8	10	12
Agregados chancados	8 – 10	12 – 14	14 – 16

Fuente: Pablo Portugal Barriga -UNSA

### 2.3.3.6 Método de la combinación de módulo de finura.

Este método bastante sencillo consiste en determinar los módulos de finura de ambos agregados, y establecer que sus mezclas tengan un módulo de finura ideal, el cual puede ser el obtenido por la ley de Fuller o empíricamente basado en la experiencia. Se calcula las proporciones de los agregados finos y gruesos en base a la siguiente expresión:

$$M = r_f * m_f + r_g * m_g \Leftrightarrow r_f + r_g = 1$$

Dónde:

M : módulo de finura de la combinación de agregados.

$r_f, r_g$  : % de agregado fino y grueso en relación al volumen absoluto total.

$m_f, m_g$  : Módulo de finura del agregado fino y grueso.

Los módulos de finura de la combinación de agregados recomendados según el tamaño máximo, se muestran en la Tabla 2.19:

**Tabla 2. 19:** Módulo de finura de la combinación de agregados según tamaño máximo.

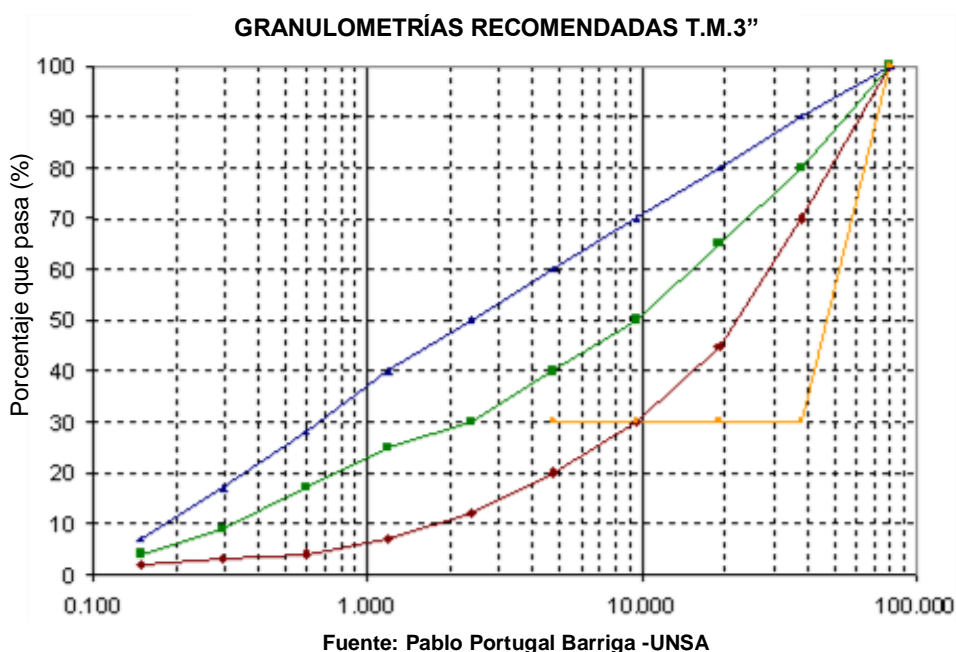
Tamaños Máximos	M	Tamaños Máximos	M
3"	6,70	¾"	4,81
2 ½"	6,44	½"	4,30
2"	6,14	3/8"	3,90
1 ½"	5,75	¼"	3,39
1"	5,22	N°4	3,02

Fuente: Pablo Portugal Barriga -UNSA

### 2.3.3.7 Métodos normales por curvas empíricas.

Actualmente casi todas las normas sobre agregados y concreto establecen curvas o límites para las granulometrías de los agregados a usar en el concreto. Por ejemplo la norma alemana DIN 1045 tiene curvas normadas para los diferentes tamaños de partículas de agregados y según los requerimientos del concreto.

**Imagen 10:** Granulometrías recomendadas por la norma DIN 1045, para T.M. 3"



#### **2.3.3.8 Método del peso unitario compactado (PUCM).**

También denominado como el método del agregado global, consiste en la combinación de los agregados en diferentes porcentajes en pesos secos de los mismos. Este método aplica los principios establecidos de la máxima compacidad de Feret y Weymouth.

El método PUCM consiste en optimizar sistemáticamente la proporción de agregado fino y grueso como un solo material, dirigido a controlar la trabajabilidad de la mezcla de concreto y obtener la máxima compacidad de la combinación de agregados mediante ensayos de laboratorio.

#### **2.3.4 MEZCLAS DE CONCRETO.**

Las proporciones de mezcla para un concreto de alta resistencia son de un proceso más crítico que el diseño de mezclas normales. Generalmente es considerado esencial emplear puzolanas seleccionadas y aditivos químicos para lograr una relación de agua/cemento baja. A menudo se exigen muchos ensayos de prueba para que el laboratorista identifique cual es la proporción de mezcla más óptima.

##### **2.3.4.1 Relación óptima entre agregados.**

Los agregados por ocupar las tres cuartas partes del volumen total del concreto, han sido considerados muy importantes por tanto su selección ha sido la más estricta.

- **Agregados finos.**

En proporción, en una mezcla de concreto, un agregado fino o arena tiene considerablemente más impacto en proporciones de la mezcla que un agregado grueso. El área de superficie de todas las partículas de agregados deberá cubrirse con una pasta de cemento, la proporción de agregado fino o grueso puede tener un efecto cuantitativo directo en requisitos de la pasta.

La gradación en el agregado fino tiene un papel importante en obra con respecto a la plasticidad o el endurecimiento del concreto. Bajos volúmenes de agregado fino con volúmenes de agregado grueso alto producen una reducción en requisitos de pasta y normalmente esto resulta más barato.

- **Agregados gruesos.**

La cantidad óptima y tamaño de agregado grueso para una arena dada dependerá en gran parte de las características mismas de la arena; particularmente, depende del módulo de fineza, esto sale específicamente de la Tabla 2.13 que se toma del ACI 211.4.

Las cantidades sugeridas para el agregado grueso de la tabla se recomiendan para iniciar el proporcionamiento. Deben darse consideraciones a las propiedades de la arena que puede alterar la cantidad de agregado grueso. Las herramientas mecánicas para manejar

y colocar el concreto han ayudado a disminuir la proporción de arena necesitada. Es de recordar que el uso de los tamaños más pequeños de agregados gruesos es más beneficioso para unirlos con la pasta cementicia.

#### **2.3.4.2 Contenido de cemento.**

La resistencia del concreto puede disminuir si el cemento se agrega por encima de un volumen óptimo, la cantidad deseable de cemento puede variar y puede depender considerablemente de los agentes, como reductores de agua de alto rango y previniendo la flacidez de partículas de cemento. La tenacidad y la pérdida de trabajabilidad serán aumentadas con cantidades más altas de cemento en la mezcla. Combinaciones de cemento, puzolanas y arena deben evaluarse para efecto de contenidos cementicios.

Mezclas ricas en cemento frecuentemente tienen demanda muy alta de agua, por consiguiente, es posible que esa precaución especial sea necesaria para proporcionar adecuado curado con agua.

#### **2.3.4.3 Relación agua/cemento.**

La relación entre la proporción de agua/cemento y la resistencia a compresión que se ha identificado en concretos de resistencia baja, ha resultado también ser válida para concretos de resistencias más altas.

Los volúmenes de cemento más altos y los volúmenes de agua más bajos han producido resistencias más altas. Proporcionando grandes cantidades de cemento en la mezcla de concreto, también tiene, sin embargo, aumento en la demanda de agua de la mezcla.

Por supuesto que el asentamiento en el concreto se relaciona a la proporción agua/cemento y a la cantidad de agua en el concreto. El uso de reductores de agua de alto rango genera proporciones de A/C más bajas y las depresiones más altas. Las proporciones de A/C para concretos de alta resistencia típicamente han ido de 0,27 a 0,50.

#### **2.3.4.4 Proporciones de aditivos.**

Aproximadamente todos los concretos de alta resistencia contienen aditivos. Cambios en las cantidades y combinaciones de aditivos afectan las propiedades de plasticidad y endurecimiento de estos concretos; es por eso que se deben dar especial atención a los efectos que producen.

Aditivos puzolánicos son a menudo usados como un reemplazo de cemento, en estos concretos han suplicado del cemento Portland de 10 a 40 por ciento por peso del contenido del cemento. El uso de ceniza volante ha causado a menudo una reducción ligera en la demanda de agua de la mezcla, y esa reducción en el volumen de agua se ha compensado por adición de arena. Lo opuesto se ha encontrado para otras puzolanas. Las microsílices, por ejemplo, dramáticamente

incrementan la demanda de agua de la mezcla, lo que requiere el uso de aditivos retardadores y súper plastificante.

#### **2.3.4.5 Resistencias requeridas.**

Habitualmente, el concreto se proporciona de tal manera que el promedio de los resultados de la resistencia exceda a la especificada en una cantidad suficientemente alta. En los concretos de alta resistencia se nota una alta variabilidad en los resultados de los ensayos, esto se debe a que es más difícil ensayar este concreto que uno convencional.

La selección de las proporciones de la mezcla puede ser influenciada por edades a la que se ensayará el hormigón. Esta varía dependiendo de los requerimientos de la construcción respectiva.

En general, se prefiere determinar edades de ensayo mayores a los 28 días, para aprovechar el aumento de resistencia a largo plazo característico de estos concretos.

#### **2.4 ESPECIFICACIONES Y NORMAS.**

Existen una cantidad de normas aplicables en los materiales y procedimientos de los concretos de alta resistencia, de sus componentes y otros entre ellas tenemos los siguientes:

#### **2.4.1 RESPECTO AL DISEÑO DE MEZCLAS.**

- Código ACI 211.4: Guide for Selecting Proportion for High Strength Concrete with Portland cement and fly Ash.
- Reporte ACI 363R-92 State of the Art Report on High – Strength Concrete

#### **2.4.2 RESPECTO A LOS MATERIALES.**

##### **2.4.2.1 Cemento:**

- NTP 334.009: 2013 CEMENTOS: Cemento Portland. Requisitos.
- NTP 334.090: CEMENTOS: Cemento Portland Adicionados. Requisitos.
- ASTM C 150/C150M-12: Standard Specification for Portland cement.
- ASTM C 595/C595M-14: Standard Specification for blended Hydraulic Cements.

##### **2.4.2.2 Agregados:**

- ASTM C 33/C33M-13: Standard specification for Concrete Aggregates
- NTP 400.037 AGREGADO. Especificación para agregados del concreto.

##### **Peso Unitario.**

- NPT 400.017: 2011 AGREGADO. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado.
- ASTM C29/C29-97. Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate.

### **Peso Específico y Absorción.**

- NTP 400.021: 2002 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para el peso específico y absorción del agregado grueso.
- NTP 400.022: 2002 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino.
- ASTM C127-01: Standard Test Methods for Density, Relative Density (Specific Gravity), and absorption of Coarse Aggregate.
- ASTM C128-01 Standard Test Methods for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate.

### **Contenido de Humedad.**

- NTP 339.185: 2002. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.
- ASTM C566-97: Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying.

### **Granulometría.**

- NTP 400.012: 2013. AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.
- ASTM C136-2006: Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.

#### **Material más fino que la Malla N° 200.**

- NTP 400.018: 2002 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75um (N° 200) por lavado en agregados.
- ASTM C117-95: Standard Test Method for Materials Finer Than 75-um (N° 200) Sieve in Mineral Aggregate by Washing.

#### **Resistencia a la abrasión.**

- NTP 400.019: 2002 AGREGADOS: Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles.
- ASTM C131-96: Standard test method for resistance to degradation of small size coarse aggregate by abrasion and impact in the los Angeles machine.

#### **Extracción de muestras.**

- NTP 400.010: 2011 AGREGADOS: Extracción y preparación de las muestras. 3ra Edición.
- ASTM D-75 2009: Standard practice for sampling aggregate.

#### **2.4.2.3 Aditivos:**

- NTP 334.088: 1999 CEMENTOS. Aditivos químicos en pastas, morteros y hormigón (concreto).

- ASTM C 494/C 494 M-99a: Standard Specification for chemical Admixture for concrete.

#### **2.4.2.4 Adiciones:**

- NPT 334.087: 1999 CEMENTOS: Adiciones minerales en pastas, morteros y concreto; microsílíce.
- ASTM C 1240-97b: Standard Specification for Use of Silica Fume as a Mineral Admixture in Hydraulic – Cement Concrete, Mortar, and Grout.

#### **2.4.2.5 Agua:**

- NTP 339.088: 2013 HORMIGON: Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento portland. requisitos.
- ASTM C1602/C1602M-2004: Standard specification for mixing water used in the production of hydraulic cement concrete.

#### **2.4.3 RESPECTO AL CONCRETO.**

- ACI – 318: State of the Art. Report on Roller Compacted concrete Pavements: ACI 325.10R-95. Mezclas - dosificación del concreto.

#### **2.4.3.1 Preparación de especímenes:**

- NTP 339.219: 2013 HORMIGON. Método de ensayo estándar para determinar la fluidez de asentamiento del concreto autocompactado.

- ASTM C1611/C1611M-05: Standard Test Method for slump Flow of Self-Consolidating Concrete.
- NTP 339.220: 2013 HORMIGON. Método de ensayo estándar para determinar la habilidad de paso del concreto autocompactado por el anillo.
- ASTM C 1621/C1621M-06: Standard Test Method for passing ability of self-Consolidating Concrete by J-Ring.
- NTP 339.183: 2013 HORMIGON. Método de ensayo para la elaboración y curado de probetas cilíndricas de concreto en el laboratorio.
- ASTM C192/C192M-07: Standard Practice Making and Curing concrete Test specimens in the laboratory.
- NTP 339.241: 2013 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la fabricación de especímenes de ensayo con concretos autocompactantes. 1ra edición.
- ASTM 1758-2001: standard practice for fabricating test specimens with self-consolidating concrete.

#### **2.4.3.2 Propiedades en estado fresco.**

##### **Asentamiento:**

- NTP 339.035: 2009 HORMIGON. Método de ensayo para la medición del asentamiento del hormigón con el cono de Abrams. 3ra Edición.
- ASTM C 143/C143M-2008: Standard Test Method for Slump of Hydraulic – Cement Concrete.

**Peso Unitario:**

- NTP 339.046: 2008 HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo gravimétrico para determinar el peso por metro cubico, rendimiento y contenido de aire del hormigón. 2da edición.
- ASTM C138/C138M-08: Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and air Content (Gravimetric) of concrete.

**Contenido de aire:**

- NTP 339.080: 2011 HORMIGON (CONCRETO). Método normalizado para la determinación del contenido de aire en el concreto fresco. método de presión 2da edición.
- ASTM C231/C231M-10: Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method.

**Tiempo de Fragua:**

- NTP 339.082: 2011 HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado de mezclas por medio de su Resistencia a la penetración. 3ra. Edición.
- ASTM C403/C403M-08: Standard Test Method for time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance.

### **2.4.3.3 Propiedades en estado endurecido.**

#### **Resistencia a la compresión:**

- NTP 339.034: 2008 HORMIGON. Método de ensayo para el esfuerzo a la compresión de muestras cilíndricas de hormigón (Concreto). 3ra Edición.
- NTP 339.037: 2008 HORMIGON (CONCRETO). Practica normalizada para el refrendado de testigos cilíndricos de hormigón (concreto)
- ASTM C39/C39M-05: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- ASTM C167-98 (2003): Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens.

#### **Resistencia a la tracción por compresión diametral:**

- NTP 339.084: 2002 HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del hormigón por compresión diametral de una probeta cilíndrica. 2da ed.
- ASTM C496-96 Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.

#### **Resistencia a Flexión:**

- NTP 339.078. HORMIGON: Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del hormigón en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo.

- ASTM C78/C78M-10: Standard test for flexural Strength of concrete (Using Simple beam with third-point loading).

**Módulo de Elasticidad:**

- ASTM C469-94e1 Standard Test Method for Static Modulus of elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression.

**2.4.4 NORMAS COMPLEMENTARIAS.**

- European Guidelines for Self Compacting Concrete.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 METODOLOGÍA Y ESTRUCTURA DE TRABAJO.**

Para el desarrollo de la presente Tesis titulada “Fabricación y Evaluación de concreto de alta resistencia usando aditivo superplastificante y sílices con cemento portland Tipo IP en la ciudad de Tacna”, se adoptó la siguiente secuencia:

##### **3.1.1 TRABAJOS PRELIMINARES.**

Con el objeto de recopilar el material necesario para la realización de esta investigación, se comenzó con una fase exploratoria, en la cual se realizó un minucioso análisis de la literatura existente, comenzado con la recopilación de bibliografía relacionada al concreto, agregados, aditivos, adiciones y normas que los rigen, profundizando en el área de concretos especiales. Se estudió respecto a los principales factores que influyen en la obtención de concretos de alta resistencia.

Una vez conocidos los factores que influyen en la resistencia de estos concretos, se procedió a la selección de materiales, se definió los tipos de ensayos, procedimientos y análisis a realizar en el laboratorio. Para esto

fue necesario realizar una planificación de los diferentes ensayos de acuerdo a los objetivos planteados en esta investigación, ya que a través de estos se determinarán y analizarán los efectos producidos.

### **3.1.2 TRABAJOS DE CAMPO.**

Esta etapa comienza con la adquisición de materiales, para ello se realizó la visita a las canteras proveedoras de agregados fino y grueso de la Ciudad de Tacna, para la selección final de las mismas se realizaron los ensayos preliminares de análisis granulométrico y porcentajes de absorción del agregado grueso comparando con la norma NTP 400.037.

Los aditivos han sido seleccionados de los catálogos y sugeridos por los proveedores de la empresa Sika Perú S.A., los mismos que han sido adquiridos desde la ciudad de Lima; el cemento ha sido seleccionado y adquirido por ser el más comercial en la ciudad de Tacna y por su elevado módulo de finura.

### **3.1.3 TRABAJOS DE LABORATORIO.**

Luego de la selección y adquisición de los componentes para la producción del concreto de alta resistencia, se procederá al análisis completo de los agregados para conocer sus propiedades físicas y mecánicas, además se revisarán las especificaciones de los aditivos y cemento proporcionados por el proveedor para conocer las propiedades físicas y químicas de los mismos.

Se procederá a elaborar el diseño de mezcla base o diseño patrón que consistirá únicamente de 5 componentes (Agregado grueso, agregado fino, cemento, agua y aire) hasta obtener la resistencia y trabajabilidad deseada. Seguidamente se adicionara al concreto patrón el aditivo superplastificante en porcentajes de 1,5%; 2,0% y 3,0% para la selección de la dosis adecuada.

Obtenido el diseño de mezcla patrón más aditivo que ofrezca un buen comportamiento de trabajabilidad y resistencia se procederá a elaborar la variedad de diseños con las sílices en diferentes porcentajes para determinar la dosis adecuada de Microsílice y Nanosílice.

Con los diseños de mezcla a disposición se procederá a la preparación de especímenes, para roturas se prepararán muestras de 4"x8", para tracción indirecta y módulo de elasticidad 6"x12" y para flexión vigas de 10x10x50cm. Los cuáles serán curados con agua potable y refrendados con mortero de azufre. Conjuntamente a estos se realizarán los ensayos en estado fresco como la consistencia, contenido de aire, capacidad de paso, peso unitario y tiempo de fraguado.

Finalmente se realizarán los ensayos en estado endurecido, para tal fin se tiene a disposición los laboratorios del mecánica de suelos, concreto y asfalto de la Municipalidad provincial de Tacna, Laboratorio de mecánica de rocas de la UNJBG y el laboratorio de estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

#### **3.1.4 TRABAJOS DE GABINETE.**

Obtenido los resultados en los ensayos del laboratorio se calcularán las resistencias mecánicas a flexión, tracción, compresión y módulo de elasticidad. Luego se procederá a realizar la comparación de sus propiedades en estado fresco y endurecido respecto al concreto patrón.

### **3.2 MATERIALES.**

#### **3.2.1 AGREGADOS.**

Para la selección de agregados y canteras se recurrió a los antecedentes de la investigación hecha por Sally Schebesta Aguilar (Tesis UNJBG – 2006), quien en su investigación menciona que en la ciudad de Tacna se tienen 03 canteras: Magollo, Calana y Arunta, de estos descarta la posibilidad de uso de los agregados de la cantera de Magollo para fines estructurales por su alto contenido de finos y recomienda el uso de agregados de las canteras de Calana y Arunta.

Siendo uno de los requisitos principales que el agregado grueso a usarse para la producción del CAR deberá ser limpio, cúbico, angular, 100% partido con un mínimo de partículas chatas y alongadas, se descartó la posibilidad de uso del agregado grueso de la cantera Calana. Sin embargo existen en la cantera Arunta algunas proveedoras que producen piedra triturada por ejemplo: la de la Municipalidad Provincial de Tacna y las canteras de los Sres. Flores y Velásquez.

### 3.2.2 AGREGADOS USADOS.

Los agregados usados en esta Tesis de investigación se seleccionaron para ambos casos de la cantera ARUNTA, los cuales se evaluarán y verificarán que cumpla con la NTP 400.037 y la Norma ASTM C33.

Además, se determinará el HUSO al que corresponde el agregado grueso en la Tabla 2.3 de límites granulométricos de la NTP 400.037.

#### 3.1.1.1 Evaluación de agregados seleccionados.

La primera evaluación a estos agregados es la granulometría en concordancia con la Norma Técnica Peruana NTP 400.037 o la ASTM C33. El análisis granulométrico del agregado fino se muestra en el cuadro 3.1 y del agregado grueso de TMN  $\frac{3}{4}$ " o HUSO 6 en el cuadro 3.2.

**Cuadro 3. 1:** Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino.

Malla	Peso Retenido (kg)				RET. PROM. (%)	RET. ACUM. (%)	ACUM. PASA. (%)
	M-1	M-2	M-3	Prom.			
3/8"	0,0150	0,0150	0,0100	0,01	1,41	1,41	98,59
N° 4	0,1700	0,1150	0,1150	0,13	14,13	15,55	84,45
N° 8	0,1300	0,1200	0,1100	0,12	12,72	28,27	71,73
N° 16	0,1150	0,1100	0,1050	0,11	11,66	39,93	60,07
N° 30	0,1550	0,1500	0,1400	0,15	15,72	55,65	44,35
N° 50	0,2150	0,2050	0,1850	0,20	21,38	77,03	22,97
N° 100	0,1450	0,1450	0,1250	0,14	14,66	91,70	8,30
N° 200	0,0550	0,0500	0,0500	0,05	5,48	97,17	2,83
<200	0,0300	0,0300	0,0200	0,03	2,83	----	----
<b>Total</b>	1,0300	0,9400	0,8600	0,94	100,00	----	----

Fuente: Elaboración Propia.

**Cuadro 3. 2:** Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso.

Malla	Peso Retenido (kg)				RET. PROM. (%)	RET. ACUM. (%)	ACUM. PASA. (%)
	M-1	M-2	M-3	Prom.			
1"	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	100,00
¾"	0,3100	0,5550	0,3450	0,4033	5,54	5,54	94,46
½"	4,4700	4,5600	4,3700	4,4667	61,31	66,85	33,15
3/8"	1,8150	1,4550	2,1000	1,7900	24,57	91,42	8,58
N° 4	0,6800	0,4850	0,6600	0,6083	8,35	99,77	0,23
N° 8	0,0050	0,0050	0,0100	0,0067	0,09	99,86	0,14
N° 16	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	99,86	0,14
Fondo	0,0150	0,0050	0,0100	0,0100	0,14	100,00	0,00
Total	7,2950	7,0650	7,4950	7,2850	100,00	----	----

Fuente: Elaboración Propia.

### 3.1.1.2 Tratamiento de agregados seleccionados.

El agregado fino no cumple con los parámetros de la NTP 400.037, por ello se hizo el tratamiento de este componente con la eliminación de los porcentajes retenidos en la malla 3/8", ¼" y reduciendo el retenido en la N°4; seguido por el lavado del agregado para la eliminación del porcentaje que pasa la malla N° 100 y 200 (arcillas y limos). Los resultados luego del tamizado y lavado se muestran en los Cuadros 3.3, 3.4 y la Imagen 11.

El agregado grueso ha sido sometido a la eliminación de elementos retenidos en la malla de 1", de áridos débiles y la eliminación de contenido de finos que pasan la malla N°200 mediante el lavado con la finalidad de cumplir con lo establecido en la NTP 400.037. Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 3.5 y la Imagen 12.

**Cuadro 3. 3:** Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino.

Malla	Peso Retenido (kg)				RET. PROM. (%)	RET. ACUM. (%)	ACUM. PASA. (%)
	M-1	M-2	M-3	Prom.			
3/8"	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,00	100,00
N° 4	0,0010	0,0015	0,0005	0,00	0,19	0,19	99,81
N° 8	0,0335	0,0425	0,0380	0,04	7,11	7,29	92,71
N° 16	0,0595	0,0735	0,0680	0,07	12,53	19,82	80,18
N° 30	0,0945	0,1215	0,1120	0,11	20,44	40,26	59,74
N° 50	0,1290	0,1770	0,1620	0,16	29,17	69,43	30,57
N° 100	0,0870	0,1200	0,1070	0,10	19,57	89,00	11,00
N° 200	0,0315	0,0365	0,0345	0,03	6,39	95,39	4,61
<200	0,0085	0,0600	0,0055	0,02	4,61	----	----
<b>Total</b>	<b>0,4445</b>	<b>0,6325</b>	<b>0,5275</b>	<b>0,53</b>	<b>100,00</b>	<b>----</b>	<b>----</b>

Fuente: Elaboración Propia

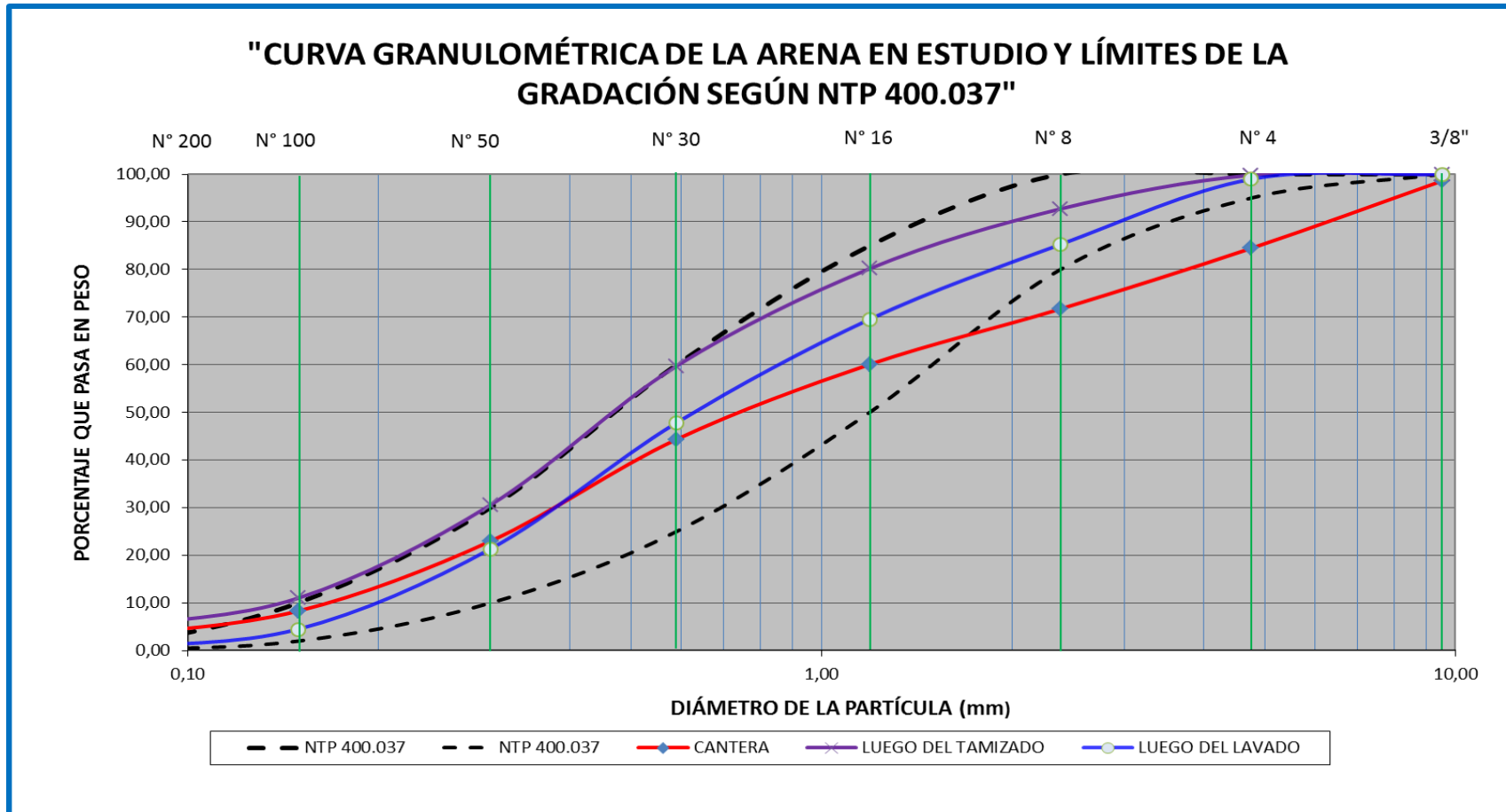
**Cuadro 3. 4:** Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino.

Malla	Peso Retenido (kg)				RET. PROM. (%)	RET. ACUM. (%)	ACUM. PASA. (%)
	M-1	M-2	M-3	Prom.			
3/8"	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,00	100,00
N° 4	0,0120	0,0120	0,0150	0,01	1,04	1,04	98,96
N° 8	0,1805	0,1535	0,1810	0,17	13,71	14,75	85,25
N° 16	0,2100	0,1750	0,2045	0,20	15,69	30,44	69,56
N° 30	0,3090	0,2330	0,2740	0,27	21,73	52,17	47,83
N° 50	0,3895	0,2730	0,3320	0,33	26,48	78,65	21,35
N° 100	0,2495	0,1695	0,2140	0,21	16,85	95,50	4,50
N° 200	0,0585	0,0420	0,0520	0,05	4,06	99,56	0,44
<200	0,0065	0,0045	0,0055	0,01	0,44	----	----
<b>Total</b>	<b>1,4155</b>	<b>1,0625</b>	<b>1,2780</b>	<b>1,25</b>	<b>100,00</b>	<b>----</b>	<b>----</b>

Fuente: Elaboración Propia

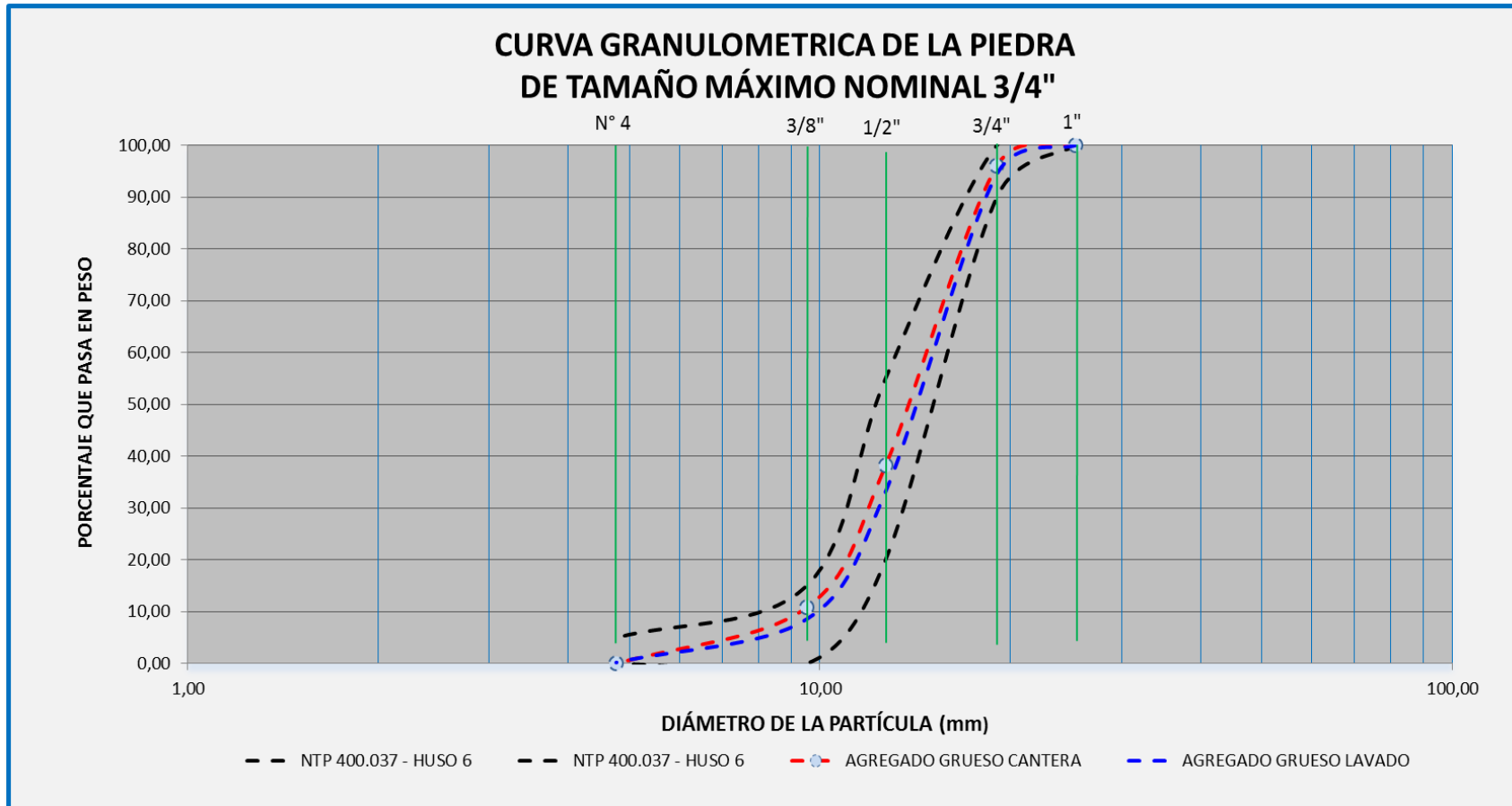
La presencia de finos es conveniente para la trabajabilidad del concreto hasta cierta medida, sin embargo para concretos de alta resistencia es opuesto a lo requerido debido a su baja relación agua/cemento ya que a mayor contenido de finos mayor es la demanda de agua y por ende reduce la resistencia.

Imagen 11: Curva granulométrica del agregado fino en estudio.



Fuente: Elaboración Propia.

**Imagen 12:** Curva granulométrica del agregado grueso en estudio.



Fuente: Elaboración Propia.

**Cuadro 3. 5:** Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso.

Malla	Peso Retenido (kg)				RET. PROM. (%)	RET. ACUM. (%)	ACUM. PASA. (%)
	M-1	M-2	M-3	Prom.			
1"	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	100,00
¾"	0,3260	0,2115	0,2305	0,2560	3,94	3,94	96,06
½"	3,5215	3,1405	4,5485	3,7368	57,57	61,52	38,48
3/8"	1,6420	1,3080	2,3550	1,7683	27,24	88,76	11,24
N° 4	0,5160	0,4675	1,1135	0,6990	10,77	99,53	0,47
N° 8	0,0140	0,0115	0,0595	0,0283	0,44	99,97	0,03
Fondo	0,0000	0,0020	0,0040	0,0020	0,03	100,00	0,00
<b>Total</b>	6,0195	5,1410	8,3110	6,4905	100,00	----	----

Fuente: Elaboración Propia

### 3.1.1.3 Propiedades físicas de los agregados.

Conocer las propiedades físicas de los agregados es muy importante, para conocer el comportamiento del concreto elaborado con estos agregados. Además de tener en cuenta un control de calidad estricto tanto en cantera como en laboratorio, ya que el concreto de alta resistencia es altamente susceptible a los cambios en su constitución. Para determinar las propiedades físicas de los agregados fino y grueso se tomaron tres muestras (M1, M2 y M3), tomándose los valores promedios de las tres muestras como representativos. La metodología utilizada para determinar las propiedades físicas de los agregados está de acuerdo a las Normas Técnicas Peruanas y las Normas ASTM.

Los agregados utilizados en la investigación constituyen en promedio el 65% del volumen total de una mezcla de concreto y muchas de las propiedades principalmente mecánicas dependen directamente de los agregados, es decir de sus propiedades físicas y mecánicas.

- **Granulometría de los agregados.**

La granulometría representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el empleo de tamices de aberturas determinadas, la cual está representada en las curvas granulométricas que proporciona una visión objetiva de la distribución. El agregado deberá estar graduado dentro de los límites establecidos en la Norma NTP400.037 o la Norma ASTM C-33 los cuales están establecidos en las Tablas 2.2 y 2.3. Los resultados finales del ensayo de granulometría se ilustran en los Cuadros 3.6 y 3.7 e Imágenes 13 y 14.

La importancia de la granulometría destaca por que está directamente relacionada con las características de la manejabilidad del concreto en estado fresco, la demanda de agua, la compacidad y la resistencia mecánica del concreto en estado endurecido.

**Cuadro 3. 6:** Granulometría del agregado fino usado

Malla	Peso Retenido (gr)				RET. PROM. (%)	RET. ACUM. (%)	ACUM. PASA. (%)
	M-1	M-2	M-3	Prom.			
3/8"	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	100,00
N° 4	0,0120	0,0120	0,0150	0,0130	1,04	1,04	98,96
N° 8	0,1805	0,1535	0,1810	0,1717	13,71	14,75	85,25
N° 16	0,2100	0,1750	0,2045	0,1965	15,69	30,44	69,56
N° 30	0,3090	0,2330	0,2740	0,2720	21,73	52,17	47,83
N° 50	0,3895	0,2730	0,3320	0,3315	26,48	78,65	21,35
N° 100	0,2495	0,1695	0,2140	0,2110	16,85	95,50	4,50
N° 200	0,0585	0,0420	0,0520	0,0508	4,06	99,56	0,44
<200	0,0065	0,0045	0,0055	0,0055	0,44	100,00	0,00
<b>Total</b>	1,4155	1,0625	1,2780	1,2520	100,00	----	----

Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro 3. 7:** Granulometría del agregado grueso usado.

Malla	Peso Retenido (kg)				RET. PROM. (%)	RET. ACUM. (%)	ACUM. PASA. (%)
	M-1	M-2	M-3	Prom.			
1"	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	100,00
¾"	0,3260	0,2115	0,2305	0,2560	3,94	3,94	96,06
½"	3,5215	3,1405	4,5485	3,7368	57,57	61,52	38,48
3/8"	1,6420	1,3080	2,3550	1,7683	27,24	88,76	11,24
N° 4	0,5160	0,4675	1,1135	0,6990	10,77	99,53	0,47
N° 8	0,0140	0,0115	0,0595	0,0283	0,44	99,97	0,03
Fondo	0,0000	0,0020	0,0040	0,0020	0,03	100,00	0,00
<b>Total</b>	6,0195	5,1410	8,3110	6,4905	100,00	----	----

Fuente: Elaboración Propia

- **Módulo de fineza.**

El módulo de fineza de los agregados se determina a partir de los resultados del ensayo granulométrico, para la distribución volumétrica de las partículas de los agregados, se define el módulo de finura como la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados hasta la malla N°100 y esta cantidad se divide entre 100.

$$MF = \sum \frac{\text{PORCENTAJES RETENIDOS ACUMULADOS}}{100}$$

$$MF = \sum \frac{\% (3''+1 1/2''+3/4''+3/8''+N^{\circ}4+N^{\circ}8+N^{\circ}16+N^{\circ}30+N^{\circ}50+N^{\circ}100)}{100}$$

El módulo de finura determinado para el agregado fino es de 2,73 y el determinado para el agregado grueso es de 6,92, a partir de los Cuadros 3.6 y 3.7. El módulo de finura del agregado fino adecuado es la próxima a 3,00 más nunca menor a 2,50. Arenas de esta característica con alto contenido de finos produciría concretos muy pastosos con alto requerimiento de agua, inadecuados para concretos de alta resistencia por su baja relación agua cemento requerido de 0,25 a 0,40.

Imagen 13: Curva granulométrica del agregado fino usado.

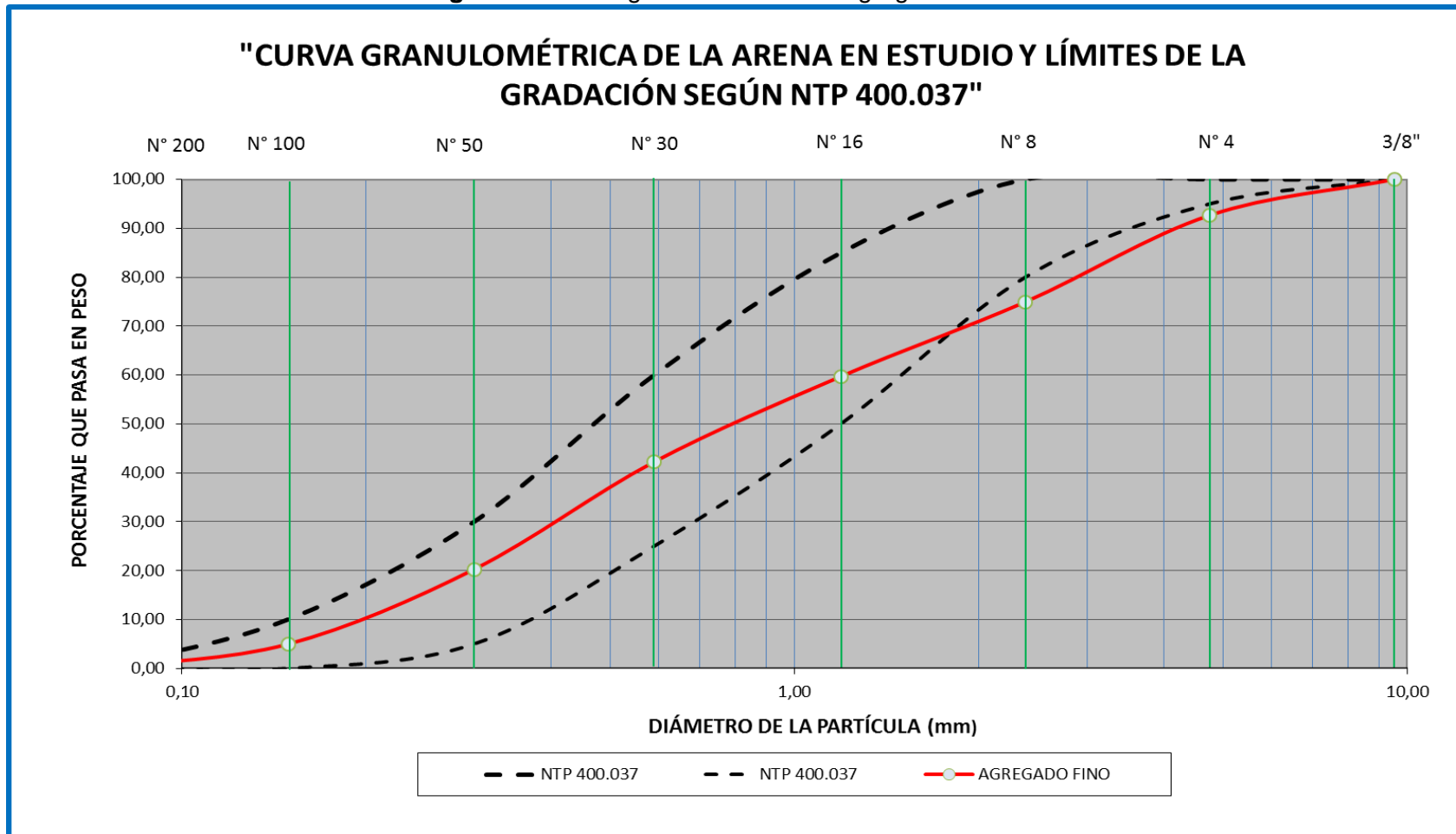
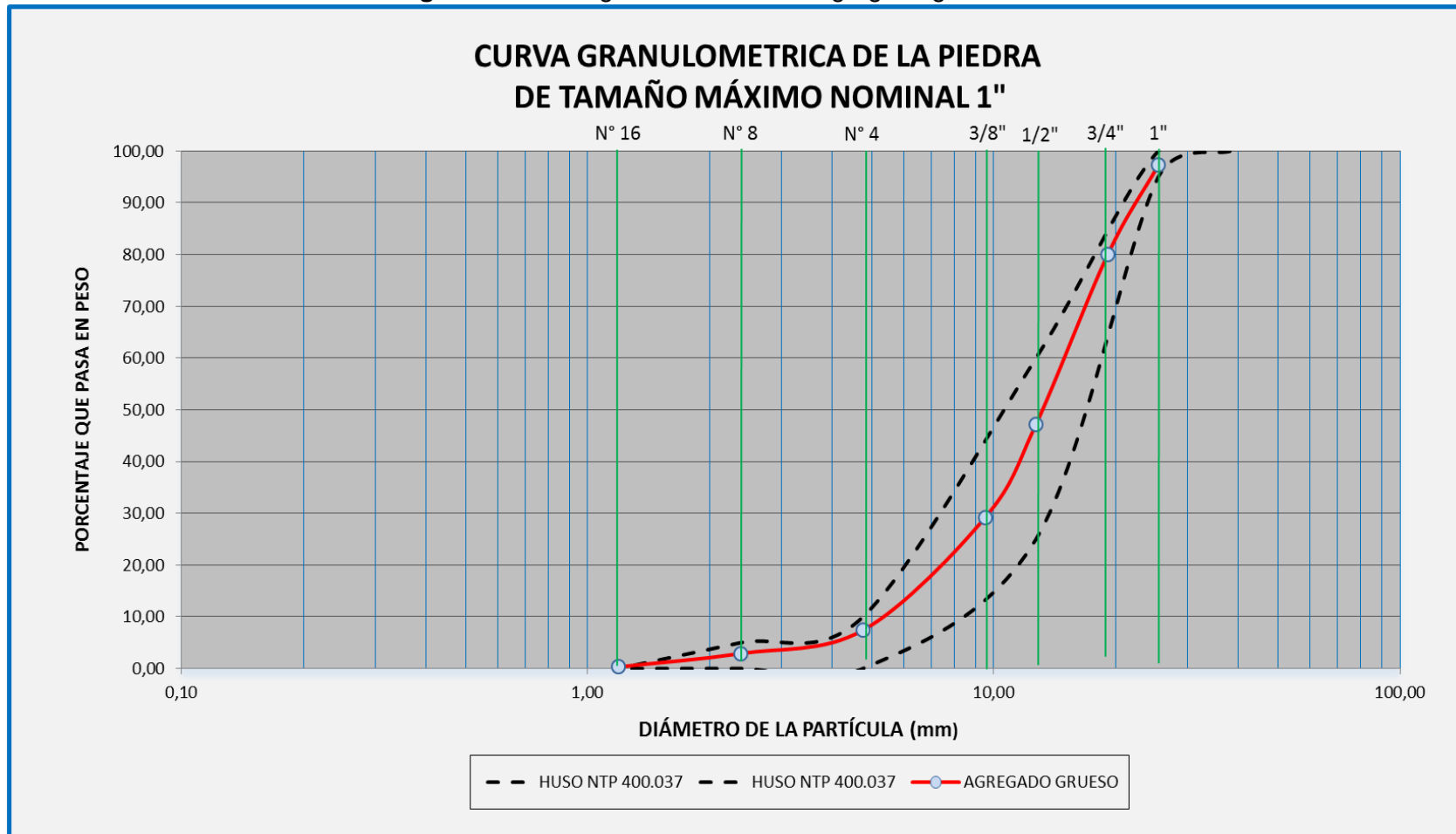


Imagen 14: Curva granulométrica del agregado grueso usado.



Fuente: Elaboración Propia.

- **Peso unitario.**

Se denomina peso unitario del agregado al peso que alcanza un determinado volumen unitario. Este valor es requerido cuando se trata de clasificar agregados ligeros o pesados y en el caso de realizar proporciones de mezcla de concreto por volumen. El peso unitario del agregado varía de acuerdo a condiciones intrínsecas, como la forma, granulometría y tamaño máximo. Asimismo, depende de factores externos como la relación de tamaño máximo con el volumen del recipiente utilizado para realizar el ensayo, la consolidación impuesta, la forma de consolidación, etc. De acuerdo a la consolidación hay dos tipos de peso unitario: suelto y compactado. Los pesos unitarios para el agregado fino y grueso utilizados fueron determinados según la Norma 400.017 y los valores obtenidos de muestran en los Cuadros 3.8 y 3.9 respectivamente.

**Cuadro 3. 8:** Peso unitario del agregado fino usado.

	M-1	M-2	M-3	unidad
Peso del recipiente.	5,48			Kg
Volumen del recipiente.	0,01426			m <sup>3</sup>
Peso del material+ tara sin compactar.	28,63	28,65	28,66	Kg
Peso del material suelto.	23,15	23,16	23,18	Kg
Peso del material + tara compactado.	30,11	30,12	30,22	Kg
Peso del material compactado.	24,63	24,63	24,74	Kg
<b>Peso unitario suelto.</b>	<b>1 624,31</b>			<b>kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Peso unitario compactado.</b>	<b>1 729,71</b>			<b>kg/m<sup>3</sup></b>

Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro 3. 9:** Peso unitario del agregado grueso usado.

	M-1	M-2	M-3	unidad
Peso del recipiente.	5,48			Kg
Volumen del recipiente.	0,01426			m <sup>3</sup>
Peso del material+ tara sin compactar.	25,68	25,54	25,49	Kg
Peso del material suelto.	20,20	20,05	20,00	Kg
Peso del material + tara compactado.	27,07	27,16	27,18	Kg
Peso del material compactado.	21,59	21,67	21,69	Kg
<b>Peso unitario suelto.</b>	<b>1 408,42</b>			<b>kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Peso unitario compactado.</b>	<b>1 518,35</b>			<b>kg/m<sup>3</sup></b>

Fuente: Elaboración Propia

- **Peso específico.**

El peso específico de los agregados adquiere importancia en la construcción, cuando se requiere que el concreto tenga un peso límite, sea máximo o mínimo. Además, el peso específico es un indicador de calidad, en cuanto que los valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que el peso específico baja generalmente corresponde a agregados absorbentes y débiles, caso en el que es recomendable realizar pruebas adicionales.

**Cuadro 3. 10:** Peso específico del agregado fino usado.

	M-1	M-2	M-3	unidad
Peso de la muestra S.S.S.	0,5000			kg
Peso del balón seco.	0,1590	0,1605	0,1605	kg
Peso S.S.S. + balón.	0,6590	0,6605	0,6605	kg
Peso S.S.S. + balón + agua.	0,9675	0,9575	0,9535	kg
Peso del agua.	0,3085	0,2970	0,2930	kg
Volumen del balón.	500,00	500,00	500,00	cm <sup>3</sup>
<b>Peso específico.</b>	<b>2,61</b>	<b>2,46</b>	<b>2,42</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>Peso específico saturado superficialmente seco (PESSS).</b>	<b>2,54</b>			<b>gr/cm<sup>3</sup></b>

Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro 3. 11:** Peso específico del agregado grueso usado.

	M-1	M-2	M-3	unidad
Peso de la muestra S.S.S.	2,0000	2,0000	2,0000	kg
Peso de la canastilla en el agua.	0,1340			kg
Peso de la muestra S.S.S.+ canastilla en el agua.	1,3780	1,3830	1,3830	kg
Peso de la muestra S.S.S. en el agua.	1,2440	1,3830	1,3830	kg
Peso S.S.S. en el agua.	1,2440	1,2430	1,2440	kg
<b>Peso específico.</b>	<b>2,65</b>	<b>2,64</b>	<b>2,65</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>Peso específico saturado superficialmente seco (PESSS)</b>				<b>2,66</b> <b>gr/cm<sup>3</sup></b>

Fuente: Elaboración Propia

- **Porcentaje de absorción.**

La capacidad que tienen los agregados de atrapar las moléculas de agua es sus poros, producido por la capilaridad, es la absorción. Su influencia radica en el aporte de agua al concreto haciendo variar propiedades importantes como la resistencia y la trabajabilidad. La absorción de los agregados fino y grueso utilizados en la investigación fueron determinados según la NTP 400.022 y los valores obtenidos se muestran en los Cuadros 3.12 y 3.13.

**Cuadro 3. 12:** Porcentaje de absorción del agregado fino usado.

	M-1	M-2	M-3	Unidad.
Peso de la muestra S.S.S.	0,5000			kg
Peso de la tara.	0,5700	0,5700	0,5700	kg
Peso de la tara +muestra seca.	1,0650	1,0600	1,0600	kg
Peso de la muestra seca.	0,4950	0,4900	0,4900	kg
<b>Absorción.</b>	<b>1,67</b>			<b>%</b>

Fuente: Elaboración Propia.

- **Humedad natural.**

La cantidad de agua retenida por las partículas del agregado es el contenido de humedad, esta propiedad varía en función del tiempo y condiciones ambientales, razones por las cuales el contenido de humedad natural fue determinada para cada diseño previa preparación de muestras.

**Cuadro 3. 13:** Porcentaje de absorción del agregado grueso usado.

	M-1	M-2	M-3	Unidad.
Peso de la muestra S.S.S.	3,0000			kg
Peso de la tara.	0,5700			kg
Peso de la muestra + muestra seca.	3,5450	3,5450	3,5500	kg
Peso de la muestra seca.	2,9750	2,9750	2,9800	kg
<b>Absorción.</b>	<b>0,78</b>			<b>%</b>

Fuente: Elaboración Propia.

- **Dureza (Abrasión del agregado grueso).**

La dureza es una característica del material, relacionada con su solidez y consistencia. Pero no hay una medida de esta característica que pueda aplicarse a todos los materiales. Existe una serie de definiciones arbitrarias de esta propiedad, en los que están basados los ensayos de dureza: resistencia al rayado, dureza al rebote, resistencia al desgaste, resistencia al mecanizado, resistencia de indentación.

En esta Tesis de investigación se realizó el ensayo a la abrasión por el método de la máquina de los Ángeles, como un parámetro de la dureza del agregado grueso usado de la Cantera Arunta.

**Cuadro 3. 14:** Resistencia a la abrasión del agregado grueso.

METODO "B"						
MALLA		PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUM. QUE PASA	DESGASTE 500 Rev.
PASA	RET.					
¾"	½"	2 500,00	50,00	50,00	50,00	---
½"	3/8"	2 500,00	50,00	100,00	0,00	---
<b>Total M1</b>		5 000,00	100,00	---	---	770,50
<b>Total M2</b>		5 000,00	100,00	---	---	757,00
<b>% de desgaste</b>					<b>M1</b>	15,41
<b>% de desgaste</b>					<b>M2</b>	15,14

Fuente: Elaboración Propia.

El agregado grueso que va a ser empleado en aquellas obras que van a ser sometidas a abrasión o erosión como concretos para pavimentos o pisos, no deberá tener una pérdida mayor del 50% en el ensayo realizado de acuerdo a la Norma NTP 400.019 ó 400.020, o de la Norma ASTM C-131.

- **Materiales más finos que pasan la malla N°200 (75µm).**

El material fino constituido por arcilla y limo, se presenta en el agregado grueso recubriendo la superficie de este, o mezclado con la arena. En el primer caso afecta la adherencia del agregado y la pasta; en el segundo, incrementa los requerimientos de agua para la mezcla. En principio, un moderado porcentaje de finos menores a 75µm puede favorecer la trabajabilidad, pero un incremento afecta la resistencia a la compresión del concreto. El agregado fino usado presenta un 1% de finos que pasan la malla N°200 y el agregado grueso un 0,17%, ambos determinados según la NTP 400.018.

**Cuadro 3. 15:** Resumen de propiedades físicas de los agregados usados la investigación de la Tesis.

Descripción.	Agregado Fino.	Agregado Grueso.	Unidad.
Cantera.	Arunta.	Arunta.	
Resistencia a la abrasión	---	15,28	%
Absorción.	1,67	0,78	%
Peso específico.	2,54	2,66	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario suelto seco.	1 624	1 408	kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado seco.	1 730	1 518	kg/m <sup>3</sup>
Módulo de finura.	2,73	6,92	----
Finos que pasan la malla N° 200.	1,00	0,17	%
Tamaño máximo.	----	1	Pulgada.
Tamaño máximo nominal.	----	¾	Pulgada.

Fuente: Elaboración Propia.

### 3.2.3 ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE SIKA VISCOCRETE – 20 HE.

Sika Viscocrete – 20 HE es un aditivo superplastificante de tercera generación para concreto y mortero.

#### 3.1.2.1 Características y propiedades.

Este aditivo adquirido de la empresa Sika Perú S.A; está desarrollado a base de polycarboxilatos y se presenta en forma líquida, según la NTP 334.088 y la ASTM C-494 es clasificado como Tipo “F”, reductores de agua de alto rango.

#### A. Descripción:

Sika Viscocrete 20 HE es un aditivo superplastificante reductor de agua de alto rango de color gris a gris oscuro, aspecto líquido y viene en presentación de cilindros de 200L.

## **B. Usos:**

Sika Viscocrete 20 HE está especialmente diseñado para la producción de concreto que requiere de un rápido desarrollo de resistencia inicial, alta reducción de agua y excelente trabajabilidad. Sika Viscocrete 20 HE es usado para los siguientes tipos de concretos:

- Concreto prefabricado y pretensado.
- Concreto de rápida puesta en servicio.
- Concretos que requieren un rápido desmolde.
- Concreto autocompactante sin necesidad de vibración.

## **C. Ventajas:**

Sika Viscocrete 20 HE actúa por diferentes mecanismos. Mediante su absorción superficial y el efecto de separación espacial de las partículas de cemento en paralelo al proceso de hidratación, se obtienen las siguientes propiedades:

- Extremadamente alta reducción de agua, generando una alta resistencia, densidad e impermeabilidad del concreto.
- Excelente fluidez, reduciendo al mínimo el trabajo en la colocación y compactación.
- Incremento del desarrollo de resistencia inicial.
- Reduce el gasto de energía en elementos prefabricados curados a vapor.

- Fuerte comportamiento autocompactante. Por lo mismo, es altamente apropiado para la producción de concreto autocompactante, sin necesidad de vibración.
- Mejoramiento del comportamiento en fluencia y retracción.
- Reducida velocidad de carbonatación del concreto.

Sika Viscocrete – 20 HE no contiene cloruros u otro ingrediente promotor de la corrosión por lo que puede ser utilizado sin restricciones en concreto armado y pretensado.

**D. Normas:**

Cumple con las normas NTP 334.088 ASTM C-494, Tipo F y ASTM C-1017.

**E. Modo de empleo:**

La dosis recomendada del Sika Viscocrete – 20 HE está en el margen comprendido entre 1,00 – 2,00% por peso del cemento. Dependiendo de la trabajabilidad y reducción de agua deseada.

El aditivo debe agregarse diluido en el agua de amasado al momento del mezclado o agregado simultáneamente con el agua al interior del mezclador. Para un óptimo comportamiento, mezclar enérgicamente durante un mínimo de 4 minutos.

**F. Datos Técnicos:** Densidad: 1,08 kg/cm<sup>3</sup>.

### **3.2.4 MICROSÍLICE SIKA FUME.**

#### **A. Descripción general:**

Es un aditivo en polvo compuesto por Microsílice (Silica Fume) de alta calidad y que acondicionado a la mezcla de concreto o mortero, disminuye el lavado del cemento en el vaciado de la mezcla bajo agua. Sika Fume no contiene cloruros y puede utilizarse en concretos y morteros en conjunto con un superplastificante para obtener la fluidez necesaria para la colocación del concreto.

#### **B. Usos:**

- En el concreto bajo agua en puertos, puentes, presas, reparaciones, rellenos, entre otros.
- En concretos de alta impermeabilidad y durabilidad.
- En concretos de alta resistencia (mayor a 500 kg/cm<sup>2</sup>).
- En concretos bombeados y proyectados.
- En morteros y lechadas de inyección.

#### **C. Ventajas:**

- Disminuye la pérdida de cemento y elementos finos.
- Aumenta la resistencia mecánica.
- Aumenta la impermeabilidad.
- Aumenta la resistencia química.
- Aumenta la adherencia al acero.
- Permite utilizar mezclas altamente fluidas con alta cohesión.
- Aumenta la cohesión y disminuye la exudación de la mezcla fresca.
- Aumenta la durabilidad frente a agentes agresivos.
- Aumenta la resistencia a abrasión.

#### D. Normas

- Cumple con la norma CSA – A 3001 – 03.

#### E. Modo de empleo:

Dosis recomendada: 10% del peso del cemento, se adiciona a la mezcladora junto con el cemento o la arena.

#### F. Datos Técnicos:

- Apariencia: polvo gris.
- Gravedad específica: 2,20.
- Superficie específica (Blaine): 18 000 – 22 000m<sup>2</sup>/kg.
- Partícula: amorfa de forma esférica.
- Finura (diámetro promedio): 0,1 – 0,2um.
- Porcentaje que pasa 45um: 95 – 100%.

**Tabla 3. 1:** Análisis químico de la Microsílice Sika Fume.

SiO <sub>2</sub>	93,0% mínimo
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,8% máximo
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,4% máximo
CaO	0,6% máximo
MgO	0,6% máximo
Na <sub>2</sub> O	0,2% máximo
K <sub>2</sub> O	1,2% máximo
C (libre)	2,0% máximo
SO <sub>3</sub>	0,4% máximo
Perdida por ignición	3,5% máximo

Fuente: Sika Perú S.A.

### **3.2.5 NANOSÍLICE SIKA STABILIZER PE.**

#### **A. Descripción general:**

Sika Stabilizer PE es un aditivo que añadido al concreto o mortero aumenta la estabilidad y la cohesión.

#### **B. Usos:**

Sika Stabilizer PE está especialmente desarrollado para fabricación de concretos autocompactante y de todo tipo de concretos donde exista la probabilidad de segregación por las condiciones de transporte o de puesta en obra. Sika Stabilizer PE mejora las propiedades del concreto fresco mejorando la fabricación de concretos con contenidos de finos muy variable, bajo contenido de cemento o granulometrías desfavorables.

- Fabricación de concretos autocompactantes.
- Fabricación de concretos bombeables.
- Inyección de concreto y fabricación de concreto con bajo contenido de finos.

#### **C. Ventajas:**

- Incrementa la resistencia a edades tempranas.
- Mejora enormemente la cohesión interna del concreto.
- Menor sensibilidad frente a variaciones en materias primas.
- Mezcla homogénea.
- Menor exudación.
- Baja tendencia a la segregación.

- Reduce los defectos de compactación.
- Acabados superficiales suaves.
- Mejora en el bombeo.
- Mejora la vida útil del equipo de bombeo.

Sika Stabilizer PE no contiene cloruros ni otros ingredientes que promuevan la corrosión del acero, por lo tanto es apropiado para el uso en concreto armado y estructuras pretensadas.

**D. Modo de empleo:**

Dosis: la dosis recomendada del Sika Stabilizer PE es de 0,1% a 1.5% del peso del cemento. Sika Stabilizer PE se añade a la mezcla diluido en la última parte del agua de amasado del concreto de acuerdo a la dosificación prescrita.

**E. Datos Técnicos:**

- Aspecto: líquido blanco.
- Densidad: 1,00kg/L.
- Presentación: cilindros de 200L.

**3.2.6 CEMENTO PORTLAND TIPO IP.**

El cemento usado es el cemento Portland Puzolánico Tipo IP de cementos YURA S.A., viene en presentación de bolsas de 42,5kg. Cumple con la Norma ASTM C-595 y la NTP 334.090, sus características físicas y químicas se presentan en las Tablas 3.2 y 3.3.

### Características químicas del cemento utilizado en este trabajo.

**Tabla 3. 2:** Especificaciones químicas para el Cemento Portland Tipo IP.

Descripción.	Norma ASTM C-595	Norma NTP 334.090	Cemento YURA IP
Dióxido de Silicio + RI ( $\text{SiO}_2 + \text{Ri}$ )	----	----	36,64
Oxido de Aluminio, $\text{Al}_2\text{O}_3$	----	----	7,14
Oxido férrico, $\text{Fe}_2\text{O}_3$ %	----	----	3,00
Oxido de Calcio, CaO %	----	----	44,75
Oxido de Magnesio, MgO, %	Máx. 6,0	Máx. 6,0	1,85
Trióxido de Azufre, $\text{SO}_3$ , %	Máx. 5,0	Máx. 5,0	1,55
Perdida por calcinación, PF %	Máx. 5,0	Máx. 5,0	1,90

Fuente: Cementos YURA S.A.

**Tabla 3. 3:** Características físicas del Cemento Portland Tipo IP-YURA.

Características Físicas	Norma ASTM C-595	Norma NTP 334.090	Cemento YURA IP
Peso específico ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	-----	----	2,82
Superficie específica Blaine ( $\text{cm}^2/\text{gr}$ )	-----	----	4,440
Expansión autoclave (%)	0,50 Máx.	0,80 Max.	-0,02
Fraguado inicial Vicat (hr.min)	Más de 45'	Más de 45'	180
Fraguado final Vicat (hr.min)	Menos de 420'	Menos de 420'	220
$f'c$ a 3 días ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	127,00min	120,00min	208,00
$f'c$ a 7 días ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	198,00min	190,00min	256,00
$f'c$ a 28 días ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	247,00min	240,00min	348,00
$f'c$ a 60 días ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	----	----	403,00
Resistencia a sulfatos (14 días) %	0,040máx	0,040máx	0,018

Fuente: Cementos YURA S.A.

### 3.2.7 AGUA POTABLE.

El agua usada en esta investigación para la preparación y curado del concreto de alta resistencia es el agua potable de la red pública (EPS TACNA S.A.), del laboratorio de Mecánica de materiales, concreto y asfalto de la municipalidad provincial de Tacna.

Para esta investigación se solicitó los ensayos de control de calidad del análisis físico – químico del agua potable al laboratorio de control de calidad de la División de Operaciones de la EPS – Tacna. Los resultados de los ensayos físico-químicos del agua potable usada se muestran en el Cuadro 3.16.

**Cuadro 3. 16:** Resultados del análisis físico – químico del agua potable usado para la preparación y curado del concreto de alta resistencia.

Sustancia	Valores Obtenidos	Norma NTP 339.088
Cloruros (ppm)	13,00	330 Max.
Sulfatos (ppm)	215,00	300 Max.
Sales de magnesio (ppm)	14,19	150 Max.
Sales solubles totales (ppm)	220,00	500 Max.
pH	7,86	Mayor de 7.
Sólidos en suspensión (ppm)	310,00	1 500 Max.
Materia orgánica (ppm)	1,58	10 Max.

Fuente: EPS - Tacna

El agua potable usado para la preparación y curado del concreto cumple con las especificaciones de la norma NTP 339.088 como se ilustra en el Cuadro 3.16. Sin embargo para concreto de alta resistencia el pH mínimo necesario para el agua de curado debe ser no menor de 8.5; para cumplir con este objetivo ha sido necesario usar cal (3gr/litro) para incrementar la alcalinidad del agua potable hasta 13 ó 14, siendo el pH del concreto mayor a 12. El objeto de añadir la cal es no reducir la alcalinidad, la masa, y la resistencia del concreto.

### **3.3 PREPARACIÓN DEL CONCRETO.**

En la sección anterior se hizo la presentación detallada de los insumos que se usarán. Seguidamente en esta sección se desarrollará el método de diseño de mezclas del concreto de alta resistencia del comité ACI 211.4 revisada en 1998. Este método semi – empírico sirve de base para realizar las mezclas objeto de investigación.

#### **3.3.1 PROPORCIONAMIENTO DE LA MEZCLA BASE.**

El desarrollo de los siguientes pasos dará como resultado un conjunto de proporciones ajustadas con las pruebas de laboratorio. Estas proporciones serán la base para poder elegir la proporción óptima de mezcla.

##### **Requerimientos:**

Diseñaremos un concreto de alta resistencia para columnas de un edificio para oficinas de varios pisos, con una resistencia especificada a los 28 días de  $500 \text{ kg/cm}^2$ . Un slump de 3" a 4" (75 mm – 100 mm) es requerido para lograr la trabajabilidad necesaria. El tamaño máximo del agregado no debe exceder en 1". Luego se usará un aditivo superplastificante para incrementar el slump de 9" a 11" (225 mm – 275 mm) y que a su vez nos permita trabajar con la adición de la Microsílice y Nanosílice. Asumimos que no existe registro anterior de la producción de concreto de alta resistencia.

### Desarrollo:

Para el desarrollo de este diseño se hizo uso de las características físicas de los agregados del Cuadro 3.15, Cementos Yura IP y agua potable.

- **Selección del slump y la resistencia del concreto requerido,**

Dado la necesidad de trabajabilidad escogemos un slump de 3" – 4" (Tabla 2.11), además por la no existencia de registro de pruebas anteriores, calculamos la resistencia promedio del concreto a los 28 días.

Para calcular la resistencia de diseño promedio debemos conocer la desviación estándar (DS), caso contrario el comité del ACI considera que el cálculo será según la Tabla 3.4:

**Tabla 3. 4:** Desviación estándar del concreto.

$f'_c$ especificado	$f'_{CR}$ requerido
< 210 kg/cm <sup>2</sup>	$f'_c + 70$
210 – 350 kg/cm <sup>2</sup>	$f'_c + 84$
> 350 kg/cm <sup>2</sup>	$f'_c + 98$

Fuente: Comité ACI 211.

La resistencia en estudio es de 500 kg/cm<sup>2</sup>, por lo que la resistencia requerida para el diseño se obtiene mediante la siguiente fórmula.

$$\begin{aligned}f'_{cr} &= (f'_c + 98) \\f'_{cr} &= 500 + 98 \\f'_{cr} &= 598 \text{ kg / cm}^2\end{aligned}$$

- **Seleccionar el tamaño máximo del agregado,**

Usamos los datos de la Tabla 2.12, el cual nos recomienda para una resistencia inferior a  $630 \text{ kg/cm}^2$ , un agregado de tamaño máximo comprendido entre  $\frac{3}{4}'' - 1''$  (20 mm -25 mm).

- **Seleccionar el contenido óptimo del agregado grueso,**

De la Tabla 2.13, obtenemos el volumen de agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen de concreto=0,72, calculamos el peso seco del agregado grueso por metro cúbico de concreto.

$$W_{\text{seco}} = (\%Vol) * (\text{Peso seco compactado})$$

$$W_{\text{seco}} = 0,72 * 1518$$

$$W_{\text{seco}} = 1092,96 \text{ kg}$$

- **Estimar el agua de mezcla y el contenido de aire,**

De la Tabla 2.14, la primera estimación del agua de mezclado requerida es de  $180 \text{ kg/m}^3$  de concreto y el contenido de aire es de 2%. Con la siguiente fórmula se calcula el % de vacíos del agregado fino.

$$V = \left( 1 - \frac{\text{PUC}}{\text{Peso específico}} \right) * 100 = \left( 1 - \frac{1730}{2.57 * 1000} \right) * 100 = 31,89\%$$

Ajustando el agua de mezclado respecto a la desviación de vacíos del 31.89%.

$$A = 4,72(V - 35) = 4,72(31,89 - 35) = -14,68 \text{ kg/m}^3$$

Entonces el agua de mezclado será:

$$W = 180 + 14.68 = 194,68 \text{Lts} / \text{m}^3$$

- **Seleccionar la relación agua/materiales cementicios,**

De la Tabla 2.16, obtenemos por interpolación el valor de la relación a/mc, con TM de 1", considerando que se hará uso del aditivo Superplastificante.

$$\text{Relación } a / mc = 0,35$$

- **Cálculo del contenido de material cementicio,**

Conocemos el contenido de agua =194,68Lts/m<sup>3</sup> y la relación agua-material cementicio=0,35; entonces la cantidad de cemento es:

$$\text{cemento} = \frac{194,68}{0,35} = 553,70 \text{kg} \cong 555 \text{kg}$$

- **Proporcionamiento de la mezcla de prueba base,**

Las proporciones de todos los materiales por m<sup>3</sup> excepto la arena es la siguiente:

Cemento	=555/(2,82*1 000)	=0,20 m <sup>3</sup>
Agr. Grueso	=1 093/(2,66*1 000)	=0,41 m <sup>3</sup>
Agua	=195/1 000	=0,20 m <sup>3</sup>
Aire	=0,02	<u>=0,02 m<sup>3</sup></u>
		=0,83 m <sup>3</sup>
Agr. Fino	=1-0,81	=0,17 m <sup>3</sup>

La cantidad de agregado fino por m<sup>3</sup> será:

$$\text{Agr. Fino} = 0,17 * 2,54 * 1\ 000 = 431.8 \text{ Kg}$$

Las proporciones de mezcla en peso serán:

Cemento	=	555 Kg/m <sup>3</sup>
Agr. Fino	=	432 Kg/m <sup>3</sup>
Agr. Grueso	=	1 093 Kg/m <sup>3</sup>
Agua	=	<u>195 Kg/m<sup>3</sup></u>
Total	=	2 275 Kg/m <sup>3</sup>

En esta investigación consideramos conveniente hacer estudios para determinar la óptima combinación de agregados, la cual se logra mediante la determinación de la combinación de materiales que produzca la máxima densidad compatible con una buena trabajabilidad del concreto.

### **3.3.2 DESARROLLO DEL DISEÑO.**

#### **3.3.2.1 Diseño del Concreto Patrón-DCPO.**

Para el desarrollo del concreto patrón se hizo uso del método semi – empírico establecido por el comité ACI 211.4 con la modificación en la selección de la relación de agregado fino/agregado grueso=44/56 obtenido por el método empírico del Peso Unitario Compactado Máximo; con contenido de cemento de 565 kg por metro cúbico de mezcla y asentamiento de 3 a 4 pulgadas, con relación agua-cemento de 0,40.

Este diseño no posee ningún aditivo ni adición mineral en su composición. La resistencia a la compresión promedio de estudio para esta Tesis es de  $f'_c=500 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días.

### 3.3.2.1.1 Peso Unitario Compactado.

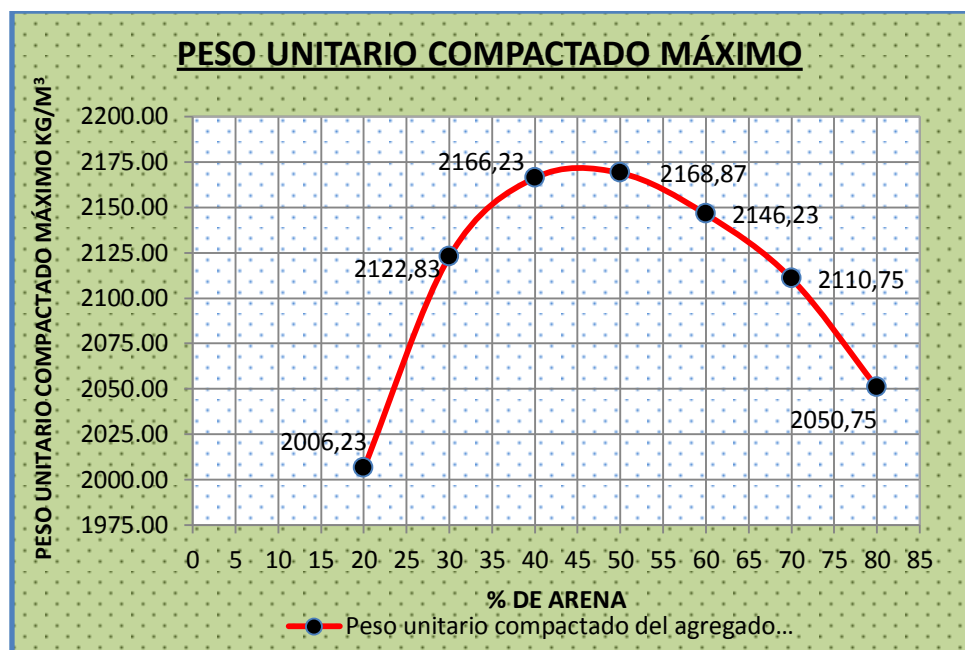
Este método empírico permite la obtención de las cantidades en porcentaje del agregado fino y agregado grueso, basados en la teoría del mejor acomodo de las partículas de agregado en la mezcla. El peso unitario compactado de la combinación de los agregados se determina combinando diferentes porcentajes en peso seco de los agregados para luego obtener su peso unitario compactado. Los resultados para determinar el peso unitario compactado máximo de la combinación de los agregados se muestran en el Cuadro 3.17 y la Imagen 15.

**Cuadro 3. 17:** Valores del peso unitario compactado de la combinación de los agregados.

Muestras	Proporción de Agregados		Peso seco de agregados		Peso Unitario Compactado	
	Agregado fino (%)	Agregado grueso (%)	Agregado fino (kg)	Agregado grueso (kg)	Peso Unitario Compactado	PUCM (kg/m <sup>3</sup> )
M1	20	80	2,80	1,20	10,63	2 006,23
M2	30	70	4,20	9,80	11,25	2 122,83
M3	40	60	5,60	8,40	11,48	2 166,23
M4	50	50	7,00	7,00	11,50	2 168,87
M5	60	40	8,40	5,60	11,38	2 146,23
M6	70	30	9,80	4,20	11,19	2 110,75
M7	80	20	11,20	2,80	10,87	2 050,75

Fuente: Elaboración propia.

**Imagen 15:** Curva del peso unitario compactado máximo de la combinación de agregados.



Fuente: Elaboración propia.

De la curva mostrada en la Imagen 15 se determina que el Peso Unitario Compactado Máximo del agregado fino/agregado grueso es 45/55, resultando como la mejor combinación de los agregados; sin embargo para determinar la proporción óptima de los agregados se realizaron muestras preliminares del concreto patrón tomando las mejores combinaciones y variando en  $\pm 1\%$  respecto al peso unitario compactado máximo, y teniendo en consideración que para un alto contenido de material cementante es necesario determinar el contenido óptimo del agregado grueso. Las dosificaciones y la resistencia a la rotura a los 07 días se muestran en el Cuadro 3.18 que siguen a continuación:

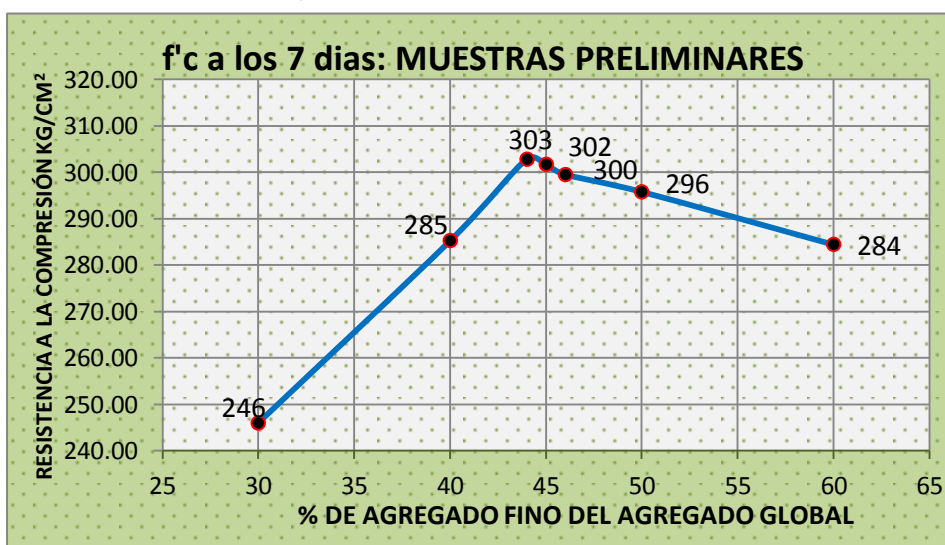
**Cuadro 3. 18:** Valores de la resistencia a la compresión a los 7 días.

Diseño	Proporción de Agregados		Peso seco de agregados		Contenido de cemento (Kg/m <sup>3</sup> )	a/mc	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
	Agreg. Fino (%)	Agreg. Grueso (%)	Agregado fino (kg/m <sup>3</sup> )	Agregado grueso (kg/m <sup>3</sup> )			
DPCP3070	30	70	441,51	1 037,18	555,00	0,40	246,00
DPCP4060	40	60	589,20	883,80	555,00	0,40	285,23
DPCP4456	44	56	646,61	822,95	555,00	0,40	302,88
DPCP4555	45	55	660,92	807,79	555,00	0,40	301,69
DPCP4654	46	54	675,21	792,64	555,00	0,40	299,52
DPCP5050	50	50	732,21	732,21	555,00	0,40	295,79
DPCP6040	60	40	873,57	582,38	555,00	0,40	284,42

Fuente: Elaboración propia.

De la curva de la resistencia a la compresión mostrada en el Imagen 16 y Cuadro 3.18 se determina que la mejor combinación de agregado fino/agregado grueso es = 44/56. El acierto de este resultado viene del Peso Unitario Compactado Máximo menos el 1,00% de la combinación de los agregados, considerando además que se tendrá gran cantidad de material cementante.

**Imagen 16:** Curva de la resistencia a la compresión a los 7 días de los diseños preliminares.



Fuente: Elaboración propia.

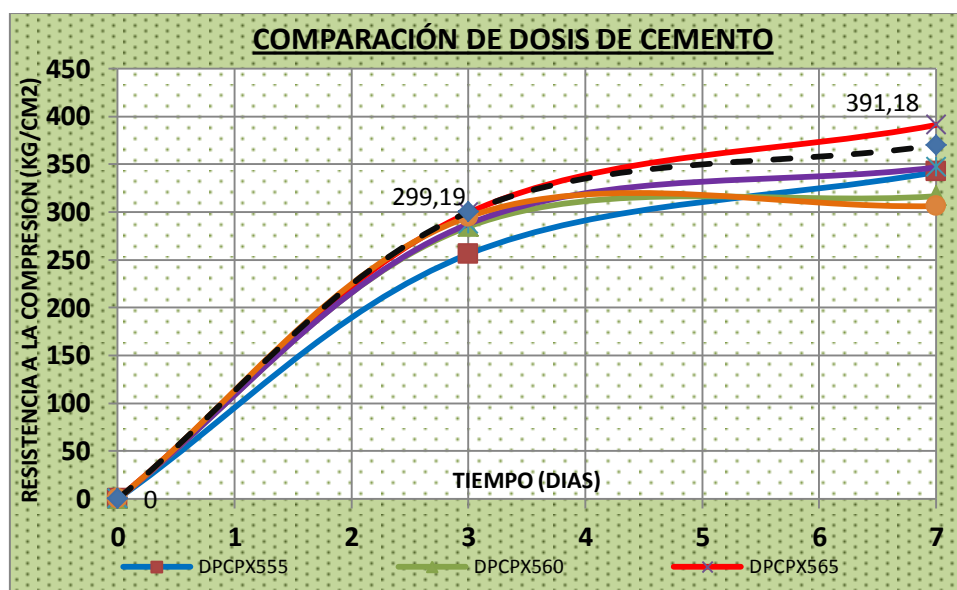
Para determinar la pasta de cemento ideal se procedió a preparar muestras con contenido de cemento iguales a 555, 560, 565, 570 y 600 kg/m<sup>3</sup> de mezcla de concreto, ensayándose a las edades de 3 y 7 días. El ensayo de rotura se realizó previo cabeceo con mortero de azufre conforme a lo establecido en la Norma ASTM C-617 y los resultados son los que se detallan en el Cuadro 3.19 y la Imagen 17.

**Cuadro 3. 19:** Valores de la resistencia a la compresión a los 3 y 7 días.

Muestras	Peso seco de agregados		cemento (Kg/m <sup>3</sup> )	a/mc	Resistencia Compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) a los 3 días	Resistencia Compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) a los 7 días
	Ag. Fino (kg)	Ag. Grueso (kg)				
DPCPX555	441,51	1 037,18	555,00	0,40	256,06	341,96
DPCPX560	589,20	883,80	560,00	0,40	284,81	316,67
DPCPX565	646,61	822,95	565,00	0,40	299,19	391,18
DPCPX570	660,92	807,79	570,00	0,40	287,57	346,78
DPCPX600	675,21	792,64	600,00	0,40	295,05	306,37

Fuente: Elaboración propia.

**Imagen 17:** Curva de la resistencia a la compresión a los 3 y 7 días para las diferentes dosis de contenido de cemento.



Fuente: Elaboración propia.

De las imágenes 16 y 17 se obtiene la dosificación óptima con 44% de contenido de agregado fino, 56% de agregado grueso y 565 kg de cemento por cada m<sup>3</sup>. Las resistencias más altas han sido alcanzadas con estas dosificaciones a los 7 días; por tanto se procede a realizar el diseño patrón y su respectivo muestreo para los ensayos respectivos en estado endurecido, previo control de calidad en estado fresco.

### 3.3.2.2 Diseño del Concreto con Aditivo Superplastificante-DCPA.

Para el diseño del concreto con aditivo (DCPA) se mantuvo la misma relación agregado fino/agregado grueso =44/56, con un contenido de cemento constante e igual a 565 kg/m<sup>3</sup>, una relación agua-cemento de 0,25 y una dosis de 11,30 kg/m<sup>3</sup> de Viscocrete 20HE (2,00% del peso de cemento).

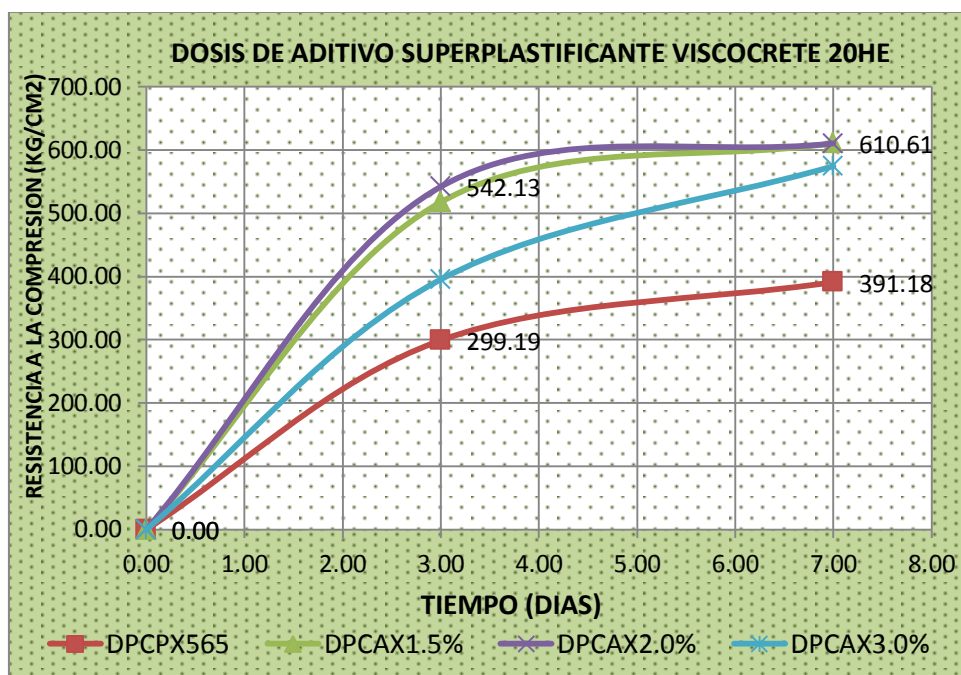
Para la selección adecuada de la dosis del aditivo superplastificante Sika Viscocrete 20HE se prepararon muestras en dosis de 1,5%, 2,0% y 3,0% del peso del cemento para la rotura a los 3 y 7 días. Los resultados de resistencia a la rotura se muestran a continuación en el Cuadro 3.20 y la Imagen 18.

**Cuadro 3. 20:** Valores de la resistencia a la compresión a los 3 y 7 días.

CÓDIGO	DÓSIS	CEMENTO (Kg/m <sup>3</sup> )	VISCOCRETE 20HE (kg/m <sup>3</sup> )	$f'_c$ =3 días (Kg/cm <sup>2</sup> )	$f'_c$ =7 días (Kg/cm <sup>2</sup> )
DPCPX565	0,00%	565,00	0,00	299,19	391,18
DPCAX1,5%	1,50%	565,00	8,48	517,71	611,04
DPCAX2,0%	2,00%	565,00	11,30	542,13	610,61
DPCAX3,0%	3,00%	565,00	16,95	359,52	574,64

Fuente: Elaboración propia.

**Imagen 18:** Curva de resistencia a la compresión del concreto más aditivo.



Fuente: Elaboración propia.

De la evaluación en sus dos estados se llega a determinar que la dosis óptima es del 2,0% del peso de cemento. Esta dosificación es trabajable, fácil de manipular y fragua dentro de las 8 horas aproximadamente.

### 3.3.2.3 Diseño del Concreto con Aditivo más Microsílice.

Para el diseño del concreto con aditivo más Microsílice (DCMS10) se mantuvo la relación agregado fino/ agregado grueso=44/56, contenido de cemento constante e igual a  $565 \text{ kg/m}^3$ , contenido de Microsílice igual a  $56,50 \text{ kg/m}^3$  (10% del peso del cemento), una relación agua-cemento de 0,25 y una dosis de  $11,30 \text{ kg/m}^3$  (2% del peso de cemento) de superplastificante por kilogramo de cemento.

Para el diseño del concreto con aditivo más Microsílice (DCMS12.5) se mantuvo la relación agregado fino/ agregado grueso=44/56, contenido de cemento constante e igual a  $565 \text{ kg/m}^3$ , contenido de Microsílice igual a  $70,63 \text{ kg/m}^3$  (12,5% del peso del cemento), una relación agua-cemento de 0,25 y una dosis de  $11,30 \text{ kg/m}^3$  (2% del peso de cemento) de superplastificante por kilogramo de cemento.

Para el diseño del concreto con aditivo más Microsílice (DCMS15) se mantuvo la relación agregado fino/ agregado grueso=44/56, contenido de cemento constante e igual a  $565 \text{ kg/m}^3$ , contenido de Microsílice igual a  $84,75 \text{ kg/m}^3$  (15% del peso del cemento), una relación agua-cemento de 0,25 y una dosis de  $11,3 \text{ kg/m}^3$  (2% del peso de cemento) de superplastificante por kilogramo de cemento.

#### **3.3.2.4 Diseño del Concreto con Aditivo más Nanosílice.**

Para el diseño del concreto con aditivo más Nanosílice (DCMS1.00) se mantuvo la relación agregado fino/ agregado grueso=44/56, contenido de cemento constante e igual a  $565 \text{ kg/m}^3$ , contenido de Nanosílice igual a  $5,65 \text{ kg/m}^3$  (1,0% del peso del cemento), una relación agua-cemento de 0,25 y una dosis de  $11,3 \text{ kg/m}^3$  (2% del peso de cemento) de superplastificante por kilogramo de cemento.

Para el diseño del concreto con aditivo más Nanosílice (DCMS1.25) se mantuvo la relación agregado fino/ agregado grueso=44/56, contenido de

cemento constante e igual a 565 kg/m<sup>3</sup>, contenido de Nanosílice igual a 7,06 kg/m<sup>3</sup> (1,25% del peso del cemento), una relación agua-cemento de 0,25 y una dosis de 11,3 kg/m<sup>3</sup> (2% del peso de cemento) de superplastificante por kilogramo de cemento.

Para el diseño del concreto con aditivo más Nanosílice (DCMS1.50) se mantuvo la relación agregado fino/ agregado grueso=44/56, contenido de cemento constante e igual a 565 kg/m<sup>3</sup>, contenido de Nanosílice igual a 8,48 kg/m<sup>3</sup> (1,50% del peso del cemento), una relación agua-cemento de 0,25 y una dosis de 11,3 kg/m<sup>3</sup> (2% del peso de cemento) de superplastificante por kilogramo de cemento.

### **3.3.2.5 Diseño del Concreto con Aditivo más Microsílice y Nanosílice.**

Para el diseño del concreto con aditivo más Microsílice/Nanosílice (DC5.0MS0.5MS) se mantuvo la relación agregado fino/ agregado grueso=44/56, contenido de cemento constante e igual a 565 kg/m<sup>3</sup>, contenido de Microsílice igual a 28,25 kg/m<sup>3</sup> (5% del peso del cemento), contenido de Nanosílice igual a 2,83 kg/m<sup>3</sup> (0,5% del peso del cemento), una relación agua-cemento de 0,25 y una dosis de 11,3 kg/m<sup>3</sup> (2% del peso de cemento) de superplastificante por kilogramo de cemento.

Para el diseño del concreto con aditivo más Microsílice/Nanosílice (DC7.5MS1.0NS) se mantuvo la relación agregado fino/ agregado grueso=44/56, contenido de cemento constante e igual a 565 kg/m<sup>3</sup>,

contenido de Microsílice igual a 42,38 kg/m<sup>3</sup> (7,5% del peso del cemento), contenido de Nanosílice igual a 5,65 kg/m<sup>3</sup> (1% del peso del cemento), una relación agua-cemento de 0,25 y una dosis de 11,3 kg/m<sup>3</sup> (2% del peso de cemento) de superplastificante por kilogramo de cemento.

Para el diseño del concreto con aditivo más Microsílice/Nanosílice (DC10MS1.5NS) se mantuvo la relación agregado fino/ agregado grueso=44/56, contenido de cemento constante e igual a 565 kg/m<sup>3</sup>, contenido de Microsílice igual a 56,5 kg/m<sup>3</sup> (10% del peso del cemento), contenido de Nanosílice igual a 8,48 kg/m<sup>3</sup> (1,5% del peso del cemento), una relación agua-cemento de 0,25 y una dosis de 11,3 kg/m<sup>3</sup> (2% del peso de cemento) de superplastificante por kilogramo de cemento.

**Cuadro 3. 21:** Resumen de los diseños de mezcla finales.

Mezcla	Relación a/c	Agregado Fino (Kg)	Agregado Grueso (Kg)	Agua (kg)	Súper – plastificante (kg)	Microsílice (kg)	Nanosílice (kg)
DCPO	0,40	650,40	823,69	232,61	---	---	---
DCPA	0,25	736,43	932,63	148,73	11,30	---	---
DCMS10	0,25	706,69	894,97	148,43	11,30	56,50	---
DCMS12.5	0,25	699,25	885,55	148,36	11,30	70,63	---
DCMS15	0,25	691,82	876,14	148,28	11,30	84,75	---
DCNS1.00	0,25	722,66	919,75	145,05	11,30	---	5,65
DCNS1.25	0,25	731,86	922,28	145,05	11,30	---	7,06
DCNS1.50	0,25	730,21	920,21	145,04	11,30	---	8,48
DC5.0MS0.5NS	0,25	721,84	909,66	144,99	11,30	28,25	2,83
DC7.5MS1.0NS	0,25	711,08	896,10	144,94	11,30	42,38	5,65
DC10MS1.5NS	0,25	700,33	882,54	144,88	11,30	56,50	8,48

Fuente: Elaboración propia.

### **3.3.3 PREPARACIÓN, MEZCLADO Y COLOCACIÓN DE MEZCLAS.**

Para la presente Tesis se consideraron los aspectos de preparación, mezclado y colocación de las mezclas en los moldes luego de la evaluación en estado fresco para los ensayos en estado endurecido.

#### **3.3.3.1 Preparación.**

Para la preparación de la mezcla se empleó una maquina mezcladora electromecánica de 1 200 revoluciones por minuto, de tres pies cúbicos de capacidad. La dosificación se hizo en peso, para ello se dio uso de una balanza electrónica de 30 kg de capacidad.

Todos los materiales fueron medidos en peso, cada uno en distintos recipientes o contenedores, de acuerdo a las dosificaciones indicadas en los anexos de diseños de mezcla. Lo más relevante de la preparación de mezcla es el control del contenido de humedad de los agregados por día de preparación y diseño.

#### **3.3.3.2 Mezclado.**

El método de mezclado usado en esta tesis de investigación es el convencional, en el orden seguido del agua, cemento, agregado fino y finalmente el agregado grueso. El aditivo superplastificante Viscocrete 20HE y la nanosílice, por estar en estado líquido se adicionan conjuntamente con el agua; sin embargo la microsílice es adicionada posterior al cemento y antes de los agregados.

#### **3.3.3.2.1 Tiempo de mezclado.**

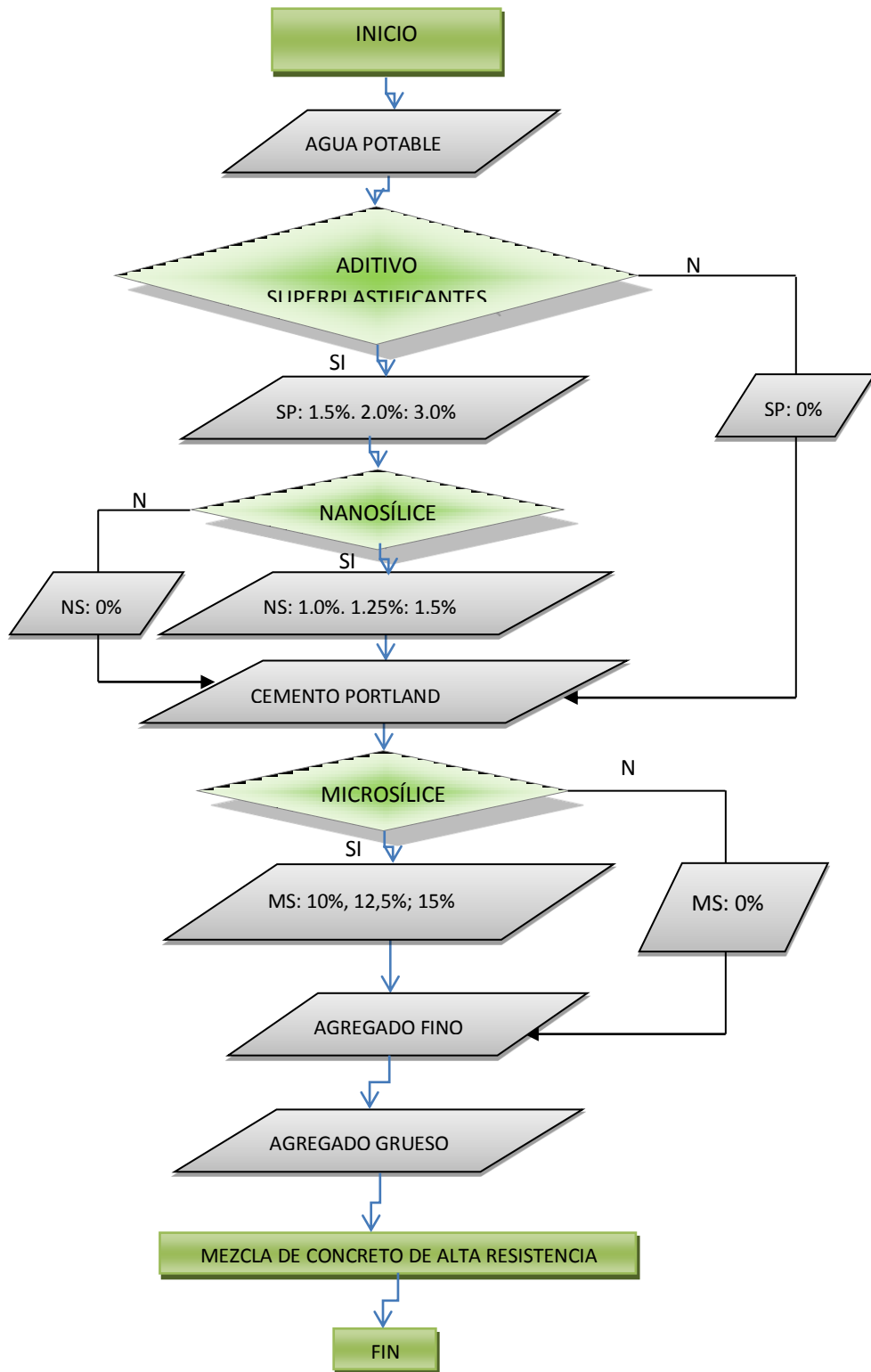
El tiempo de mezclado, que es el considerado luego de haber cargado todos materiales al tambor de la mezcladora, es variable para cada tipo de diseño y de acuerdo a la dosificación del aditivo y de las adiciones.

En cada diseño se tuvo especial cuidado de la trabajabilidad de la mezcla antes de su colocación en los moldes cilíndricos y prismáticos. El tiempo varía de 6 a 8 minutos, especialmente para diseños con mayor cantidad de microsílíce y en el diseño patrón es de tan solo 2 minutos, para este caso se interpreta que la relación a/c de 0,4 otorga esta trabajabilidad.

El tiempo que se empleó para el mezclado uniforme del agua, del aditivo superplastificante y nanosílíce de acuerdo al caso fue de 30 segundos como mínimo. El cemento luego de su cargado en el tambor demora aproximadamente de 1,5 a 2 min en formarse como una pasta uniforme, para luego seguir con la adición del Microsílíce el cual dura alrededor de 7,5 min de acuerdo a la dosis del mismo. Luego de 2 min de haber cargado la arena se concluye con la piedra.

#### **3.3.3.2.2 Procedimiento de mezclado.**

El procedimiento que se muestra a continuación es la usada para la dosificación de las mezclas de esta investigación, aplicando una maquina mezcladora electromecánica de 1 200 revoluciones por minuto:



### **3.3.3.3 Colocación.**

La toma de especímenes se realizan conforme a lo establecido en la norma NTP 339.183 para todos los casos, por tratarse de una investigación a nivel de laboratorio.

En el caso del concreto DCPO o diseño patrón la toma de muestras es la tradicional que involucra el uso de una varilla de 5/8" de diámetro y 0,60 m de longitud además de un martillo de Goma. El molde se llena de mezcla en tres capas iguales y en cada una los 25 golpes energéticos tradicionales sin penetrar a la anterior en más de 1" de profundidad, además de los 13 golpes con el martillo de goma para la eliminación del aire atrapado.

Para los concretos autocompactantes que aparentemente no se necesita la consolidación se hizo uso del martillo de goma para compactar esta; se tomaron muestras previas sin ningún tipo de consolidación y la resistencia y la textura del acabado de las muestras daban clara señal de baja resistencia al observar gran cantidad de aire atrapado en ella.

Antes de la colocación del concreto de todas las mezclas de los diferentes diseños fueron sometidas a evaluaciones del Slump, Consistencia, Capacidad de Paso, Peso Unitario, Contenido de Aire y Tiempo de fraguado. El ensayo del contenido de aire atrapado fue esencial para determinar la necesidad de usar el martillo de goma para su consolidación.

#### **3.3.3.4 Curado.**

El curado de las muestras se realizó con agua potable saturado con cal (3,00 gr/Litro), también se realizaron los cambios cada 15 días. El agua fue estancada en una poza de concreto y las muestras fueron depositadas en ella hasta horas antes del ensayo correspondiente.

El curado inicia a los 30 minutos luego del desencofrado y rotulado de los mismos; se evitó el transporte de los especímenes hasta el día de su ensayo correspondiente. El curado en muestras que han sido sometidas a las 24 horas no duró más allá de 8 horas por razones del refrendado con azufre. En muestras mayores a los 3 días se realizó el curado sin mayor dificultad.

#### **3.3.3.5 Refrendado con mortero azufre.**

Con el objeto de obtener resultados de mayor precisión posible se trató las caras de las bases de los especímenes con el cabeceo de azufre, de tal forma que las mismas resulten planas y paralelas entre si y al mismo tiempo normales al eje longitudinal de la probeta.

El cabeceo de los especímenes se realizó con mortero de azufre puro fundido a 140 °C como indican las normas NTP 339.037 y la ASTM C167

para tal fin se dio uso de platos metálicos, aceite mineral, el dispositivo de alineamiento vertical y el recipiente de fundición sometido a calor externo.

En concretos de resistencia superiores a los  $350 \text{ kg/cm}^2$  el refrendado se realiza 16 horas antes del ensayo como mínimo, con un máximo de 5 mm de espesor para concretos de resistencias superiores a  $500 \text{ kg/cm}^2$ .

#### **3.3.4 RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO PARA OBTENER CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA.**

El método base de diseño de mezclas usado para la obtención de concretos de alta resistencia en la ciudad de Tacna es el Código ACI 211.4 con la variante en la dosificación de los agregados fino y grueso mediante el método del Peso Unitario Compactado Máximo.

**Datos necesarios para poder diseñar el CAR, son los siguientes:**

1. Características físicas de los agregados.
2. Propiedades físicas del Cemento Portland.
3. Propiedades físicas del agua.
4. Peso específico de los aditivos y la dosis recomendada por el proveedor.

**Desarrollo de la mezcla de concreto de Alta Resistencia.**

- 1º. Conociendo los datos necesarios de los componentes del concreto de alta resistencia y los parámetros del código ACI 211.4, se inicia

con el diseño del concreto patrón o DCPO que posee los componentes convencionales como el Cemento portland Tipo IP, Agregado Fino, Agregado Grueso, Agua y Aire (2%).

- 2º. De la Tabla 2.11 seleccionamos el slump sin superplastificante de 2"-4", luego determinamos la resistencia requerida en función del tamaño máximo del agregado grueso (Para nuestro caso <math>300 \text{ kg/cm}^2</math>) para agregados de 3/4" -1"; para tal fin debe emplearse la desviación estándar definida por el ACI.

$f'_C$ especificado	$f'_{CR}$ requerido
> $350 \text{ kg/cm}^2$	$f'_C + 98$

- 3º. Para la determinación del contenido óptimo del agregado grueso realizamos el ensayo del PESO UNITARIO COMPACTADO MÁXIMO, para lo cual es necesario combinar los agregados en diferentes porcentajes en peso de los agregados fino y grueso aplicando el procedimiento de la Norma 400.017. Las combinaciones recomendadas son de 20-80, 30-40, 40-60, 50-50, 60-40, 70-30, 80-20; además se deben preparar muestras de las 5 mejores combinaciones incluida la más óptima determinada mediante el ensayo mencionado más dos adicionales que estarán en  $\pm 1,00\%$  respecto al punto más alto de la curva, para luego ensayar las

muestras en las edades de 3 y 7 días. El agregado grueso ideal debe calcularse con la expresión.

$$W_{\text{seco}} = (\%Vol) * (\text{Peso seco compactado})$$

- 4°. La primera estimación del agua requerida se halla de la Tabla 2.14, dentro de la misma tabla se determina el contenido de aire en función del Tamaño máximo nominal del agregado grueso y la condición de la mezcla sin superplastificante, en función del slump para el primer caso. Para esto primero debe calcularse el porcentaje de vacíos del agregado fino con la expresión que sigue:

$$V = \left( 1 - \frac{\text{PUC}}{\text{Peso específico}} \right) * 100$$

El volumen de agua de mezclado deberá corregirse con la expresión de ajuste por cada punto porcentual de vacío del agregado fino, luego el agua de mezclado vendrá a ser el agua estimada inicial más el ajuste.

$$A = 4,72(V - 35)$$

- 5°. La relación agua/materiales cementicios puede obtenerse de la Tabla 2.15 y 2.16 por interpolación en función del tamaño máximo de los agregados, la resistencia mecánica a compresión, edad del ensayo y la condición del uso de aditivos superplastificantes. Esto irá variando conforme a la determinación de la trabajabilidad de la mezcla; por lo general y de acuerdo a recomendaciones de investigaciones a nivel

mundial esta debería ser como máximo de 0,40 para concretos sin aditivo superplastificante y 0,25 antes de añadir el aditivo.

- 6°. Definido la relación agua/material cementicio se procede a realizar el cálculo de la cantidad de cemento, dado que se conoce la cantidad de agua de mezclado requerido. Para la determinación ideal del contenido de cemento se preparan mezclas de prueba con diferentes cantidades de cemento por metro cúbico de concreto y realizar los ensayos a las edades de 3 y 7 días.

$$cemento = \frac{\text{agua requerido}}{a / mc}$$

- 7°. Luego de haber determinado el contenido de cemento, agua y aire calculamos el contenido de los áridos en su totalidad, y con esto proporcionamos la mezcla de prueba base a peso seco por metro cúbico.

$$cemento = \text{peso seco cemento} / (\text{peso específico})$$

$$agua = \text{peso} / (\text{peso específico})$$

$$aire = \% \text{ seleccionado}$$

---

$$\text{Contenido de áridos} = 1,00m^3 - \text{suma (cemento + agua + aire)} m^3$$

Seguidamente determinamos el peso total de los agregados, dando uso del porcentaje y peso específico de los agregados calculados en el paso 3. Los pesos calculados por metro cúbico no incluyen las

incidencias por absorción de agregados y contenido de humedad natural, por ello se realiza la corrección por estos factores:

$$\text{peso húmedo} = (1 + \text{humedad}) * \text{peso seco}$$

Finalmente se corrige el contenido de agua requerido de la mezcla por metro cúbico.

$$\text{agua} = \text{agua} + \text{peso seco áridos} * (\text{humedad} + \text{absorción}) / 100$$

- 8°. Para cada diseño de mezcla base se deben elaborar muestras para ensayarlos en sus características de trabajabilidad deseada y de resistencia mecánica; para ello deberán seguirse los procedimientos del paso 1 al 7.
- 9°. Determinado la mezcla base o diseño patrón, se debe proceder a determinar la dosis del aditivo superplastificante para la producción de concretos autocompactantes y de alta resistencia. Las dosificaciones preliminares se deben realizar en el margen o rango recomendado por el proveedor del material en diferentes porcentajes por peso de cemento y de acuerdo a esto se seleccionará la dosis óptima que ofrezca trabajabilidad sin tendencia a segregarse y la mejor resistencia mecánica a compresión.
- 10°. Determinado el diseño final del concreto patrón más aditivo, se puede añadir la microsílíce y la nanosílíce sobre este en diferentes

porcentajes por peso de cemento en el rango permitido por las especificaciones de la marca proveedora. Para tal efecto es necesario realizar los ensayos de verificación de la trabajabilidad y la resistencia mecánica, los cuales son recomendables en el caso de concretos de alta resistencia a los 90 días de edad.

11°. Para verificar los diseños debe realizarse el ensayo del contenido de aire atrapado por el método de la olla a presión de Washington u otro similar permitido por la norma NTP 339.082, en caso de no cumplir con lo permitido por el ACI 211.4 repetir los procedimientos del 1 al 10.

12°. Es necesario realizar el ensayo del tiempo de fragua, siendo este muy necesario para determinar el tiempo de fragua inicial y final y por consiguiente el tiempo del desencofrado; por el hecho de contener aditivos el tiempo de fraguado variará respecto al concreto tradicional y en nuestro caso el diseño patrón o DCPO.

13°. Finalmente se debe proceder a elaborar las muestras finales y con ello realizar los ensayos en sus dos estados y ensayarlos a las edades de 24 horas, 3, 7, 28 y 90 días de edad. Luego de todo este procedimiento podemos seleccionar el diseño más óptimo, no solo en resistencia sino que también en base a la propiedad que podamos necesitar.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 ENSAYOS DEL CONCRETO.

##### 4.1.1 ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.

##### 4.1.1.1 Consistencia.

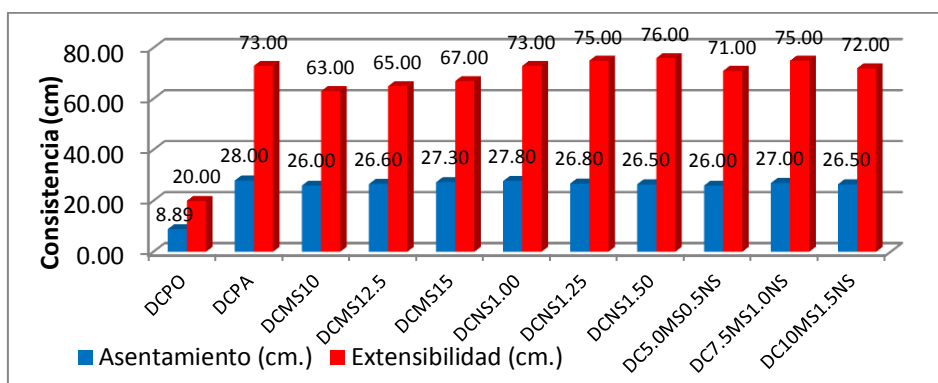
Se determinó el asentamiento de las mezclas de concreto según la NTP 339.035, así como también la extensibilidad de las mezclas según la NTP 339.219. Los valores de consistencia de las mezclas de concreto se muestran en el Cuadro 4.1 e Imagen 19.

**Cuadro 4. 1:** Valores de consistencia para cada tipo de diseño.

MEZCLA	Asentamiento (cm)	Asentamiento (pulg.)	Extensibilidad (cm)
DCPO	8,89	3 ½	20,00
DCPA	28,00	11	73,00
DCMS10	26,00	10 ¼	63,00
DCMS12.5	26,60	10 ½	65,00
DCMS15	27,30	10 ¾	67,00
DCNS1.00	27,80	11	73,00
DCNS1.25	26,80	10 ½	75,00
DCNS1.50	26,50	10 ½	76,00
DC5.0MS0.5NS	26,00	10 ¼	71,00
DC7.5MS1.0NS	27,00	11	75,00
DC10MS1.5NS	26,50	10 ½	72,00

Fuente: Elaboración propia.

**Imagen 19:** Asentamiento y extensibilidad de las mezclas de concreto.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.1.2 Peso Unitario.

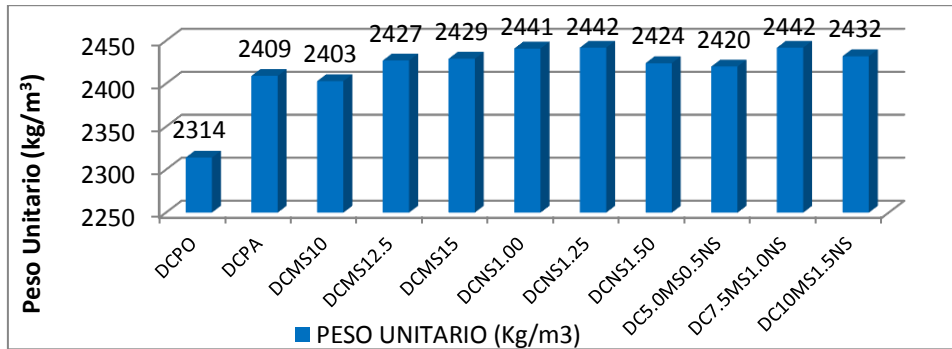
Se determinó el peso unitario de las mezclas de concreto según la NTP 339.046. Los valores del peso unitario varían entre 2 314 y 2 442 kg/m<sup>3</sup>, clasificándose como concretos de peso normal (1 700-2 500 kg/m<sup>3</sup>). Los Resultados del ensayo del peso unitario para los diferentes tipos de mezcla se encuentran en el cuadro 4.2 e Imagen 20.

**Cuadro 4. 2:** Valores del peso unitario del concreto fresco.

MEZCLA	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )
DCPO	2 314
DCPA	2 409
DCMS10	2 403
DCMS12.5	2 427
DCMS15	2 429
DCNS1.00	2 441
DCNS1.25	2 442
DCNS1.50	2 424
DC5.0MS0.5NS	2 420
DC7.5MS1.0NS	2 442
DC10MS1.5NS	2 432

Fuente: Elaboración propia.

**Imagen 20:** Peso unitario para cada tipo de mezcla de concreto.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.1.3 Capacidad de Paso.

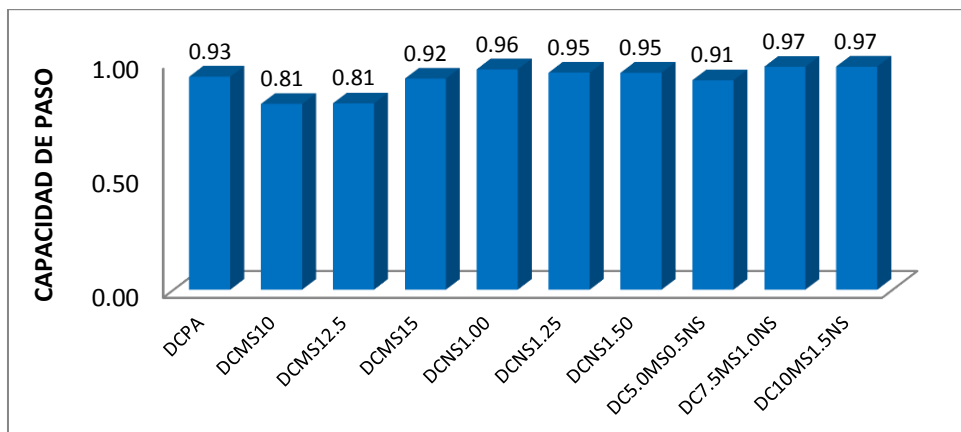
La capacidad de paso describe la capacidad de la mezcla fresca de fluir a través de espacios confinados y aperturas estrechas así como zonas densamente armadas, sin segregación, pérdida de uniformidad o bloqueo. En la definición de la capacidad de paso, es necesario considerar la geometría y la densidad de las armaduras, el flujo-capacidad de relleno y el tamaño máximo de los agregados. El ensayo para determinar la capacidad de paso se realiza en la caja en L y los resultados se muestran en el Cuadro 4.3 e Imagen 21.

**Cuadro 4. 3:** Valores de la capacidad de paso para cada diseño.

MEZCLA	h1 (mm)	h2 (mm)	Capacidad de paso h2/h1
DCPA	71	66	0,93
DCMS10	74	60	0,81
DCMS12.5	75	61	0,81
DCMS15	76	70	0,92
DCNS1.00	79	76	0,96
DCNS1.25	76	72	0,95
DCNS1.50	75	71	0,95
DC5.0MS0.5NS	70	64	0,91
DC7.5MS1.0NS	75	73	0,97
DC10MS1.5NS	77	75	0,97

Fuente: Elaboración propia.

**Imagen 21:** Capacidad de paso para cada tipo de mezcla de concreto.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.1.4 Contenido de aire.

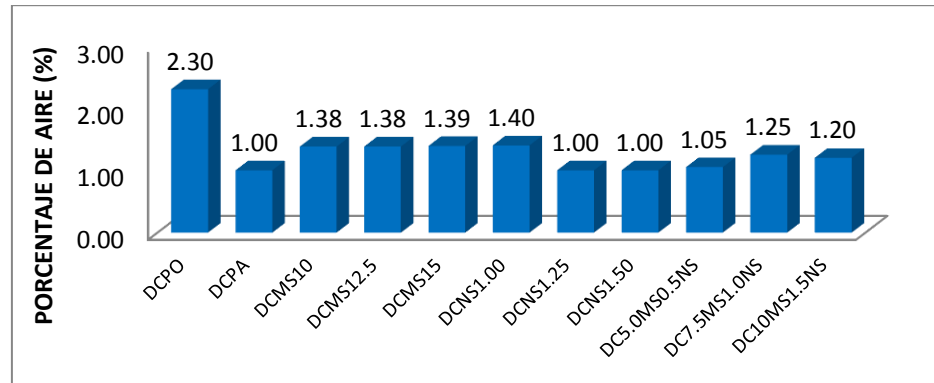
Se determinó el contenido de aire de las mezclas de concreto según la NTP 339.083. Este ensayo determina el contenido de aire en mezclas de concreto fresco excluyendo el aire contenido dentro de los poros del agregado. Los valores del contenido de aire para los diferentes tipos de mezcla se muestran en el Cuadro 4.4 e Imagen 22.

**Cuadro 4. 4:** Valores de la capacidad de paso para cada diseño.

MEZCLA	% DE AIRE
DCPO	2,30
DCPA	1,00
DCMS10	1,38
DCMS12.5	1,38
DCMS15	1,39
DCNS1.00	1,40
DCNS1.25	1,00
DCNS1.50	1,00
DC5.0MS0.5NS	1,05
DC7.5MS1.0NS	1,25
DC10MS1.5NS	1,20

Fuente: Elaboración propia.

**Imagen 22:** Capacidad de paso para cada tipo de mezcla de concreto.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.1.5 Tiempo de fraguado.

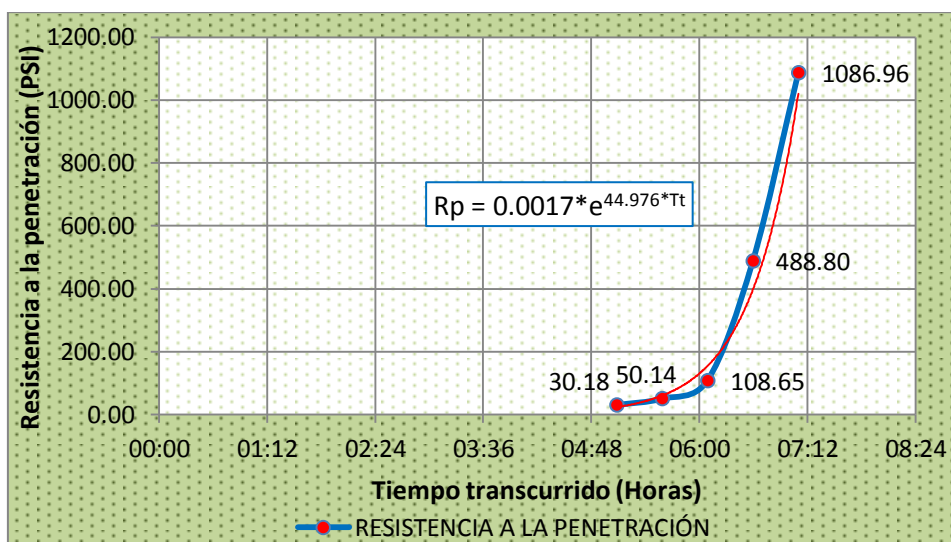
Las reacciones entre el cemento y el agua son la causa principal del fraguado del concreto. La fragua inicial y final del concreto indican la velocidad de solidificación de la mezcla fresca en el sistema agua-cemento. El tiempo de fragua inicial y final del concreto está definido arbitrariamente mediante un método de ensayo denominado método de resistencia a la penetración. Los valores de la resistencia a la penetración del concreto han sido determinados según la norma NTP 339.082 y se muestra en el Cuadro 4.5 e Imagen 23.

**Cuadro 4. 5:** Resistencia a la penetración del concreto DCMS10.

Hora de ensayo	Tiempo transcurrido (horas)	T (°C)	Diámetro de la aguja (pulg.)			Área (pulg <sup>2</sup> )	Fuerza (Lib.)	Resistencia a la penetración (PSI)
			Fracción	Decim	N°			
17:00	05:05	20	1 1/8	1,125	1	0,9940	30	30,18
17:30	05:35	20	13/16	0,8125	2	0,5185	26	50,14
18:00	06:05	20	9/16	0,5625	3	0,2485	27	108,65
18:30	06:35	19	1/4	0,25	5	0,0491	24	488,80
19:00	07:05	19	3/16	0,1875	6	0,0276	30	1086,96

Fuente: Elaboración propia.

**Imagen 23:** Curva Resistencia a la Penetración vs. Tiempo transcurrido.



Fuente: Elaboración propia.

Para determinar los tiempos de fraguado de la mezcla evaluada DCMS10 ha sido necesario desarrollar la curva de la Imagen 23 con los datos del cuadro 4.5 y obtener la ecuación de su línea de tendencia; además el criterio del ensayo indica que el tiempo de fragua inicial y final se determina cuando la resistencia a la penetración equivale a 3.5 Mpa (500 psi) y 27.6 Mpa (4000 psi) respectivamente. Los tiempos determinados para la curva son: fragua inicial de 06:43 y fragua final de 07:49.

#### 4.1.2 ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.

##### 4.1.2.1 Resistencia a la compresión.

La resistencia a la compresión del concreto es la medida más común de desempeño que se emplea para diseñar edificios y otras estructuras. La

resistencia a la compresión se mide fracturando muestras cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión. En la mayoría de los casos los requerimientos de resistencia a la compresión se alcanzan a los 28 días y en el caso de concretos de alta resistencia a la edad de 90 días o posterior. La resistencia a la compresión del concreto se calcula dividiendo la máxima carga soportada por la probeta para producir su fractura entre el área promedio de su sección transversal.

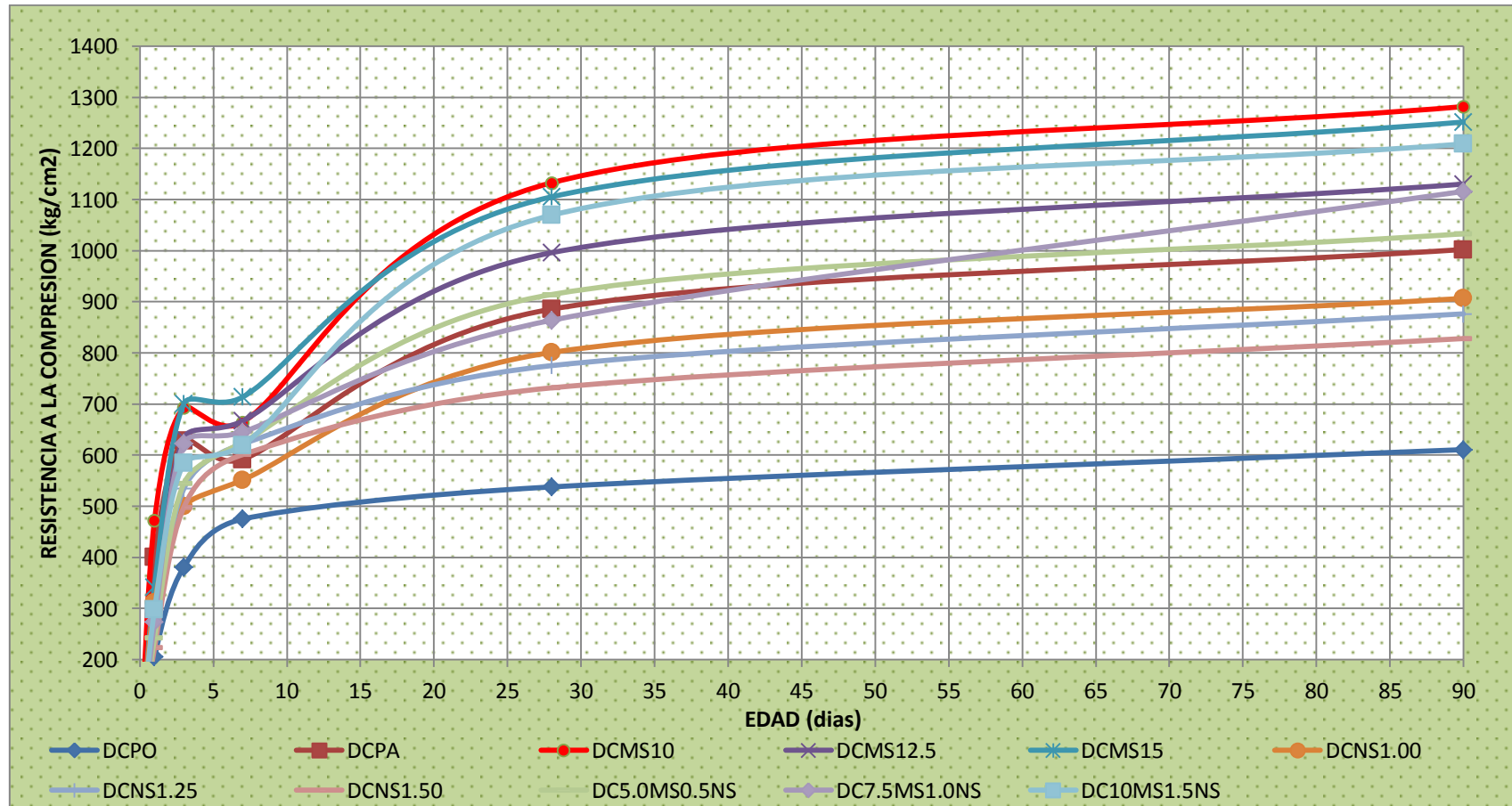
Los ensayos a compresión se realizaron en especímenes cilíndricos de 4x8 pulgadas (100x200 mm) curados bajo agua y se ensayaron a las edades de 1, 3, 7, 28 y 90 días. Los resultados de los ensayos a compresión se muestran en el cuadro 4.6 e Imagen 24.

**Cuadro 4. 6:** Valores de resistencia a la compresión según edad de las muestras extraídas de los diferentes diseños de mezclas del concreto de alta resistencia.

MEZCLA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )				
	1día	3días	7días	28días	90días
DCPO	205	381	475	500	611
DCPA	401	629	592	886	1 002
DCMS10	472	693	665	1 133	1 282
DCMS12.5	290	634	667	996	1 130
DCMS15	342	701	714	1 105	1 252
DCNS1.00	311	500	552	801	907
DCNS1.25	246	535	622	775	876
DCNS1.50	223	498	601	732	828
DC5.0MS0.5NS	242	545	625	914	1 033
DC7.5MS1.0NS	274	623	645	864	1 116
DC10MS1.5NS	298	584	620	1 069	1 209

Fuente: Elaboración propia.

Imagen 24: Resistencia a la compresión para los diferentes diseños de mezcla.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2.2 Resistencia a la tracción por compresión diametral.

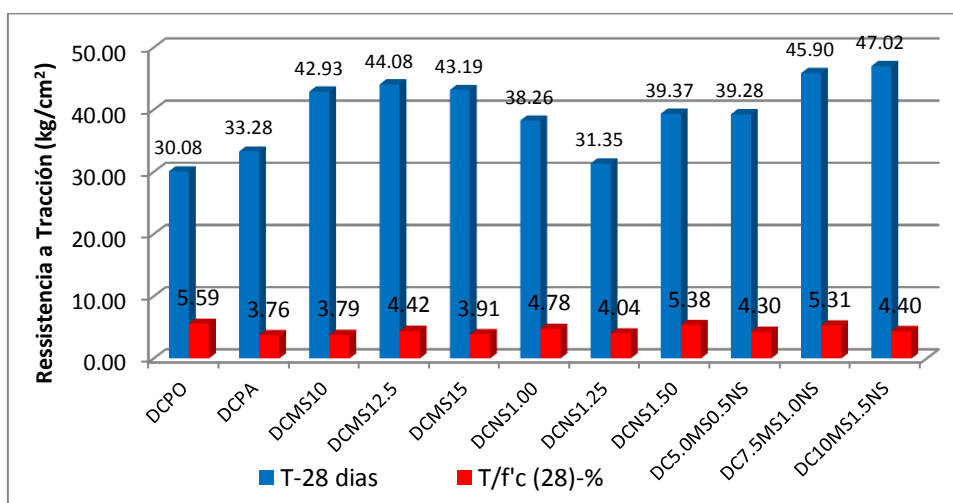
La resistencia a la tracción se midió indirectamente a través de la compresión diametral de especímenes cilíndricos de 6"x12" (150x300 mm) y fueron ensayados a los 28 días de edad. Los valores de tracción en kg/cm<sup>2</sup> se muestran en el Cuadro 4.7 e Imagen 25.

**Cuadro 4. 7:** Valores de tracción por compresión diametral del CAR.

MEZCLA	T-28 días	T/f'c (28)-%	COMITÉ ACI 363
			$0.392 * f'c^{2/3}$
DCPO	30,08	5,59	25,93
DCPA	33,28	3,76	36,15
DCMS10	42,93	3,79	42,60
DCMS12.5	44,08	4,42	39,10
DCMS15	43,19	3,91	41,91
DCNS1.00	38,26	4,78	33,81
DCNS1.25	31,35	4,04	33,08
DCNS1.50	39,37	5,38	31,83
DC5.0MS0.5NS	39,28	4,30	36,93
DC7.5MS1.0NS	45,90	5,31	35,56
DC10MS1.5NS	47,02	4,40	41,00

Fuente: Elaboración propia.

**Imagen 25:** Resistencia a la tracción por compresión diametral del CAR.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2.3 Resistencia a la flexión.

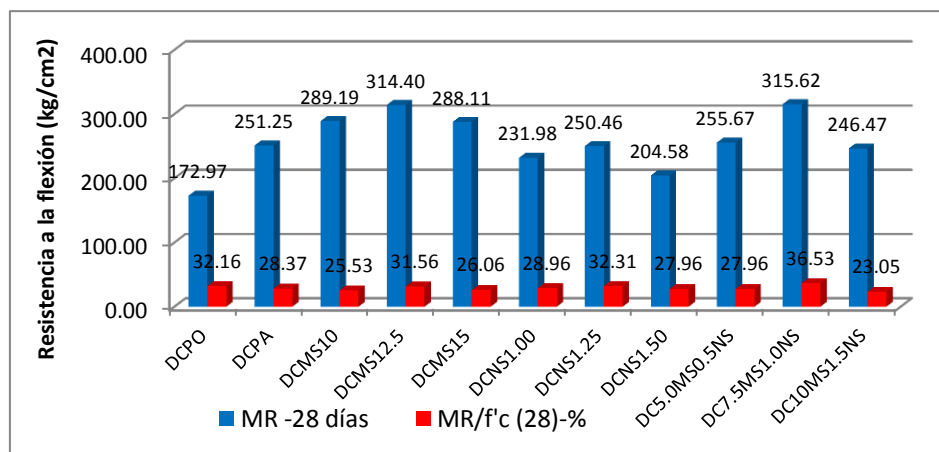
Las características a la flexión se midió a través del módulo de rotura de especímenes prismáticos de sección cuadrada de 10cm de lado y 50cm de largo, la aplicación de la carga se realizó a los tercios de la luz, se ensayaron a los 28 días edad. Los resultados se muestran en el Cuadro 4.8 e Imagen 26.

**Cuadro 4. 8:** Valores de módulo de rotura del CAR a los 28 días.

MEZCLA	MR -28 días	MR/f'c (28)-%	COMITÉ ACI 363	
			$1.99\sqrt{f'c}$	$2.65\sqrt{f'c}$
DCPO	172,97	32,16	46,15	61,46
DCPA	251,25	28,37	59,22	78,87
DCMS10	289,19	25,53	66,98	89,20
DCMS12.5	314,40	31,56	62,81	83,64
DCMS15	288,11	26,06	66,16	88,10
DCNS1.00	231,98	28,96	56,32	75,00
DCNS1.25	250,46	32,31	55,41	73,78
DCNS1.50	204,58	27,96	53,83	71,68
DC5.0MS0.5NS	255,67	27,96	60,17	80,13
DC7.5MS1.0NS	315,62	36,53	58,49	77,89
DC10MS1.5NS	246,47	23,05	65,08	86,66

Fuente: Elaboración propia.

**Imagen 26:** Módulos de rotura del CAR a la edad de 28 días.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2.4 Módulo de elasticidad.

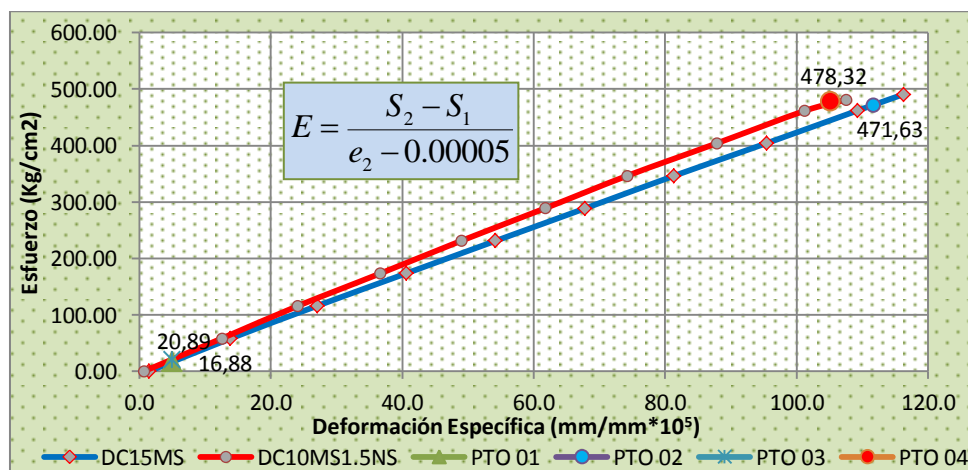
El módulo de elasticidad fue determinado a los 90 días de edad, el ensayo fue realizado según la Norma ASTM C-469 en especímenes cilíndricos de 6"x12" (150x300 mm). Las mezclas ensayadas fueron la DC15MS y DC10MS1.5NS. Los resultados de los ensayos de módulo de elasticidad se muestran en el cuadro 4.9 e Imagen 27.

**Cuadro 4. 9:** Registro de deformaciones, esfuerzos y deformación específica de los diseños DC15MS y DC10MS1.5NS.

DC15MS				DC10MS1.5NS			
mm	kN	Kg/cm <sup>2</sup>	Deformación (mm/mm)	mm	kN	Kg/cm <sup>2</sup>	Deformación (mm/mm)
0,00451	0	0	1,5*10 <sup>-5</sup>	0,00215	0	0	0,72*10 <sup>-5</sup>
0,04144	100	58	13,8*10 <sup>-5</sup>	0,03765	101	58	12,55*10 <sup>-5</sup>
0,08116	201	116	27,1*10 <sup>-5</sup>	0,07225	200	116	24,08*10 <sup>-5</sup>
0,12191	301	174	40,6*10 <sup>-5</sup>	0,10986	300	173	36,62*10 <sup>-5</sup>
0,16258	401	231	54,2*10 <sup>-5</sup>	0,14686	401	231	48,95*10 <sup>-5</sup>
0,20335	500	288	67,8*10 <sup>-5</sup>	0,18530	501	289	61,77*10 <sup>-5</sup>
0,24404	600	346	81,3*10 <sup>-5</sup>	0,22259	600	346	74,20*10 <sup>-5</sup>
0,28641	701	404	95,5*10 <sup>-5</sup>	0,26345	700	404	87,82*10 <sup>-5</sup>
0,32767	800	462	109,2*10 <sup>-5</sup>	0,30367	800	461	10,22*10 <sup>-5</sup>
0,34886	851	491	116,3*10 <sup>-5</sup>	0,32249	834	481	107,50*10 <sup>-5</sup>

Fuente: Elaboración propia.

**Imagen 27:** Curva Esfuerzo – Deformación.



Fuente: Elaboración propia.

El módulo de elasticidad ha sido determinado a través del ensayo esfuerzo - deformación; los resultados se muestran en el cuadro 4.9 y son representados en la curvas de la imagen 27. Para el cálculo del módulo de elasticidad se considera como la deformación longitudinal inicial de 50 millonésimas y la última deformación se presenta al 40% de la carga última a compresión.

Para aplicar la expresión, primero se determinó por interpolación la carga que hace posible la deformación inicial del 0.00005 para las muestras DC15MS y DC10MS1.5NS siendo 16.88 y 20.89 Kn respectivamente; luego para el 40% de la carga última a compresión, las deformaciones determinadas son 0,001116 y 0,001052 y los módulos de elasticidad determinados son 426461,43 y 456455,33 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

## **4.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.**

### **4.2.1 GENERALIDADES.**

En general los resultados obtenidos son alentadores, ya que en nuestra localidad puede producirse concretos autocompactantes y de alta resistencia. Pese al hecho de usar el agregado de tamaño máximo nominal de ¾" que limita la obtención de mayores resultados, la adición del superplastificantes Viscocrete 20HE, y las sílices (Microsílice y Nanosílice) han incrementado la resistencia del concreto.

#### **4.2.2 AGREGADOS.**

El agregado fino, tratado de la cantera Arunta cumple con los parámetros mínimos de la Norma NTP 400.037 (Tabla 2.3), su módulo de finura 2,74 se halla dentro del requerimiento del código ACI 363R el cual recomienda que esté alrededor de 3 y no menor de 2,50. Su porcentaje de finos que pasan la malla N° 200 es de 1% menor al requerido del 3% ilustrado en la Tabla 2.7 e indicado en la Norma ASTM C142-55T.

El agregado grueso cumple con los parámetros del HUSO 6 de la Norma NTP 400.037 indicando una gradación uniforme (Imagen 14). El tamaño máximo nominal es de  $\frac{3}{4}$ " apto para la producción de concretos de alta resistencia pese a ser una limitante para producir mayores resistencias. Su porcentaje de absorción es de 0,78% lo cual indica que no es un material poroso, además tiene un porcentaje de desgaste a la abrasión de 15,28% inferior a los 30% limitante para uso en pisos de alto tránsito. Ambos agregados garantizan la obtención de concretos de alta resistencia.

#### **4.2.3 ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.**

##### **4.2.3.1 Consistencia.**

El concreto patrón o DCPO diseñado únicamente con componentes comunes y relación agua-cemento de 0,40 posee un asentamiento de

3,5" ideal para la aplicación en obra. Los concretos añadidos con aditivo superplastificante tienen asentamientos que van de 10" a 11" y extensibilidades que se hallan en el rango de 63 a 75 cm de comportamiento fluido (concretos autocompactantes) como se muestra en el Cuadro 4.1. En el caso de concretos adicionados con microsílíce y nanosílíce el incremento de la consistencia es mínimo y varían desde los 63 a 67cm en el primer caso y de 73 a 76 cm en el segundo caso. La incorporación de la nanosílíce incrementa la cohesión de la mezcla, aumentando así su resistencia a la segregación.

#### **4.2.3.2 Peso Unitario.**

Todos los resultados obtenidos están dentro del rango de concretos de peso normal (1 700 – 2 500 kg/m<sup>3</sup>). En todos los casos de adición de microsílíce y nanosílíce e inclusive el DCPA tienen pesos unitarios superiores a los 2 314 kg/m<sup>3</sup> del concreto patrón. Los concretos preparados con microsílíce varían desde los 2 403 -2 429 kg/m<sup>3</sup> y los preparados con nanosílíce en el rango de 2 424 – 2 442 kg/m<sup>3</sup> en ambos casos la variación es mínima como se muestran en el Cuadro 4.2 e Imagen 20. De esto observamos que los concretos con nanosílíce son más pesados que los preparados con microsílíce y aditivo superplastificante, dando concretos prácticamente impermeables al tener contenido de aire de 1.00% pese a ofrecer resistencias menores a los 1000 kg/cm<sup>2</sup>.

#### **4.2.3.3 Capacidad de Paso.**

Este ensayo se realizó a los concretos preparados con el aditivo superplastificante Sika Viscocrete 20HE mas no al concreto patrón DCPO. Siendo estos concretos autocompactantes se obtuvieron resultados que varían de 0,81 a 0,97; para concretos con microsílíce las capacidades de paso son menores a los preparados con la nanosílíce varían de 0,81- 0,92 y de 0,95 – 0,96 respectivamente. El mejor resultado se obtuvo en el concreto preparado con la microsílíce y nanosílíce. La limitante para obtener mejores resultados fue el tamaño máximo de los agregados (3/4 pulgadas) lo cual obstruye el paso a través de las casillas limitadas por barras de acero corrugado de 1/2". Los resultados se aprecian en el Cuadro 4.3 y la Imagen 21.

#### **4.2.3.4 Contenido de Aire.**

Este ensayo ha sido realizado con la olla de presión de Washington obteniendo resultados de 1,00 a 1,40 en el caso de concretos autocompactados y 2,30 en el concreto patrón. El código ACI 211.4 usado para el diseño de los concretos de esta investigación concuerda con los resultados obtenidos al tener el tamaño máximo nominal de 3/4" y uso de superplastificante para el cual establece el 1,5% de aire atrapado; excepto en el caso del concreto patrón que supera el 2,0% de la establecida en el código para el caso de concretos sin adición se

superplastificantes. Pese al hecho de haber obtenido este resultado para el concreto patrón se cumple con el objetivo de obtener los 500 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a compresión a los 28 días. Los resultados se muestran en el Cuadro 4.4 y la imagen 22.

#### **4.2.3.5 Tiempo de fraguado.**

El método usado es el Vicat y se realizó para el mejor diseño DC10MS (10% de microsílíce), los resultados obtenidos son: tiempo de fragua inicial de 06:43 horas y tiempo de fragua final de 07:49 horas; contrario al resultado que se esperaba el cual debía estar entre las 4 y 5 horas para el fraguado. Es aquí donde se comprende que el orden y cantidad del ingreso de materiales al tambor de la mezcladora es esencial, por el hecho que el agua del diseño contempla la absorción de los agregados, sobre todo del agregado grueso que tarda en ingresar hacia el núcleo, hecho que no ha sido posible pues al pasar el concreto por la malla N° 4 se elimina el agregado grueso de la mezcla por tanto esto genera un exceso de contenido de agua lo cual prolongó el tiempo de fragua inicial y final además de la segregación de la mezcla.

#### **4.2.4 ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.**

##### **4.2.4.1 Resistencia a la compresión.**

El concreto patrón cumple con lo esperado a los 28 días de edad con resultados superiores a los 500 kg/cm<sup>2</sup>, en el caso del concreto con

aditivo superplastificante se obtuvo 1 002 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a los 90 días de edad el cual inclusive supera a los diseñados con nanosílice los cuales están en el rango de 828 a 907 kg/cm<sup>2</sup> y que además su resistencia disminuye conforme se incrementa la dosis de la nanosílice. La máxima resistencia obtenida es de 1282 kg/cm<sup>2</sup> con la adición del 10% de microsílice por peso de cemento, este concreto gana resistencia rápidamente tanto que a las 24 horas posee los 472, a los tres días los 693 y 1 133 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de edad.

#### **4.2.4.2 Resistencia a la tracción por compresión diametral.**

El resultado obtenido más alto es de 47,02 kg/cm<sup>2</sup> de la mezcla preparada con microsílice y nanosílice (10 y 1.5% respectivamente). Su comportamiento en concretos autocompactantes varía desde 3,76% hasta los 5,38% respecto a su resistencia a compresión a los 28 días de edad y en el caso del DCPO es de 5,59%. El incremento de la resistencia a tracción de concretos con microsílice está en el margen de 43 a 47% y en concretos con nanosílice en el rango de 27 a 31% respecto al concreto patrón. Estos resultados se ilustran en la imagen 25.

#### **4.2.4.3 Resistencia a la flexión.**

Las mezclas DCPA y DCNS1.25 tienen un incremento de 45% y los adicionados con microsílice (10 y 15%) tienen 67% de incremento de

resistencia respecto al diseño base. El mejor resultado obtenido es 315,62kg/cm<sup>2</sup> con la adición de microsílíce y nanosílíce en proporciones de 7,5 y 1,0 respectivamente. Las resistencias a flexión obtenidas en esta investigación varían desde los 23% hasta los 37% respecto a su resistencia a compresión.

#### **4.2.4.4 Módulo de elasticidad.**

Los especímenes ensayados resultaron con valores de 456 455 Kg/cm<sup>2</sup> para DC15MS y 426 461 Kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla DC10MS1.5NS, lógicamente no cumple con los Códigos ACI 318 y 363 establecido para concretos de peso normal y limitados hasta una resistencia no mayor de 830 kg/cm<sup>2</sup>. Los resultados son proporcionales a sus resistencias a compresión pero son menores a los calculados con la expresión  $E = 15000 \sqrt{f'_c}$ , además el factor determinado para estos diseños preparados en esta Tesis es próximo a 13000.

### **4.3 ANÁLISIS DE COSTOS.**

En este proyecto de tesis se consideró el desarrollo del análisis de costos unitarios por cada diseño de mezclas para 1,00m<sup>3</sup> de concreto, el precio de los insumos son a la fecha de 06 de junio del 2014 precios en los que no se considera el IGV.

#### 4.3.1 DISEÑOS USADOS EN ESTA INVESTIGACIÓN:

DCPO	: concreto patrón.
DCPA	: concreto con aditivo superplastificante.
DC10MS	: concreto con aditivo más 10% de Microsílice.
DC12.5MS	: Costo del concreto con aditivo más 12,5% de Microsílice.
DC15MS	: Concreto con aditivo más 15% de Microsílice.
DC1.0NS	: Concreto con aditivo más 1,0% de Nanosílice.
DC1.25NS	: Concreto con aditivo más 1,25% de Nanosílice.
DC1.5NS	: Concreto con aditivo más 1,5% de Nanosílice.
DC5M0.5N	: Concreto con aditivo más 5% de Microsílice y 0,5% de Nanosílice.
DC7.5M1N	: Concreto con aditivo más 7.5% de Microsílice y 1,0% de Nanosílice.
DC10M1.5N	: Concreto con aditivo más 10% de Microsílice y 1,5% de Nanosílice.

#### 4.3.2 INSUMOS USADOS EN ESTA INVESTIGACIÓN:

• Agregado fino de la cantera "Arunta"	S/. 13,00	m <sup>3</sup>
• Agregado grueso de la cantera "Arunta"	S/. 50,00	m <sup>3</sup>
• Cemento Yura Tipo IP.	S/. 13,29	bls.
• Aditivo superplastificante: Sika Viscocrete 20HE.	S/. 2755,50	Cil.
• Microsílice: Sika Fume.	S/. 116,30	bls.
• Nanosílice: Sika Stabilizer PE.	S/. 1122,70	Cil.

#### **4.3.3 DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES USADOS:**

- El agregado grueso y agregado fino usados en esta investigación para todos los tipos de diseños de mezcla son provenientes de la cantera Arunta localizada en el Cono Sur de la Ciudad de Tacna.
- El cemento portland usado es el tipo IP de cementos YURA, se dio uso para todos los tipos de diseños presentadas en esta Tesis.
- El aditivo superplastificantes es de la marca Sika del tipo Viscocrete 20HE de tercera generación, este insumo es también usado para todos los diseños; excepto para el concreto patrón o DCPO.
- La microsílíce usada de la marca Sika, su nombre comercial es el SIKA FUME, este aditivo ha sido usado para 06 diseños en diferentes proporciones: DC10MS, DC12.5MS, DC15MS, DC5MS0.5NS, DC7.5MS1.0NS y DC10MS1.5NS.
- La nanosílíce SIKA STABILIZER tipo PE es de la marca Sika Perú S.A., ha sido usado también para 06 tipos de diseños de mezclas en diferentes dosis: DC1.0NS, DC1.25NS, DC1.5NS, DC5MS0.5NS, DC7.5MS1.0NS y DC10MS1.5NS.

#### **4.3.4 CONSIDERACIONES BÁSICAS.**

Los diseños de mezcla presentados en esta investigación tienen por finalidad determinar cuál de las dosis presentadas ofrece la máxima

resistencia a compresión. Es por ello que se ha desarrollado una variedad de mezclas de concreto con diferentes proporciones de contenido de estos aditivos.

La máxima resistencia obtenida es con el diseño del Tipo DC10MS el cual consiste en la combinación de agregado fino y agregado grueso (44/56) de la cantera Arunta de la ciudad de Tacna, cemento portland tipo IP de cementos Yura en un contenido de 565 kg/m<sup>3</sup>, agua potable de la red de la EPS, el aditivo superplastificante Viscocrete 20HE (2%) y 10% de microsílíce SIKA FUME por peso de cemento con relación agua/cemento de 0,25. Además este diseño ofrece un slump de 10pulgadas contenido de aire de 1,38 y se halla clasificada dentro de concretos de peso normal. La resistencia alcanzada por este diseño a los 28 días es de 1 133 kg/cm<sup>2</sup> y 1 282 kg/cm<sup>2</sup> a los 90 días de edad.

#### 4.3.5 DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS.

El análisis de C.U. presentado a continuación es para 1,00m<sup>3</sup> de concreto.

**Cuadro 4. 10:** Costo del concreto patrón.

DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD	P.U. (S/.)	PARCIAL
Cemento	bls.	13,29	16,81	223,47
Agua	m <sup>3</sup>	0,23	0,97	0,22
Arena	m <sup>3</sup>	0,37	13,00	4,85
Piedra Chancada HUSO 6	m <sup>3</sup>	0,54	50,00	27,07
TOTAL (S/.)				255,61

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 4. 11:** Costo del concreto con aditivo superplastificante.

DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD	P.U. (S/.)	PARCIAL
Cemento	bls.	13,29	16,81	223,47
Agua	m <sup>3</sup>	0,14	0,97	0,14
Arena	m <sup>3</sup>	0,41	13,00	5,27
Piedra Chancada HUSO 6	m <sup>3</sup>	0,59	50,00	29,41
Aditivo Superplastificante	Cil.	0,06	2 755,50	155,69
TOTAL (S/.)				413,97

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 4. 12:** Costo del concreto con aditivo más 10% de Microsílice.

DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD	P.U. (S/.)	PARCIAL
Cemento	bls.	13,29	16,81	223,47
Agua	m <sup>3</sup>	0,14	0,97	0,14
Arena	m <sup>3</sup>	0,41	13,00	5,27
Piedra Chancada HUSO 6	m <sup>3</sup>	0,59	50,00	29,41
Aditivo Superplastificante	Cil.	0,06	2 755,50	155,69
Microsílice	Bls.	2,26	116,3	262,84
TOTAL (S/.)				676,81

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 4. 13:** Costo del concreto con aditivo más 12,5% de Microsílice.

DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD	P.U. (S/.)	PARCIAL
Cemento	bls.	13,29	16,81	223,47
Agua	m <sup>3</sup>	0,14	0,97	0,14
Arena	m <sup>3</sup>	0,40	13,00	5,21
Piedra Chancada HUSO 6	m <sup>3</sup>	0,58	50,00	29,10
Aditivo Superplastificante	Cil.	0,06	2 755,50	155,69
Microsílice	Bls.	2,83	116,3	328,57
TOTAL (S/.)				742,18

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 4. 14:** Costo del concreto con aditivo más 15% de Microsílice.

DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD	P.U. (S/.)	PARCIAL
Cemento	bls.	13,29	16,81	223,47
Agua	m <sup>3</sup>	0,14	0,97	0,14
Arena	m <sup>3</sup>	0,40	13,00	5,16
Piedra Chancada HUSO 6	m <sup>3</sup>	0,58	50,00	28,79
Aditivo Superplastificante	Cil.	0,06	2 755,50	155,69
Microsílice	Bls.	3,39	116,3	394,26
TOTAL (S/.)				807,50

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 4. 15:** Costo del concreto con aditivo más 1,0% de Nanosílice.

DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD	P.U. (S/.)	PARCIAL
Cemento	bls.	13,29	16,81	223,47
Agua	m <sup>3</sup>	0,14	0,97	0,14
Arena	m <sup>3</sup>	0,42	13,00	5,44
Piedra Chancada HUSO 6	m <sup>3</sup>	0,61	50,00	30,37
Aditivo Superplastificante	Cil.	0,06	2 755,50	155,69
Nanosílice	Cil.	0,03	1 122,7	31,72
TOTAL (S/.)				446,83

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 4. 16:** Costo del concreto con aditivo más 1,25% de Nanosílice.

DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD	P.U. (S/.)	PARCIAL
Cemento	bls.	13,29	16,81	223,47
Agua	m <sup>3</sup>	0,14	0,97	0,14
Arena	m <sup>3</sup>	0,42	13,00	5,43
Piedra Chancada HUSO 6	m <sup>3</sup>	0,61	50,00	30,31
Aditivo Superplastificante	Cil.	0,06	2 755,50	155,69
Nanosílice	Cil.	0,04	1 122,7	39,63
TOTAL (S/.)				454,66

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 4. 17:** Costo del concreto con aditivo más 1,5% de Nanosílice.

DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD	P.U. (S/.)	PARCIAL
Cemento	bls.	13,29	16,81	223,47
Agua	m <sup>3</sup>	0,14	0,97	0,14
Arena	m <sup>3</sup>	0,42	13,00	5,42
Piedra Chancada HUSO 6	m <sup>3</sup>	0,60	50,00	30,24
Aditivo Superplastificante	Cil.	0,06	2 755,50	155,69
Nanosílice	Cil.	0,04	1 122,7	47,60
TOTAL (S/.)				462,55

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 4. 18:** Costo del concreto con aditivo más 5% de Microsílice y 0,5% de Nanosílice.

DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD	P.U. (S/.)	PARCIAL
Cemento	bls.	13,29	16,81	223,47
Agua	m <sup>3</sup>	0,14	0,97	0,14
Arena	m <sup>3</sup>	0,41	13,00	5,35
Piedra Chancada HUSO 6	m <sup>3</sup>	0,60	50,00	29,89
Aditivo Superplastificante	Cil.	0,06	2 755,50	155,69
Microsílice	Bls.	0,97	116,30	112,81
Nanosílice	Cil.	0,01	1 122,70	15,89
TOTAL (S/.)				543,24

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 4. 19:** Costo del concreto con aditivo más 7,5% de Microsílice y 1,0% de Nanosílice.

DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD	P.U. (S/.)	PARCIAL
Cemento	bls.	13,29	16,81	223,47
Agua	m <sup>3</sup>	0,14	0,97	0,14
Arena	m <sup>3</sup>	0,41	13,00	5,27
Piedra Chancada HUSO 6	m <sup>3</sup>	0,59	50,00	29,45
Aditivo Superplastificante	Cil.	0,06	2 755,50	155,69
Microsílice	Bls.	1,70	116,30	197,15
Nanosílice	Cil.	0,03	1 122,70	31,72
TOTAL (S/.)				642,89

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 4. 20:** Costo del concreto con aditivo más 10% de Microsílice y 1,5% de Nanosílice.

DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD	P.U. (S/.)	PARCIAL
Cemento	bls.	13,29	16,81	223,47
Agua	m <sup>3</sup>	0,14	0,97	0,14
Arena	m <sup>3</sup>	0,40	13,00	5,19
Piedra Chancada HUSO 6	m <sup>3</sup>	0,58	50,00	29,00
Aditivo Superplastificante	Cil.	0,06	2 755,50	155,69
Microsílice	Bls.	2,26	116,30	262,84
Nanosílice	Cil.	0,04	1 122,70	47,60
TOTAL (S/.)				723,93

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 4. 21:** Comparación de resistencia vs costos a los 28 días.

MEZCLA	f'c(28días)	C.U. /m <sup>3</sup>	Kg/cm <sup>2</sup> /s/.
DCPO	538	255,61	2,10
DCPA	886	413,97	2,14
DCMS10	1 133	676,81	1,67
DCMS12.5	996	742,18	1,34
DCMS15	1 105	807,50	1,37
DCNS1.00	801	446,83	1,79
DCNS1.25	775	454,66	1,71
DCNS1.50	732	462,55	1,58
DC5.0MS0.5NS	914	543,24	1,68
DC7.5MS1.0NS	864	642,89	1,34
DC10MS1.5NS	1 069	723,93	1,48

Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES.

- El agregado grueso de tamaño máximo nominal de  $\frac{3}{4}$ " y agregado fino con módulo de finura de 2,70 son aptos para producir concretos de alta resistencia en el rango de 500 – 1 133 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión a los 28 días de edad.
- Se ha logrado obtener un concreto de alta resistencia a la compresión con un valor de 1 282 kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 90 días y que además tiene la propiedad de ser un concreto autocompactante.
- El concreto base diseñado con 565 kg de cemento portland tipo IP, relación agua – cemento de 0,40 y agregados en la relación de 44/56 superó los 500 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a compresión a los 28 días de edad.
- Se determinó que la dosis adecuada del aditivo superplastificante para producir concretos de alta resistencia de comportamiento autocompactante (10 -11pulgadas de asentamiento) y sin segregación es del 2,00%.

- La dosis óptima de microsílíce encontrada es del 10% con la cual se obtiene la máxima resistencia a la compresión de 1 280 kg/cm<sup>2</sup>, para el caso de la nanosílíce es de 1,00% (907 kg/cm<sup>2</sup>) y para el caso de la combinación de la microsílíce y nanosílíce es de 10% de microsílíce más 1,5% de nanosílíce (1,200 kg/cm<sup>2</sup>).
- Las resistencias obtenidas con los concretos adicionados de aditivo superplastificante, microsílíce y nanosílíce superan ampliamente al resultado logrado por el concreto patrón; habiendo logrado concretos desde 828 – 1 282 kg/cm<sup>2</sup> para el primer caso y 611 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a compresión para segundo caso; ambos ensayados a 90 días de edad.
- Los concretos preparados con aditivo superplastificante y microsílíce presentan un costo muy elevado respecto al DCPO debido al costo de los aditivos, sobre todo del superplastificante y la microsílíce lo cual dificulta su aplicación en edificaciones de poca altura.
- La dosificación más beneficiosa es la de 10% de microsílíce al ofrecer la máxima resistencia de 1 282 kg/cm<sup>2</sup> y ser el más económico respecto a los demás diseños por contener menor cantidad de microsílíce.

## **5.2 RECOMENDACIONES.**

- Dado los resultados de esta tesis de investigación es recomendable el uso de los agregados extraídos de la cantera Arunta para la fabricación

de concretos de alta resistencia en el rango de 600 a 1 280 kg/cm<sup>2</sup> a los 90 días de edad con agregado grueso de tamaño máximo nominal de ¾”.

- Se recomienda hacer investigación de concretos de alta resistencia con tamaños máximos nominales menores e iguales a ½” ya que permiten producir concretos base de altas resistencias mayores a 630 kg/cm<sup>2</sup> de acuerdo al código ACI 211.4 con cemento portland Tipo HE por ser calificado como un material nuevo y de alta resistencia inicial.
- Para lograr concretos de alta resistencia se recomienda mantener un control estricto del curado bajo agua a una misma temperatura hasta la fecha de ensayo, ya que estos son susceptibles a los cambios de temperatura y por tanto induce a la reducción de la resistencia mecánica.
- Se recomienda hacer investigaciones de concretos de alta resistencia únicamente con la adición de la nanosílice y en dosis muy pequeñas; ya que en esta investigación se determinó que mientras menor sea la dosis de la nanosílice mayor es la resistencia a compresión.
- Se recomienda el uso de estos concretos en edificios de gran altura debido a su elevado costo, ya que sus bondades beneficiarán al diseño en concreto armado por ofrecer elevadas resistencias a la compresión, tracción y flexión, lo cual permitirá una reducción sustancial de las secciones de los elementos estructurales sin la necesidad de alterar la arquitectura.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

1. Rebeca Paz Aguilar Mundaca.

“Determinación de la influencia de las nanomoléculas de sílice en el concreto frente a un factor que afecta su durabilidad”.

Tesis –Universidad Austral de Chile.

Chile – 2007.

2. Omar Dueñas Rospigliosi.

“Apuntes de Clases “Tecnología de Concreto I y II”.

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

Tacna – 2010.

3. Cementos YURA S.A.

“Manual de Usos y Aplicaciones de Cemento Portland Puzolánico IP”.

Arequipa-2008.

4. Edher Huincho Salvatierra

“Concreto de alta resistencia usando aditivo superplastificante, microsilice y nanosilice con cemento portland Tipo I”.

Tesis de grado FIC Universidad Nacional de Ingeniería.

Lima - 2011.

5. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto AC

“El concreto: Problemas, Causas y Soluciones”.

Fichas Técnicas IMCYC.

México - [2008 – 2014].

6. Ángel A. Millones Prado  
“Concreto de Alta Densidad con Superplastificante”.  
Tesis Universidad Ricardo Palma – Lima – Perú.  
Lima - 2008.
7. Bach. Carlos E. Morataya Córdova  
“Concreto de alta resistencia (experimentación en Guatemala)”.  
Universidad de San Carlos de Guatemala.  
Guatemala – 2005.
8. Anthony Pajuelo Améz – Álvaro Pómez Montiel  
“Concreto de Alto Desempeño Utilizando Nanosílice”.  
Tesis de grado FIC Universidad Nacional de Ingeniería.  
Lima – 2011.
9. Pablo Portugal Barriga  
“Tecnología del Concreto de Alto Desempeño”.  
Universidad Nacional San de Agustín de Arequipa.  
Tesis de grado con fines de Magister en Tecnología del Concreto.  
Arequipa – 2010.
10. Wanda N. Régil Monroy  
“Determinar Ventajas y Desventajas, en el uso de Azufre y almohadillas de Neopreno para ensayos de Cilindro a Compresión”.  
Universidad de San Carlos de Guatemala.  
Guatemala – 2013.

11. Enrique Rivva López  
“Concreto de Alta Resistencia”  
Instituto de la Construcción y Gerencia - 1ra y 2da Edición.  
Lima - [2002 – 2012].  
“Materiales para el Concreto”.  
Instituto de la Construcción y Gerencia - 2da Edición.  
Lima – 2010.
12. Sally Andrea del Rosario Schebesta Aguilar  
“Uso del Concreto Autocompactado para Edificaciones en Tacna”.  
Tesis de grado ESIC Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.  
Tacna - 2006.
13. Claudio Seguel Herrera.  
“Hormigones de Alta Resistencia H-70”.  
Tesis de grado Universidad Austral de Chile  
Chile – 2006.
14. Sofía Herrería Cisneros y F. Marcelo Villegas Dávila.  
“Módulo de Elasticidad y Curvas de Esfuerzo Deformación, en base a la  
Compresión del Hormigón a 21, 28,35MPa”.  
Tesis de grado de la Escuela Politécnica del ejército.  
Sangolqui – 2008.

*ANEXO 01:*

*PANEL FOTOGRÁFICO.*

*PANEL FOTOGRÁFICO: MATERIALES*

**AGREGADO FINO**



**Imagen 01**



**Imagen 02**

El agregado fino o arena es procedente de la cantera Arunta, dicho árido ha sido tratado pasando por la malla N° 4 y lavado para la eliminación de finos que pasan la malla N° 200. La imagen 01 muestra el secado luego haber lavado el agregado.

*PANEL FOTOGRÁFICO: MATERIALES*

**AGREGADO GRUESO**



**Imagen 03**

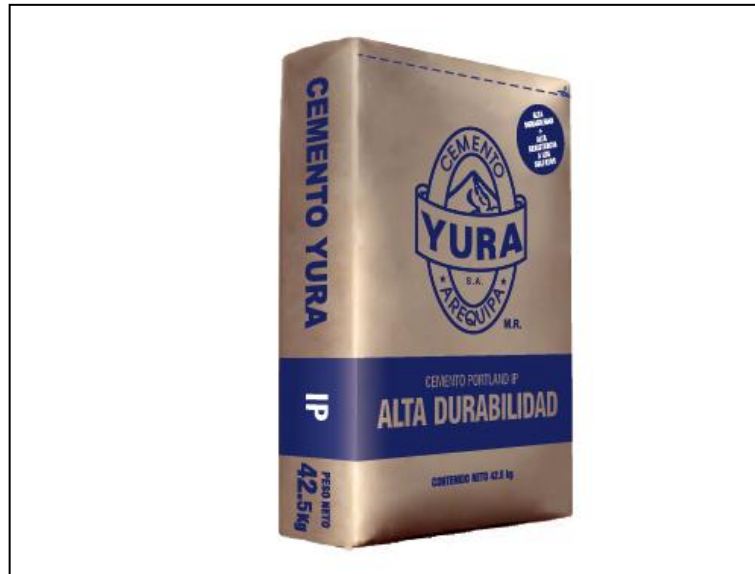


**Imagen 04**

El agregado grueso de la cantera Arunta cumple con la Norma NTP 400.037. Este componente del concreto de alta resistencia en chancado con cierto contenido de material poroso el cual ha sido seleccionado para reducir el porcentaje de absorción, además se someterlo al lavado para eliminar la suciedad de la piedra chancada.

*PANEL FOTOGRÁFICO: MATERIALES*

**CEMENTO**



**Imagen 05**



**Imagen 06**

La imagen 05 muestra el cemento usado en esta Tesis de Investigación "CEMENTO PORTLAND TIPO IP" de cementos Yura. Como se ilustra en la Imagen 06 este material cementante tiene un color gris claro.

*PANEL FOTOGRÁFICO: MATERIALES*

**ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE**



**Imagen 07**



**Imagen 08**

el aditivo superplastificante usado en esta Tesis de investigación de concretos de alta resistencia es el "SIKA VISCOCRETE 20HE" de la marca Sika Perú S.A. el cual viene contenido en cilindros de 200Lt como ilustra la Imagen, la característica de este aditivo es de color marrón viscoso como muestra la Imagen 08.

*PANEL FOTOGRÁFICO: MATERIALES*

**MICROSÍLICE**



**Imagen 09**



**Imagen 10**

La Microsílice empleada para la investigación de esta Tesis es la “SIKA FUME” de la marca Sika Perú S.A., es un polvo gris claro y viene contenido en bolsas de 25kg como muestran en la Imagen 09.

*PANEL FOTOGRÁFICO: MATERIALES*

**NANOSÍLICE**



**Imagen 11**



**Imagen 12**

La nanosílice usada es la "SIKA STABILIZER PE" de la marca Sika Perú S.A., este aditivo viene en presentaciones de cilindros de color amarillo ilustrada en la Imagen 11 y el color del aditivo es blanco como se muestra en la Imagen 12.

*PANEL FOTOGRÁFICO: ANÁLISIS DE MATERIALES*

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**



**Imagen 13**



**Imagen 14**

El análisis granulométrico de los agregados fino y grueso ha sido realizado por el método del tamizado de mallas de abertura cuadrada, a fin de representar la uniformidad del agregado. Este ensayo se realizó en base a la Norma NTP 400.012 previo cuarteado conforme a la Norma NTP 400.010.

*PANEL FOTOGRÁFICO: ANÁLISIS DE MATERIALES*

**PESO UNITARIO SUELTO Y VARILLEADO**



**Imagen 15**



**Imagen 16**

El peso unitario suelto y varillado de los agregados fino y grueso ha sido realizado en el recipiente estándar para agregados de tamaño máximo de 1” como se ilustra en la Imagen 15 y la Imagen 16.

*PANEL FOTOGRÁFICO: ANÁLISIS DE MATERIALES*

**PESO ESPECÍFICO AGREGADO GRUESO**



**Imagen 17**



**Imagen 18**

Para determinar el peso específico del agregado grueso se mantuvo saturado por 24 horas previo al ensayo, luego se sometió al secado superficialmente secado con franelas absorbentes; para este ensayo también se necesitó la canastilla y la balanza. Para el ensayo es necesario que la canastilla contenida de agregado este sumergida en un recipiente de agua.

***PANEL FOTOGRÁFICO: ANÁLISIS DE MATERIALES***

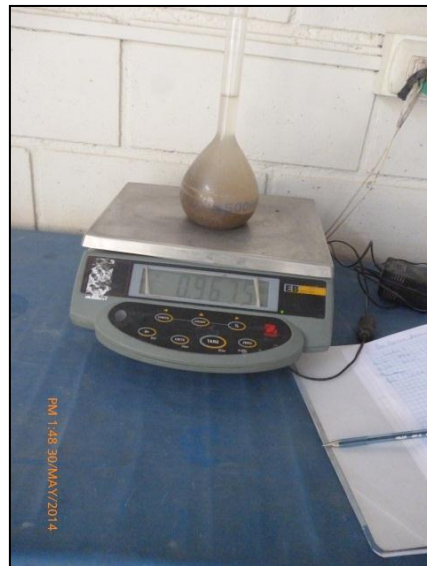
**PESO ESPECÍFICO AGREGADO FINO**



**Imagen 19**



**Imagen 20 (a)**



**Imagen 20 (b)**

Para la determinación del peso específico del agregado fino se mantuvo saturado el agregado en agua potable durante 24 horas, luego se sometió al secado como se muestra en la imagen 19; en la Imagen 20 se muestra la prueba de la consistencia del agregado fino el cual luego es llevado a una fiola saturada de agua Imagen 20.

*PANEL FOTOGRÁFICO: ANÁLISIS DE MATERIALES*

**PORCENTAJE DE ABSORCIÓN Y HUMEDAD**



**Imagen 21**



**Imagen 22**

Para la corrección del diseño de mezclas también se realizó el ensayo para la determinación del porcentaje de absorción y porcentaje de contenido de humedad natural de los agregados, este último ha sido controlado previo a la preparación de la mezcla para elaborar las muestras.

*PANEL FOTOGRÁFICO: ANÁLISIS DE MATERIALES*

**CONTENIDO DE FINOS**



**Imagen 23**



**Imagen 24**

Para la elaboración de concretos de alta resistencia es necesario que los agregados estén limpios por la baja relación agua/cemento, además, debe cumplir con los parámetro o límites establecidos por la Normas Técnicas Peruanas.

*PANEL FOTOGRÁFICO: ANÁLISIS DE MATERIALES*

**ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO**



**Imagen 25**



**Imagen 26**

En la ciudad de Tacna es necesario incluir el parámetro de la resistencia de los agregados a fin de usarlo como un indicador para la selección de los agregados y clasificar su procedencia. Es por ello que se realizó el ensayo de la resistencia a la abrasión en la máquina de los Ángeles.

*PANEL FOTOGRÁFICO: PREPARACIÓN DE MEZCLAS*

**PESO UNITARIO COMPACTADO**



**Imagen 27**



**Imagen 28**

Para realizar el diseño de concretos de alta resistencia fue necesario incluir el método del Peso Unitario Compactado de la combinación de agregados para determinar el proporcionamiento de los mismos, para ello se dio uso de las herramientas mostradas en las Imágenes 27 y 28.

*PANEL FOTOGRÁFICO: PREPARACIÓN DE MEZCLAS*

**PREPARACIÓN DE MEZCLA DE CONCRETO PUCP**



**Imagen 29**



**Imagen 30**

Ambas imágenes muestran la preparación de la mezcla de concreto para el ensayo de tiempo de fragua realizado en el laboratorio de Estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú –Lima; la maquina mezcladora electrónica es de 50lt. Previo a todo esto se realizó el pesado de todos los materiales.

*PANEL FOTOGRAFICO: PREPARACIÓN DE MEZCLAS*

**PREPARACIÓN DE MEZCLA DE CONCRETO MPT**



**Imagen 31**



**Imagen 32**

La máquina mezcladora utilizada para elaborar los especímenes y realizar los ensayos estándar en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Pavimento de la Municipalidad Provincial de Tacna es de 3pies cúbicos de 1200 revoluciones por minuto.

*PANEL FOTOGRÁFICO: PREPARACIÓN DE MEZCLAS*

**PREPARACIÓN DE ESPECIMENES DE CONCRETO**



**Imagen 33**



**Imagen 34**

En la Imagen 33 se muestra la preparación de especímenes para los ensayos preliminar del concreto patrón, estas muestras son de 4x8 pulgadas además de haberse usado la varilla lisa de 5/8 y un martillo de hule. La imagen 34 muestra la preparación de muestras finales para la rotura a compresión y flexión de concretos.

*PANEL FOTOGRÁFICO: PREPARACIÓN DE MEZCLAS*

**PREPARACIÓN DE ESPECIMENES DE CONCRETO**



**Imagen 35**



**Imagen 36**

La imagen 36 muestra la toma de especímenes de concreto en moldes cilíndricos de 6 x10pulgadas, esas muestras han sido preparadas con moldes estándar por la destinación de los mismos a los ensayos de Tracción por compresión diametral y módulo de elasticidad.

*PANEL FOTOGRÁFICO: PREPARACIÓN DE MEZCLAS*

**CURADO DE ESPECIMENES DE CONCRETO**



**Imagen 37**



**Imagen 38**

El curado de las muestras en el laboratorio de mecánica de suelos, concreto y pavimentos de MPT se realizó en la poza de concreto sumergido en agua potable y las muestras restantes en recipientes plásticos impermeables, sin sobreponer uno encima de otro.

*PANEL FOTOGRÁFICO: PREPARACIÓN DE MEZCLAS*

**REFRENDADO DE ESPECIMENES DE CONCRETO**



**Imagen 39**



**Imagen 40**

Previo a los ensayos de rotura de los especímenes de concreto se realizó el refrendado o cabeceo con mortero de azufre, en la Imagen 39 se ilustra el procedimiento y los accesorios necesarios para este trabajo; y en la imagen 40 se muestra el resultado del refrendado nivelando ambas caras de la briqueta.

***PANEL FOTOGRÁFICO: ENSAYOS DEL CONCRETO***

**REVENIMIENTO O SLUMP**



**Imagen 41**



**Imagen 42**

Las imágenes 41 y 42 muestran el ensayo de revenimiento del concreto patrón, siendo para ellos necesarios el cono de Abrams sobre una superficie nivelada, varilla de 5/8" y cinta métrica.

***PANEL FOTOGRÁFICO: ENSAYOS DEL CONCRETO***

**REVENIMIENTO**



**Imagen 43**



**Imagen 44**

Para realizar el ensayo de revenimiento es necesaria la superficie metálica de 2 mm de espesor de 1.00x1.00m como ilustra la Imagen 43. La imagen 44 muestra el ensayo de asentamiento de los concretos de alta resistencia de comportamiento autocompactante.

## PANEL FOTOGRÁFICO: ENSAYOS DEL CONCRETO

### CONSISTENCIA



**Imagen 45**



**Imagen 46**

Para la realización del ensayo de consistencia de las mezclas autocompactantes debe contarse con los accesorios mostrados en la imagen 45, no es necesario la varilla lisa de 5/8". En la imagen 46 se muestra el ensayo de consistencia o extensibilidad de la mezcla.

*PANEL FOTOGRÁFICO: ENSAYOS DEL CONCRETO*

**PESO UNITARIO**



**Imagen 47**



**Imagen 48**

La imagen 47 muestra el procedimiento para determinar el volumen del recipiente metálico para realizar el ensayo del peso unitario; y en la Imagen 48 muestra el desarrollo de la determinación del peso unitario del concreto patrón, siendo necesario para ello la varilla de 5/8" y el martillo de hule.

*PANEL FOTOGRÁFICO: ENSAYOS DEL CONCRETO*

**CAPACIDAD DE PASO**



**Imagen 49**



**Imagen 50**

Este ensayo ha sido realizado en la “CAJA EN L” o LBOX, el objetivo de este ensayo es determinar la capacidad que tiene el concreto de fluir a través de una congestión de aceros, para ello es necesario las herramientas mostradas en la Imagen 49 y en la Imagen 50 se muestra el ensayo.

*PANEL FOTOGRAFICO: ENSAYOS DEL CONCRETO*

**CONTENIDO DE AIRE**



**Imagen 51**



**Imagen 52**

El ensayo de contenido de aire ha sido realizado para todos los diseños por el método permitido por la norma técnica peruana "LA OLLA DE PRESIÓN DE WASHINGTON", en las imágenes 51 y 52 muestra el ensayo mencionado.

***PANEL FOTOGRÁFICO: ENSAYOS DEL CONCRETO***

**TIEMPO DE FRAGUA**



**Imagen 53**



**Imagen 54**

El ensayo de tiempo de fragua ha sido realizado en el laboratorio de Estructuras de la "PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU", en la imagen 53 muestra el tamizado de la mezcla con la malla N°4 y en la imagen 54 se muestra el varillado de la mezcla para luego dejarlo en reposo de al menos por dos horas.

**PANEL FOTOGRÁFICO: ENSAYOS DEL CONCRETO**

**TIEMPO DE FRAGUA**



**Imagen 55**



**Imagen 56**

El método aplicado para este ensayo es VICAT, que consta de una variedad de agujas estándar que se van cambiando para cada penetración a la mezcla fresca y registrar los datos de esfuerzos del manómetro. Este ensayo ha sido realizado en las instalaciones del Laboratorio de Estructuras de la PUCP en el área de Concreto.

*PANEL FOTOGRÁFICO: ENSAYOS DEL CONCRETO*

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**



**Imagen 57**



**Imagen 58**

Los ensayo de rotura por compresión directa han sido realizadas en las instalaciones del laboratorio de la MPT; por la capacidad de la maquina las muestran realizadas han sido de 4x8pulgadas. La máquina es mecánica como se muestra en las imágenes 57 y 58.

**PANEL FOTOGRAFICO: ENSAYOS DEL CONCRETO**

**RESISTENCIA A LA TRACCIÓN**



**Imagen 59**



**Imagen 60**

Para la realización de este ensayo se mepleo la misma maquina de compresio, sin embargo ha sido necesario dos planchas metalicas de 2" de espesor como se muestra en al imagen 59 y que cubra toda la longitud del especimen. Este ensayo tambien ha sido realizado en el laboratio de MPT.

*PANEL FOTOGRAFICO: ENSAYOS DEL CONCRETO*

**RESISTENCIA A LA FLEXIÓN**



**Imagen 61**



**Imagen 62**

Este ensayo ha sido realizado en el laboratorio de Mecánica de Rocas de la UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN – TACNA, para esto fue necesario preparar bloque de concreto simple en forma de vigas de 10x10 de sección y 50cm de longitud.

*PANEL FOTOGRAFICO: ENSAYOS DEL CONCRETO*

**RESISTENCIA A LA FLEXIÓN**



**Imagen 63**



**Imagen 64**

El ensayo de resistencia a flexión realizada en esta Tesis de investigación es la de dos cargas aplicadas al tercio de la luz de la viga. En la Imagen 63 se muestra el ensayo y la Imagen la rotura de esta viga.

*PANEL FOTOGRÁFICO: ENSAYOS DEL CONCRETO*

**MÓDULO DE ELASTICIDAD**



**Imagen 65**



**Imagen 66**

En la imagen 66 se muestra el equipo para realizar el ensayo de esfuerzo deformación para determinar el módulo de elasticidad del concreto, este equipo es netamente computarizado, lleva dos pivots (fija y móvil) con los cuales se registra la deformación mientras que el equipos de compresión también abastece el esfuerzo realizado de manera uniforme y constante.

***PANEL FOTOGRÁFICO: ENSAYOS DEL CONCRETO***

**MÓDULO DE ELASTICIDAD**



**Imagen 67**



**Imagen 68**

En la imagen 67 se muestra el equipo completo para realizar el ensayo de esfuerzo deformación, en la Imagen 68 se ilustra la preparación de la muestra para el ensayo. Este ensayo ha sido realizado en el Laboratorio de estructuras de la PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DL PERU – LIMA.

*PANEL FOTOGRÁFICO: ENSAYOS DEL CONCRETO*

**MÓDULO DE ELASTICIDAD**



Imagen 69



Imagen 70

Paralelo al ensayo del esfuerzo – deformación es necesario conocer la resistencia al 100% del concreto, para ello se realizó la rotura a compresión de los mellizos de cada muestra. El primer ensayo mencionado es sometido al 40% del esfuerzo total de la muestra.

*ANEXO 02:*

*DISEÑOS DE MEZCLAS PRELIMINARES.*



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**DISEÑO PRELIMINAR DEL CONCRETO PATRÓN**

PROYECTO: TESIS "FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CAR USANDO ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA"

TESISTA: BACH. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI

FECHA: 25/06/2014

CODIGO: **DCP30X70**

Relación a/mc= 0,40 N° de muestras= 4,00 und  
 Relación AF/AG= 30% 70% Volumen de molde= 0,0016 m3  
 Diseño base: CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA - CONCRETO PATRÓN Volumen de tandada= 0,0069 m3

$$f'_c = 500 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

Cemento total = 555,00 kg VIZCOCRETE 20HE = 0,0% 0,00 kg Material cementante= 555,00 kg  
 Cont. de aridos = 0,558 m3 SIKA FUME = 0,0% 0,00 kg Relacion a/mc final= 0,41  
 Peso de aridos = 1 453,05 kg SIKA STABILIZER = 0,0% 0,00 kg

MATERIALES	PROCEDENCIA	PESO ESPECIFICO (Kg/m3)	HUMEDAD (%)	ABSORCIO N (%)	PESO SECO (Kg/m3)	VOLUMEN	PESO SSS (Kg/m3)	CORRECCION POR HUMEDAD	TANDA DE PRUEBA	
									DOSIFICACION N	UNIDAD
CEMENTO	IP - Yura	2820,00	----	----	555,00	0,197	555,00	555,00	3,84	kg
AGUA	Potable	1000,00	----	----	222,00	0,222	222,00	227,32	1,57	L
AIRE	----	----	----	----	----	0,023	----	----	----	----
AGREGADO FINO	Arunta	2500,00	1,50	1,67	435,92	0,174	435,92	442,45	3,06	kg
AGREGADO GRUESO	Arunta	2650,00	0,33	0,78	1017,14	0,384	1017,14	1020,49	7,05	kg
VIZCOCRETE 20HE	sika	1080,00	----	----	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	kg
SIKA FUME	sika	2200,00	----	----	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	kg
SIKA STABILIZER	sika	1000,00	----	----	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	kg
TOTAL	----	----	----	----	2230,05	1,000	----	2245,27	15,52	kg/m3

Ensayos de control:

Temperatura (°C)	SLUMP (pulg)	Contenido de aire (%)	Rendimiento	PU Teórico	PU inicial	PU real	MUESTREO		
5,00	4,00	2,30	0,97	2245,27	2230,05	2314,00	N° Probetas:	3,00	und



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**DISEÑO PRELIMINAR DEL CONCRETO PATRÓN**

PROYECTO: TESIS "FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CAR USANDO ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA"

TESISTA: BACH. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI      FECHA: 25/06/2014      CODIGO: **DCP40X60**

Relación a/mc=	0,40	N° de muestras=	4,00 und	$f'_c = 500 \text{ kg} / \text{cm}^2$
Relación AF/AG=	40%      60%	Volumen de molde=	0,0016 m3	
Diseño base:	CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA - CONCRETO PATRÓN	Volumen de tandada=	0,0066 m3	

Cemento total	=	555,00 kg	VIZCOCRETE 20HE =	0,0%	0,00 kg	Material cementante=	555,00 kg
Cont. de aridos	=	0,561 m3	SIKA FUME =	0,0%	0,00 kg	Relacion a/mc final=	0,41
Peso de aridos	=	1 452,30 kg	SIKA STABILIZER =	0,0%	0,00 kg		

MATERIALES	PROCEDENCIA	PESO ESPECIFICO O (Kg/m3)	HUMEDAD (%)	ABSORCION (%)	PESO SECO (Kg/m3)	VOLUMEN	PESO SSS (Kg/m3)	CORRECCION POR HUMEDAD	TANDA DE PRUEBA	
									DOSIFICACION	UNIDAD
CEMENTO	IP - Yura	2820,00	----	----	555,00	0,197	555,00	555,00	3,66	kg
AGUA	Potable	1000,00	----	----	222,00	0,222	222,00	226,91	1,50	L
AIRE	----	----	----	----	----	0,020	----	----	----	----
AGREGADO FINO	Arunta	2500,00	1,50	1,67	580,92	0,232	580,92	589,63	3,89	kg
AGREGADO GRUESO	Arunta	2650,00	0,33	0,78	871,38	0,329	871,38	874,26	5,77	kg
VIZCOCRETE 20HE	sika	1080,00	----	----	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	kg
SIKA FUME	sika	2200,00	----	----	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	kg
SIKA STABILIZER	sika	1000,00	----	----	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	kg
<b>TOTAL</b>	----	----	----	----	2229,30	1,000	----	2245,80	14,82	kg/m3

Ensayos de control:

Temperatura (°C)	SLUMP (pulg)	Contenido de aire (%)	Rendimiento	PU Teórico	PU inicial	PU real	MUESTREO		
5,00	4,00	2,00	0,00	----	2314,00	2314,00	N° Probetas:	3,00	und









**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**DISEÑO PRELIMINAR DEL CONCRETO PATRÓN**

PROYECTO: TESIS "FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CAR USANDO ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA"  
 TESISTA: BACH. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI FECHA: 26/06/2014 CODIGO: **DCP45X55**

Relación a/mc= 0,40 N° de muestras= 4,00 und  
 Relación AF/AG= 45% 55% Volumen de molde= 0,0016 m3  
 Diseño base: CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA -CONCRETO PATRÓN Volumen de tandada= 0,0066 m3

$f'_c = 500 \text{ kg} / \text{cm}^2$

Cemento total = 555,00 kg VIZCOCRETE 20HE = 0,0% 0,00 kg Material cementante= 555,00 kg  
 Cont. de aridos = 0,561 m3 SIKAFUME = 0,0% 0,00 kg Relacion a/mc final= 0,40  
 Peso de aridos = 1 448,06 kg SIKASTABILIZER = 0,0% 0,00 kg

MATERIALES	PROCEDENCIA	PESO ESPECIFICO O (Kg/m3)	HUMEDAD (%)	ABSORCION (%)	PESO SECO (Kg/m3)	VOLUMEN	PESO SSS (Kg/m3)	CORRECCION POR HUMEDAD	TANDA DE PRUEBA	
									DOSIFICACION	UNIDAD
CEMENTO	IP - Yura	2820,00	----	----	555,00	0,197	555,00	555,00	3,66	kg
AGUA	Potable	1000,00	----	----	222,00	0,222	222,00	223,43	1,47	L
AIRE	----	----	----	----	----	0,020	----	----	----	----
AGREGADO FINO	Arunta	2500,00	2,00	1,67	651,63	0,261	651,63	664,66	4,38	kg
AGREGADO GRUESO	Arunta	2650,00	0,33	0,78	796,43	0,301	796,43	799,06	5,27	kg
VIZCOCRETE 20HE	sika	1080,00	----	----	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	kg
SIKAFUME	sika	2200,00	----	----	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	kg
SIKASTABILIZER	sika	1000,00	----	----	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	kg
TOTAL	----	----	----	----	2225,06	1,000	----	2242,15	14,79	kg/m3

Ensayos de control:

Temperatura (°C)	SLUMP (pulg)	Contenido de aire (%)	Rendimiento	PU Teórico	PU inicial	PU real	MUESTREO		
5,00	4,00	2,00	0,97	2242,15	2225,06	2314,00	N° Probetas:	3,00	und



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**DISEÑO PRELIMINAR DEL CONCRETO PATRÓN**

PROYECTO: TESIS "FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CAR USANDO ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA"

TESISTA: BACH. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI      FECHA: 26/06/2014      CODIGO: **DCP46X54**

Relación a/mc=	0,40	N° de muestras=	4,00 und	$f'_c = 500 \text{ kg} / \text{cm}^2$
Relación AF/AG=	46%      54%	Volumen de molde=	0,0016 m <sup>3</sup>	
Diseño base:	CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA -CONCRETO PATRÓN	Volumen de tandada=	0,0066 m <sup>3</sup>	

Cemento total	=	555,00 kg	VIZCOCRETE 20HE =	0,0%	0,00 kg	Material cementante=	555,00 kg
Cont. de aridos	=	0,561 m <sup>3</sup>	SIKA FUME =	0,0%	0,00 kg	Relacion a/mc final=	0,40
Peso de aridos	=	1 447,21 kg	SIKA STABILIZER =	0,0%	0,00 kg		

MATERIALES	PROCEDENCIA	PESO ESPECIFICO O (Kg/m3)	HUMEDAD (%)	ABSORCIO N (%)	PESO SECO (Kg/m3)	VOLUMEN	PESO SSS (Kg/m3)	CORRECCIO N POR HUMEDAD	TANDA DE PRUEBA	
									DOSIFICACION	UNIDAD
CEMENTO	IP - Yura	2820,00	----	----	555,00	0,197	555,00	555,00	3,66	kg
AGUA	Potable	1000,00	----	----	222,00	0,222	222,00	223,32	1,47	L
AIRE	----	----	----	----	----	0,020	----	----	----	----
AGREGADO FINO	Arunta	2500,00	2,00	1,67	665,72	0,266	665,72	679,03	4,48	kg
AGREGADO GRUESO	Arunta	2650,00	0,33	0,78	781,50	0,295	781,50	784,07	5,17	kg
VIZCOCRETE 20HE	sika	1080,00	----	----	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	kg
SIKA FUME	sika	2200,00	----	----	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	kg
SIKA STABILIZER	sika	1000,00	----	----	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	kg
<b>TOTAL</b>	----	----	----	----	2224,21	1,000	----	2241,43	14,79	kg/m3

Ensayos de control:

Temperatura (°C)	SLUMP (pulg)	Contenido de aire (%)	Rendimiento	PU Teórico	PU inicial	PU real	MUESTREO		
5,00	4,00	2,00	0,97	2241,43	2224,21	2314,00	N° Probetas:	3,00	und

*ANEXO 03:*

*DISEÑOS DE MEZCLAS.*



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**DISEÑO DEL CONCRETO PATRÓN**

PROYECTO: TESIS "FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CAR USANDO ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA"

TESISTA: BACH. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI

FECHA: 30/05/2015

CODIGO: **DCPO-2014**

Relación a/mc= 0,40

N° de muestras= 16,00 und

Relación AF/AG= 44% 56%

Volumen de molde= 0,0080 m<sup>3</sup>

$$f'_c = 500 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

Diseño base: CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

Volumen de tandada= 0,1280 m<sup>3</sup>

Cemento total = 565,00 kg VZCOCRETE 20HE = 0,0% 0,00 kg Material cementante= 565,00 kg

Cont. de aridos = 0,554 m<sup>3</sup> SIKAFUME = 0,0% 0,00 kg Relacion a/mc final= 0,41

Peso de aridos = 1 442,71 kg SIKASTABILIZER = 0,0% 0,00 kg ontenido de agregados= 64%

MATERIALES	PROCEDENCIA	PESO ESPECIFICO O (Kg/m <sup>3</sup> )	HUMEDAD (%)	ABSORCION N (%)	PESO SECO (Kg/m <sup>3</sup> )	VOLUMEN	PESO SSS (Kg/m <sup>3</sup> )	CORRECCION POR HUMEDAD	TANDA DE PRUEBA	
									DOSIFICACION	UNIDAD
CEMENTO	IP - Yura	2820,00	----	----	565,00	0,200	565,00	565,00	72,34	kg
AGUA	Potable	1000,00	----	----	226,00	0,226	226,00	234,13	29,98	L
AIRE	----	----	----	----	----	0,020	----	----	----	----
AGREGADO FINO	Arunta	2540,00	1,00	1,67	634,79	0,250	634,79	641,14	82,09	kg
AGREGADO GRUESO	Arunta	2660,00	0,30	0,78	807,92	0,304	807,92	810,34	103,75	kg
VZCOCRETE 20HE	sika	1080,00	----	----	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	kg
SIKAFUME	sika	2200,00	----	----	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	kg
SIKASTABILIZER	sika	1000,00	----	----	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	kg
TOTAL	----	----	----	----	2233,71	1,000	----	2250,61	288,16	kg/m <sup>3</sup>

Ensayos de control:

Temperatura (°C)	SLUMP (pulg)	Contenido de aire (%)	Rendimiento	PU Teórico	PU inicial	PU real	MUESTREO		
5,00	3,50	2,00	0,97	2250,61	2233,71	2314,00	N° Probetas:	15,00	und



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**DISEÑO DEL CONCRETO CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE**

PROYECTO: TESIS "FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CAR USANDO ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA"

TESISTA: BACH. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI

FECHA: 30/05/2015

CODIGO: **DCPA-2014**

Relación a/mc=	0,25	N° de muestras=	16,00 und	Resistencia Base:
Relación AF/AG=	44%      56%	Volumen de molde=	0,0080 m <sup>3</sup>	$f'_c = 500 \text{ kg} / \text{cm}^2$
Diseño base:	CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA	Volumen de tandada=	0,1424 m <sup>3</sup>	

Cemento total	=	565,00 kg	VZCOCRETE 20HE	=	2,0%	11,30 kg	Material cementante=	565,00 kg
Cont. de aridos	=	0,633 m <sup>3</sup>	SIKA FUME	=	0,0%	0,00 kg	Relacion a/mc final=	0,26
Peso de aridos	=	1 649,32 kg	SIKA STABILIZER PE	=	0,0%	0,00 kg	Contenido de agregados=	70%

MATERIALES	PROCEDENCIA	PESO ESPECIFICO O (Kg/m <sup>3</sup> )	HUMEDAD (%)	ABSORCIÓN N (%)	PESO SECO (Kg/m <sup>3</sup> )	VOLUMEN	PESO SSS (Kg/m <sup>3</sup> )	CORRECCIÓN POR HUMEDAD	TANDA DE PRUEBA	
									DOSIFICACIÓN	UNIDAD
CEMENTO	IP - Yura	2820,00	----	----	565,00	0,200	565,00	565,00	80,48	kg
AGUA	Potable	1000,00	----	----	141,25	0,141	141,25	150,55	21,44	L
AIRE	----	----	----	----	----	0,015	----	----	----	----
AGREGADO FINO	Arunta	2540,00	1,00	1,67	725,70	0,286	725,70	732,96	104,40	kg
AGREGADO GRUESO	Arunta	2660,00	0,30	0,78	923,62	0,347	923,62	926,39	131,95	kg
VZCOCRETE 20HE	sika	1080,00	----	----	11,30	0,010	11,30	11,30	1,61	kg
SIKA FUME	sika	2200,00	----	----	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	kg
SIKA STABILIZER PE	sika	1000,00	----	----	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	kg
TOTAL	----	----	----	----	2366,87	1,000	----	2386,19	339,88	kg/m <sup>3</sup>

Ensayos de control:

Temperatura (°C)	SLUMP (pulg)	Contenido de aire (%)	Rendimiento	PU Teórico	PU inicial	PU real	MUESTREO		
6,00	11,00	1,50	0,99	2386,19	2366,87	2409,00	N° Probetas:	15,00	und



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**DISEÑO DEL CONCRETO CON ADITIVO MÁS 10% DE MICROSÍLICE**

PROYECTO: TESIS "FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CAR USANDO ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA"

TESISTA: BACH. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI FECHA: 30/05/2015 CODIGO: DCMS10-2014

Relación a/mc= 0,25 N° de muestras= 16,00 und Resistencia Base:  
Relación AF/AG= 44% 56% Volumen de molde= 0,0080 m3  $f'_c = 500 \text{ kg / cm}^2$   
Diseño base: CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA Volumen de tandada= 0,1424 m3

Cemento total = 565,00 kg VIZCOCRETE 20HE = 2,0% 11,30 kg Material cementante= 565,00 kg  
Cont. de aridos = 0,607 m3 SIKAFUME = 10,0% 56,50 kg Relacion a/mc final= 0,24  
Peso de aridos = 1 582,39 kg SIKASTABILIZER PE= 0,0% 0,00 kg Contenido de agregados= 67%

MATERIALES	PROCEDENCIA	PESO ESPECÍFICO (Kg/m <sup>3</sup> )	HUMEDAD (%)	ABSORCIÓN (%)	PESO SECO (Kg/m <sup>3</sup> )	VOLUMEN	PESO SSS (Kg/m <sup>3</sup> )	CORRECCIÓN POR HUMEDAD	TANDA DE PRUEBA	
									DOSIFICACIÓN	UNIDAD
CEMENTO	IP - Yura	2820,00	----	----	565,00	0,200	565,00	565,00	80,48	kg
AGUA	Potable	1000,00	----	----	141,25	0,141	141,25	150,17	21,39	L
AIRE	----	----	----	----	----	0,015	----	----	----	----
AGREGADO FINO	Arunta	2540,00	1,00	1,67	696,25	0,274	696,25	703,22	100,16	kg
AGREGADO GRUESO	Arunta	2660,00	0,30	0,78	886,14	0,333	886,14	888,80	126,60	kg
VIZCOCRETE 20HE	sika	1080,00	----	----	11,30	0,010	11,30	11,30	1,61	kg
SIKA FUME	sika	2200,00	----	----	56,50	0,026	56,50	56,50	8,05	kg
SIKA STABILIZER PE	sika	1000,00	----	----	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	kg
TOTAL	----	----	----	----	2356,44	1,000	----	2374,98	338,29	kg/m <sup>3</sup>

Ensayos de control:

Temperatura (°C)	SLUMP (pulg)	Contenido de aire (%)	Rendimiento	PU Teórico	PU inicial	PU real	MUESTREO		
6,00	10,25	1,50	0,99	2374,98	2356,44	2403,00	N° Probetas:	15,00	und



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**DISEÑO DEL CONCRETO CON ADITIVO MÁS 12.5% DE MICROSÍLICE**

PROYECTO: TESIS "FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CAR USANDO ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA"

TESISTA: BACH. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI

FECHA: 30/05/2015

CODIGO: DCMS12.5-2014

Relación a/mc=	0,25	N° de muestras=	16,00 und	Resistencia Base:
Relación AF/AG=	44%      56%	Volumen de molde=	0,0080 m3	$f'_c = 500 \text{ kg / cm}^2$
Diseño base:	CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA	Volumen de tandada=	0,1424 m3	

Cemento total	=	565,00 kg	VIZCOCRETE 20HE =	2,0%	11,30 kg	Material cementante=	565,00 kg
Cont. de aridos	=	0,601 m3	SIKA FUME =	12,5%	70,63 kg	Relacion a/mc final=	0,23
Peso de aridos	=	1 565,66 kg	SIKA STABILIZER PE=	0,0%	0,00 kg	Contenido de agregados=	66%

MATERIALES	PROCEDENCIA	PESO ESPECIFICO O (Kg/m3)	HUMEDAD (%)	ABSORCIÓN N (%)	PESO SECO (Kg/m3)	VOLUMEN	PESO SSS (Kg/m3)	CORRECCIÓN POR HUMEDAD	TANDA DE PRUEBA	
									DOSIFICACIÓN N	UNIDAD
CEMENTO	IP - Yura	2820,00	----	----	565,00	0,200	565,00	565,00	80,48	kg
AGUA	Potable	1000,00	----	----	141,25	0,141	141,25	150,07	21,38	L
AIRE	----	----	----	----	----	0,015	----	----	----	----
AGREGADO FINO	Arunta	2540,00	1,00	1,67	688,89	0,271	688,89	695,78	99,11	kg
AGREGADO GRUESO	Arunta	2660,00	0,30	0,78	876,77	0,330	876,77	879,40	125,26	kg
VIZCOCRETE 20HE	sika	1080,00	----	----	11,30	0,010	11,30	11,30	1,61	kg
SIKA FUME	sika	2200,00	----	----	70,63	0,032	70,63	70,63	10,06	kg
SIKA STABILIZER PE	sika	1000,00	----	----	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	kg
<b>TOTAL</b>	----	----	----	----	<b>2353,84</b>	<b>1,000</b>	----	<b>2372,18</b>	<b>337,89</b>	<b>kg/m3</b>

Ensayos de control:

Temperatura (°C)	SLUMP (pulg)	Contenido de aire (%)	Rendimiento	PU Teórico	PU inicial	PU real	MUESTREO		
6,00	10,50	1,50	0,98	2372,18	2353,84	2427,00	N° Probetas:	15,00	und



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**DISEÑO DEL CONCRETO CON ADITIVO MÁS 15% DE MICROSÍLICE**

PROYECTO: TESIS "FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CAR USANDO ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA"

TESISTA: BACH. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI      FECHA: 30/05/2015      CODIGO: DCMS15-2014

Relación a/mc=	0,25	N° de muestras=	16,00 und	Resistencia Base:
Relación AF/AG=	44%      56%	Volumen de molde=	0,0080 m3	$f'_c = 500 \text{ kg / cm}^2$
Diseño base:	CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA	Volumen de tandada=	0,1424 m3	

Cemento total	=	565,00 kg	VIZCOCRETE 20HE =	2,0%	11,30	kg	Material cementante=	565,00	kg
Cont. de aridos	=	0,594 m3	SIKA FUME =	15,0%	84,75	kg	Relacion a/mc final=	0,23	
Peso de aridos	=	1 548,93 kg	SIKA STABILIZER PE=	0,0%	0,00	kg	Contenido de agregados=	66%	

MATERIALES	PROCEDENCIA	PESO ESPECIFICO O (Kg/m3)	HUMEDAD (%)	ABSORCIÓN N (%)	PESO SECO (Kg/m3)	VOLUMEN	PESO SSS (Kg/m3)	CORRECCIÓN POR HUMEDAD	TANDA DE PRUEBA	
									DOSIFICACIÓN	UNIDAD
CEMENTO	IP - Yura	2820,00	----	----	565,00	0,200	565,00	565,00	80,48	kg
AGUA	Potable	1000,00	----	----	141,25	0,141	141,25	149,98	21,36	L
AIRE	----	----	----	----	----	0,015	----	----	----	----
AGREGADO FINO	Arunta	2540,00	1,00	1,67	681,53	0,268	681,53	688,35	98,05	kg
AGREGADO GRUESO	Arunta	2660,00	0,30	0,78	867,40	0,326	867,40	870,00	123,92	kg
VIZCOCRETE 20HE	sika	1080,00	----	----	11,30	0,010	11,30	11,30	1,61	kg
SIKA FUME	sika	2200,00	----	----	84,75	0,039	84,75	84,75	12,07	kg
SIKA STABILIZER PE	sika	1000,00	----	----	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	kg
TOTAL	----	----	----	----	2351,23	1,000	----	2369,38	337,49	kg/m3

Ensayos de control:

Temperatura (°C)	SLUMP (pulg)	Contenido de aire (%)	Rendimiento	PU Teórico	PU inicial	PU real	MUESTREO		
6,00	10,75	1,50	0,98	2369,38	2351,23	2429,00	N° Probetas:	15,00	und



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**DISEÑO DEL CONCRETO CON ADITIVO MÁS 1.00% DE NANOSÍLICE**

**PROYECTO:** TESIS "FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CAR USANDO ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA"

**TESISTA:** BACH. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI **FECHA:** 30/05/2015 **CODIGO:** DCNS1.00-2014

Relación a/mc=	0,25	N° de muestras=	16,00 und	Resistencia Base:
Relación AF/AG=	44%      56%	Volumen de molde=	0,0080 m <sup>3</sup>	$f'_c = 500 \text{ kg / cm}^2$
Diseño base:	CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA	Volumen de tandada=	0,1424 m <sup>3</sup>	

Cemento total	=	565,00 kg	VIZCOCRETE 20HE	=	2,0%	11,30	kg	Material cementante=	565,00 kg
Cont. de aridos	=	0,627 m <sup>3</sup>	SIKA FUME	=	0,0%	0,00	kg	Relacion a/mc final=	0,26
Peso de aridos	=	1 634,59 kg	SIKA STABILIZER PE	=	1,0%	5,65	kg	Contenido de agregados=	69%

MATERIALES	PROCEDENCIA	PESO ESPECIFICO O (Kg/m <sup>3</sup> )	HUMEDAD (%)	ABSORCIÓN N (%)	PESO SECO (Kg/m <sup>3</sup> )	VOLUMEN	PESO SSS (Kg/m <sup>3</sup> )	CORRECCIÓN POR HUMEDAD	TANDA DE PRUEBA	
									DOSIFICACIÓN N	UNIDAD
CEMENTO	IP - Yura	2820,00	----	----	565,00	0,200	565,00	565,00	80,48	kg
AGUA	Potable	1000,00	----	----	141,25	0,141	141,25	150,46	21,43	L
AIRE	----	----	----	----	----	0,015	----	----	----	----
AGREGADO FINO	Arunta	2540,00	1,00	1,67	719,22	0,283	719,22	726,41	103,47	kg
AGREGADO GRUESO	Arunta	2660,00	0,30	0,78	915,37	0,344	915,37	918,12	130,77	kg
VIZCOCRETE 20HE	sika	1080,00	----	----	11,30	0,010	11,30	11,30	1,61	kg
SIKA FUME	sika	2200,00	----	----	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	kg
SIKA STABILIZER PE	sika	1000,00	----	----	5,65	0,006	5,65	5,65	0,80	kg
<b>TOTAL</b>	----	----	----	----	2357,79	1,000	----	2376,94	338,57	kg/m <sup>3</sup>

Ensayos de control:

Temperatura (°C)	SLUMP (pulg)	Contenido de aire (%)	Rendimiento	PU Teórico	PU inicial	PU real	MUESTREO		
5,00	11,00	1,50	0,97	2376,94	2357,79	2441,00	N° Probetas:	15,00	und



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**DISEÑO DEL CONCRETO CON ADITIVO MÁS 1.25% DE NANOSÍLICE**

PROYECTO: TESIS "FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CAR USANDO ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA"

TESISTA: BACH. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI

FECHA: 30/05/2015

CODIGO: DCNS1.25-2014

Relación a/mc=	0,25	N° de muestras=	16,00 und	Resistencia Base:
Relación AF/AG=	44%      56%	Volumen de molde=	0,0080 m <sup>3</sup>	$f'_c = 500 \text{ kg} / \text{cm}^2$
Diseño base:	CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA	Volumen de tandada=	0,1424 m <sup>3</sup>	

Cemento total	=	565,00 kg	VIZCOCRETE 20HE	=	2,0%	11,30 kg	Material cementante=	565,00 kg
Cont. de aridos	=	0,626 m <sup>3</sup>	SIKA FUME	=	0,0%	0,00 kg	Relacion a/mc final=	0,26
Peso de aridos	=	1 630,91 kg	SIKA STABILIZER PE	=	1,25%	7,06 kg	Contenido de agregados=	69%

MATERIALES	PROCEDENCIA	PESO ESPECIFICO O (Kg/m3)	HUMEDAD (%)	ABSORCIÓN N (%)	PESO SECO (Kg/m3)	VOLUMEN	PESO SSS (Kg/m3)	CORRECCIÓN POR HUMEDAD	TANDA DE PRUEBA	
									DOSIFICACIÓN N	UNIDAD
CEMENTO	IP - Yura	2820,00	----	----	565,00	0,200	565,00	565,00	80,48	kg
AGUA	Potable	1000,00	----	----	141,25	0,141	141,25	150,44	21,43	L
AIRE	----	----	----	----	----	0,015	----	----	----	----
AGREGADO FINO	Arunta	2540,00	1,00	1,67	717,60	0,283	717,60	724,78	103,24	kg
AGREGADO GRUESO	Arunta	2660,00	0,30	0,78	913,31	0,343	913,31	916,05	130,48	kg
VIZCOCRETE 20HE	sika	1080,00	----	----	11,30	0,010	11,30	11,30	1,61	kg
SIKA FUME	sika	2200,00	----	----	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	kg
SIKA STABILIZER PE	sika	1000,00	----	----	7,06	0,007	7,06	7,06	1,01	kg
<b>TOTAL</b>	----	----	----	----	<b>2355,52</b>	<b>1,000</b>	----	<b>2374,63</b>	<b>338,24</b>	<b>kg/m3</b>

Ensayos de control:

Temperatura (°C)	SLUMP (pulg)	Contenido de aire (%)	Rendimiento	PU Teórico	PU inicial	PU real	MUESTREO		
5,00	10,50	1,50	0,97	2374,63	2355,52	2442,00	N° Probetas:	15,00	und



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**DISEÑO DEL CONCRETO CON ADITIVO MÁS 1.50% DE NANOSÍLICE**

PROYECTO: TESIS "FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CAR USANDO ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA"

TESISTA: BACH. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI      FECHA: 30/05/2015      CODIGO: **DCNS1.50-2014**

Relación a/mc= 0,25      N° de muestras= 16,00 und      Resistencia Base:  
 Relación AF/AG= 44%      56%      Volumen de molde= 0,0080 m3       $f'_c = 500 \text{ kg} / \text{cm}^2$   
 Diseño base: CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA      Volumen de tandada= 0,1424 m3

Cemento total = 565,00 kg      VIZCOCRETE 20HE = 2,0%      11,30 kg      Material cementante= 565,00 kg  
 Cont. de aridos = 0,624 m3      SIKAFUME = 0,0%      0,00 kg      Relacion a/mc final= 0,26  
 Peso de aridos = 1 627,23 kg      SIKASTABILIZER PE= 1,50%      8,48 kg      Contenido de agregados= 69%

MATERIALES	PROCEDENCIA	PESO ESPECIFICO O (Kg/m3)	HUMEDAD (%)	ABSORCIÓN N (%)	PESO SECO (Kg/m3)	VOLUMEN	PESO SSS (Kg/m3)	CORRECCIÓN POR HUMEDAD	TANDA DE PRUEBA	
									DOSIFICACIÓN N	UNIDAD
CEMENTO	IP - Yura	2820,00	----	----	565,00	0,200	565,00	565,00	80,48	kg
AGUA	Potable	1000,00	----	----	141,25	0,141	141,25	150,42	21,43	L
AIRE	----	----	----	----	----	0,015	----	----	----	----
AGREGADO FINO	Arunta	2540,00	1,00	1,67	715,98	0,282	715,98	723,14	103,00	kg
AGREGADO GRUESO	Arunta	2660,00	0,30	0,78	911,25	0,343	911,25	913,98	130,19	kg
VIZCOCRETE 20HE	sika	1080,00	----	----	11,30	0,010	11,30	11,30	1,61	kg
SIKA FUME	sika	2200,00	----	----	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	kg
SIKA STABILIZER PE	sika	1000,00	----	----	8,48	0,008	8,48	8,48	1,21	kg
TOTAL	----	----	----	----	2353,26	1,000	----	2372,32	337,91	kg/m3

Ensayos de control:

Temperatura (°C)	SLUMP (pulg)	Contenido de aire (%)	Rendimiento	PU Teórico	PU inicial	PU real	MUESTREO		
5,00	10,50	1,50	0,98	2372,32	2353,26	2424,00	N° Probetas:	15,00	und



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**DISEÑO DEL CONCRETO CON ADITIVO MÁS 5% DE MICROSÍLICE Y 0.50% DE NANOSÍLICE**

PROYECTO: TESIS "FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CAR USANDO ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA"  
 TESISTA: BACH. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI FECHA: 30/05/2015 CODIGO: DC5.OMS0.5NS - 2014

Relación a/mc= 0,25 N° de muestras= 16,00 und Resistencia Base:  
 Relación AF/AG= 44% 56% Volumen de molde= 0,0080 m3  $f'_c = 500 \text{ kg} / \text{cm}^2$   
 Diseño base: CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA Volumen de tandada= 0,1424 m3

Cemento total = 565,00 kg VIZCOCRETE 20HE = 2,0% 11,30 kg Material cementante= 565,00 kg  
 Cont. de aridos = 0,617 m3 SIKAFUME = 5,0% 28,25 kg Relacion a/mc final= 0,25  
 Peso de aridos = 1 608,49 kg SIKASTABILIZER PE= 0,50% 2,83 kg Contenido de agregados= 68%

MATERIALES	PROCEDENCIA	PESO ESPECIFICO O (Kg/m3)	HUMEDAD (%)	ABSORCIÓN N (%)	PESO SECO (Kg/m3)	VOLUMEN	PESO SSS (Kg/m3)	CORRECCIÓN POR HUMEDAD	TANDA DE PRUEBA	
									DOSIFICACIÓN	UNIDAD
CEMENTO	IP - Yura	2820,00	----	----	565,00	0,200	565,00	565,00	80,48	kg
AGUA	Potable	1000,00	----	----	141,25	0,141	141,25	150,32	21,41	L
AIRE	----	----	----	----	----	0,015	----	----	----	----
AGREGADO FINO	Arunta	2540,00	1,00	1,67	707,74	0,279	707,74	714,81	101,82	kg
AGREGADO GRUESO	Arunta	2660,00	0,30	0,78	900,76	0,339	900,76	903,46	128,69	kg
VIZCOCRETE 20HE	sika	1080,00	----	----	11,30	0,010	11,30	11,30	1,61	kg
SIKA FUME	sika	2200,00	----	----	28,25	0,013	28,25	28,25	4,02	kg
SIKA STABILIZER PE	sika	1000,00	----	----	2,83	0,003	2,83	2,83	0,40	kg
TOTAL	----	----	----	----	2357,12	1,000	----	2375,96	338,43	kg/m3

Ensayos de control:

Temperatura (°C)	SLUMP (pulg)	Contenido de aire (%)	Rendimiento	PU Teórico	PU inicial	PU real	MUESTREO		
6,00	10,25	1,50	0,98	2375,96	2357,12	2420,00	N° Probetas:	15,00	und



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**DISEÑO DEL CONCRETO CON ADITIVO MÁS 7.5% DE MICROSÍLICE Y 1.0% DE NANOSÍLICE**

PROYECTO: TESIS "FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CAR USANDO ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA"  
 TESISTA: BACH. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI FECHA: 30/05/2015 CODIGO: DC7.5MS1.0NS - 2014

Relación a/mc= 0,25 N° de muestras= 16,00 und Resistencia Base:  
 Relación AF/AG= 44% 56% Volumen de molde= 0,0080 m3  $f'_c = 500 \text{ kg / cm}^2$   
 Diseño base: CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA Volumen de tandada= 0,1424 m3

Cemento total = 565,00 kg VIZCOCRETE 20HE = 2,0% 11,30 kg Material cementante= 565,00 kg  
 Cont. de aridos = 0,608 m3 SIKAFUME = 7,5% 42,38 kg Relacion a/mc final= 0,24  
 Peso de aridos = 1 584,40 kg SIKASTABILIZER PE= 1,00% 5,65 kg Contenido de agregados= 67%

MATERIALES	PROCEDENCIA	PESO ESPECIFICO O (Kg/m3)	HUMEDAD (%)	ABSORCIÓN N (%)	PESO SECO (Kg/m3)	VOLUMEN	PESO SSS (Kg/m3)	CORRECCIÓN POR HUMEDAD	TANDA DE PRUEBA	
									DOSIFICACIÓN N	UNIDAD
CEMENTO	IP - Yura	2820,00	----	----	565,00	0,200	565,00	565,00	80,48	kg
AGUA	Potable	1000,00	----	----	141,25	0,141	141,25	150,18	21,39	L
AIRE	----	----	----	----	----	0,015	----	----	----	----
AGREGADO FINO	Arunta	2540,00	1,00	1,67	697,14	0,274	697,14	704,11	100,29	kg
AGREGADO GRUESO	Arunta	2660,00	0,30	0,78	887,26	0,334	887,26	889,93	126,76	kg
VIZCOCRETE 20HE	sika	1080,00	----	----	11,30	0,010	11,30	11,30	1,61	kg
SIKA FUME	sika	2200,00	----	----	42,38	0,019	42,38	42,38	6,04	kg
SIKA STABILIZER PE	sika	1000,00	----	----	5,65	0,006	5,65	5,65	0,80	kg
TOTAL	----	----	----	----	2349,98	1,000	----	2368,54	337,37	kg/m3

Ensayos de control:

Temperatura (°C)	SLUMP (pulg)	Contenido de aire (%)	Rendimiento	PU Teórico	PU inicial	PU real	MUESTREO		
6,00	11,00	1,50	0,97	2368,54	2349,98	2442,00	N° Probetas:	15,00	und



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**DISEÑO DEL CONCRETO CON ADITIVO MÁS 10% DE MICROSÍLICE Y 1.5% DE NANOSÍLICE**

PROYECTO: TESIS "FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CAR USANDO ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA"

TESISTA: BACH. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI

FECHA: 30/05/2015

CODIGO: DC10MS1.5NS - 2014

Relación a/mc=	0,25	N° de muestras=	16,00 und	Resistencia Base:
Relación AF/AG=	44%      56%	Volumen de molde=	0,0080 m <sup>3</sup>	$f'_c = 500 \text{ kg} / \text{cm}^2$
Diseño base:	CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA	Volumen de tandada=	0,1424 m <sup>3</sup>	

Cemento total	=	565,00 kg	VIZCOCRETE 20HE =	2,0%	11,30 kg	Material cementante=	565,00 kg
Cont. de aridos	=	0,599 m <sup>3</sup>	SIKA FUME =	10,0%	56,50 kg	Relacion a/mc final=	0,23
Peso de aridos	=	1 560,31 kg	SIKA STABILIZER PE=	1,50%	8,48 kg	Contenido de agregados=	66%

MATERIALES	PROCEDENCIA	PESO ESPECIFICO O (Kg/m3)	HUMEDAD (%)	ABSORCIÓN N (%)	PESO SECO (Kg/m3)	VOLUMEN	PESO SSS (Kg/m3)	CORRECCIÓN POR HUMEDAD	TANDA DE PRUEBA	
									DOSIFICACIÓN	UNIDAD
CEMENTO	IP - Yura	2820,00	----	----	565,00	0,200	565,00	565,00	80,48	kg
AGUA	Potable	1000,00	----	----	141,25	0,141	141,25	150,04	21,37	L
AIRE	----	----	----	----	----	0,015	----	----	----	----
AGREGADO FINO	Arunta	2540,00	1,00	1,67	686,54	0,270	686,54	693,40	98,77	kg
AGREGADO GRUESO	Arunta	2660,00	0,30	0,78	873,77	0,328	873,77	876,39	124,83	kg
VIZCOCRETE 20HE	sika	1080,00	----	----	11,30	0,010	11,30	11,30	1,61	kg
SIKA FUME	sika	2200,00	----	----	56,50	0,026	56,50	56,50	8,05	kg
SIKA STABILIZER PE	sika	1000,00	----	----	8,48	0,008	8,48	8,48	1,21	kg
<b>TOTAL</b>	----	----	----	----	<b>2342,83</b>	<b>1,000</b>	----	<b>2361,11</b>	<b>336,31</b>	<b>kg/m3</b>

Ensayos de control:

Temperatura (°C)	SLUMP (pulg)	Contenido de aire (%)	Rendimiento	PU Teórico	PU inicial	PU real	MUESTREO		
6,00	10,50	1,50	0,97	2361,11	2342,83	2432,00	N° Probetas:	15,00	und

*ANEXO 04:*  
*CERTIFICACIONES DE ENSAYO DE*  
*MATERIALES.*



MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE TACNA  
GERENCIA DE PRODUCCIÓN DE BIENES Y SERVICIOS  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTOS

**ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO**  
**NORMA ASTM C 128 Y ASTM C 127**

**PROYECTO** : FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL CAR CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA.  
**DOMICILIO LEGAL** : UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN –TACNA.  
**SOLICITANTE** : Bach. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI.  
**CÓDICO** : ARU 001.PE  
**MUESTRA** : ARUNTA.  
**FECHA** : 29 DE MAYO DEL 2014.

AGREGADO FINO – NORMA NTP 400.022				
MUESTRAS DE ENSAYO	M-1	M-2	M-3	unidad
Peso de la muestra S.S.S.		0.5000		kg
Peso del balón seco	0.1590	0.1605	0.1605	kg
Peso S.S.S. + balón	0.6590	0.6605	0.6605	kg
Peso S.S.S. + balón + agua	0.9675	0.9575	0.9535	kg
Peso del agua	0.3085	0.2970	0.2930	kg
Volumen del balón	500.00	500.00	500.00	cm <sup>3</sup>
<b>peso específico</b>	<b>2.61</b>	<b>2.46</b>	<b>2.42</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>peso específico saturado superficialmente seco (PESSS)</b>			<b>2.54</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>

AGREGADO GRUESO – NORMA NTP 400.021				
MUESTRAS DE ENSAYO	M-1	M-2	M-3	unidad
Peso de la muestra S.S.S.	2.0000	2.0000	2.0000	kg
Peso de la canastilla en el agua.		0.1340		kg
Peso de la muestra S.S.S. + la canastilla en el agua	1.3780	1.3830	1.3830	kg
Peso de la muestra S.S.S. en el agua.	1.2440	1.3830	1.3830	kg
Peso S.S.S. en el agua.	1.2440	1.2430	1.2440	kg
<b>peso específico</b>	<b>2.65</b>	<b>2.64</b>	<b>2.65</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>peso específico saturado superficialmente seco (PESSS)</b>			<b>2.66</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>



V°B°

Ing. Peter Laquita Aduvire  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
CONCRETO Y ASFALTO - MPT

Elaborado Por:

Bach. José Manuel Aguilar Chanini  
TESISTA



MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE TACNA  
GERENCIA DE PRODUCCIÓN DE BIENES Y SERVICIOS  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTOS

**ENSAYO DE PORCENTAJE DE ABSORCIÓN**  
**NORMA ASTM C 128 Y ASTM C 127**

**PROYECTO** : FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL CAR CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA.  
**DOMICILIO LEGAL** : UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN -TACNA.  
**SOLICITANTE** : Bach. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI.  
**CÓDICO** : ARU 002.PA  
**MUESTRA** : ARUNTA.  
**FECHA** : 29 DE MAYO DEL 2014.

AGREGADO FINO – NORMA NTP 400.022				
	M-1	M-2	M-3	unidad
Peso de la muestra S.S.S.		0.5000		kg
peso de la tara	0.5700	0.5700	0.5700	kg
peso de la tara + muestra seca	1.0650	1.0600	1.0600	kg
peso de la muestra seca	0.4950	0.4900	0.4900	kg
<b>Absorción</b>			<b>1.67</b>	<b>%</b>

AGREGADO GRUESO – NORMA NTP 400.021				
	M-1	M-2	M-3	unidad
Peso de la muestra S.S.S.		3.0000		kg
Peso de la tara.		0.5700		kg
Peso de la muestra + muestra seca.	3.5450	3.5450	3.5500	kg
Peso de la muestra seca.	2.9750	2.9750	2.9800	kg
<b>Absorción</b>			<b>0.78</b>	<b>%</b>



V°B°

Ing. Peter Laquita Aduvire  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
CONCRETO Y ASFALTO - MPT

Elaborado Por:

Bach. José Manuel Aguilar Chanini  
TESISTA

**ENSAYO DE PESO UNITARIO**  
**NORMA ASTM C 29-97**

**PROYECTO** : FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL CAR CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA.  
**DOMICILIO LEGAL** : UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN –TACNA.  
**SOLICITANTE** : Bach. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI.  
**CÓDICO** : ARU 003.PU  
**MUESTRA** : ARUNTA.  
**FECHA** : 29 DE MAYO DEL 2014.

AGREGADO FINO – NORMA NTP 400.017				
MUESTRAS	M-1	M-2	M-3	unidad
peso del recipiente	5.48			Kg
volumen del recipiente	0.01426			m3
peso del material+tara sin compactar	28.63	28.65	28.66	Kg
peso del material suelto	23.15	23.16	23.18	Kg
peso del material + tara compactado	30.11	30.12	30.22	Kg
peso del material compactado	24.63	24.63	24.74	Kg
<b>peso unitario suelto</b>	<b>1624.31</b>			<b>kg/m3</b>
<b>peso unitario compactado</b>	<b>1729.71</b>			<b>kg/m3</b>

AGREGADO FINO – NORMA NTP 400.017				
MUESTRAS	M-1	M-2	M-3	unidad
peso del recipiente	5.48			Kg
volumen del recipiente	0.01426			m3
peso del material + tara sin compactar	25.68	25.54	25.49	Kg
peso del material suelto	20.20	20.05	20.00	Kg
peso del material + tara compactado	27.07	27.16	27.18	Kg
peso del material compactado	21.59	21.67	21.69	Kg
<b>peso unitario suelto</b>	<b>1,408.42</b>			<b>kg/m3</b>
<b>peso unitario compactado</b>	<b>1,518.35</b>			<b>kg/m3</b>



V°B°

Ing. Peter Laquita Aduvire  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
CONCRETO Y ASFALTO - MPT

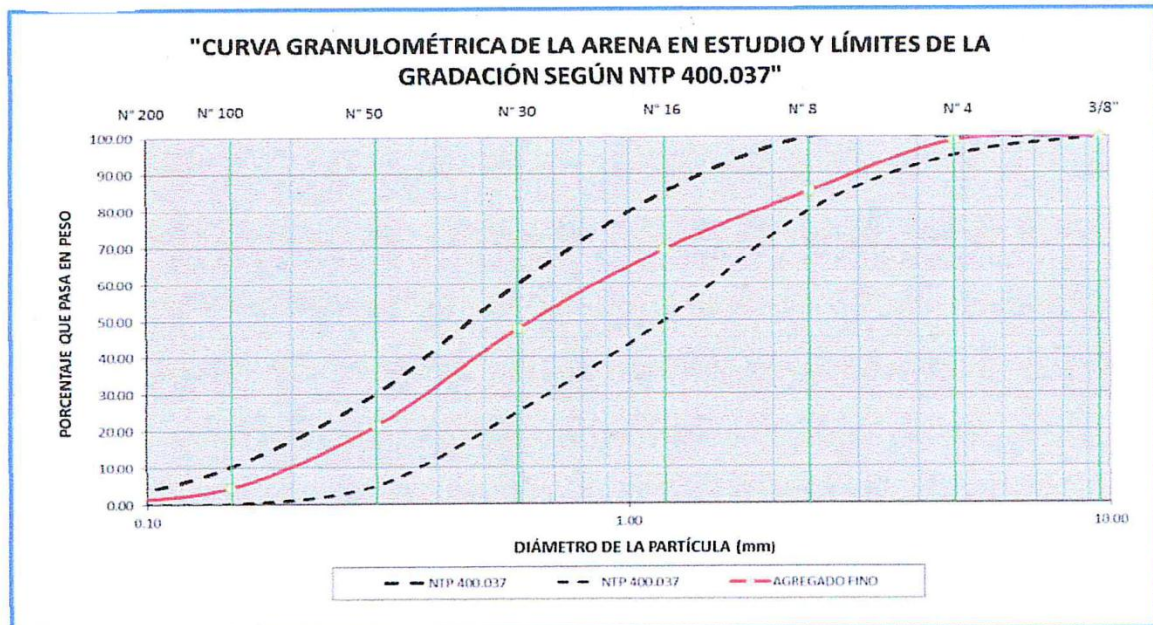
Elaborado Por:

Bach. José Manuel Aguilar Chanini  
TESISTA

**ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**  
**NORMA ASTM C 136.**

**PROYECTO** : FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL CAR CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA.  
**DOMICILIO LEGAL** : UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN –TACNA.  
**SOLICITANTE** : Bach. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI.  
**CÓDIGO** : ARU 004.AG – AGREGADO USADO.  
**MUESTRA** : ARUNTA.  
**FECHA** : 29 DE MAYO DEL 2014.

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES	
3/8"	9.525	0.0000	0.0000	0.0000	100.00	100.00	100.00
1/4"	6.350	-	-	-	-	-	-
N° 4	4.760	0.0130	1.0429	1.0429	98.96	95.00	100.00
N° 8	2.380	0.1717	13.7719	14.8148	85.19	80.00	100.00
N° 10	2.000	-	-	-	-	-	-
N° 16	1.190	0.1965	15.7641	30.5790	69.42	50.00	85.00
N° 20	0.840	-	-	-	-	-	-
N° 30	0.590	0.2720	21.8211	52.4001	47.60	25.00	60.00
N° 40	0.420	-	-	-	-	-	-
N° 50	0.300	0.3315	26.5945	78.9945	21.01	10.00	30.00
N° 60	0.250	-	-	-	-	-	-
N° 80	0.180	-	-	-	-	-	-
N° 100	0.149	0.2110	16.9274	95.9219	4.08	2.00	10.00
N° 200	0.074	0.0508	4.0781	100.0000	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>		<b>1.2465</b>					



V°B°

Elaborado Por:



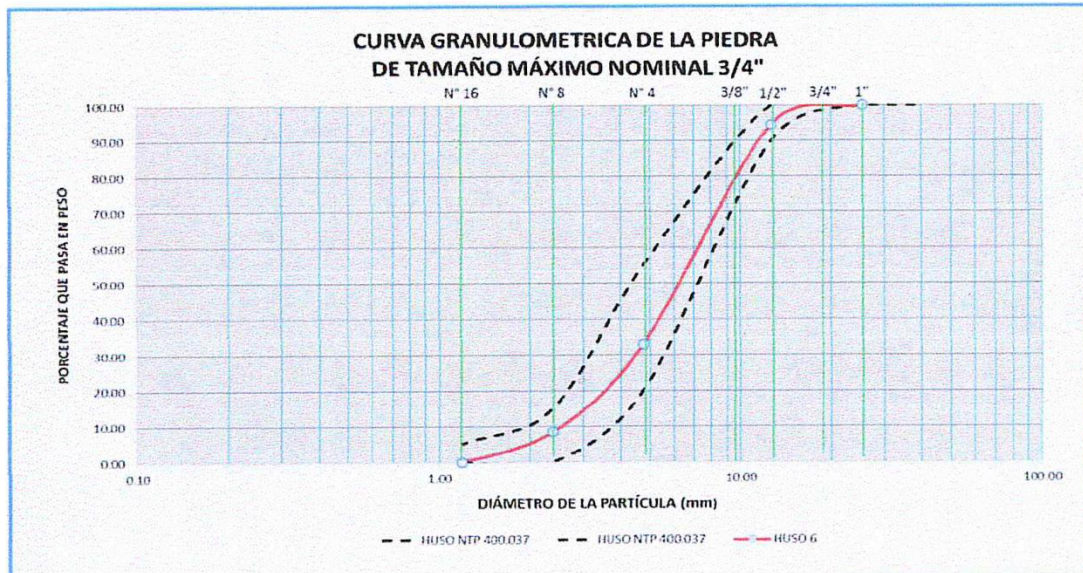
Ing. Peter Laquita Aduvire  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
CONCRETO Y ASFALTO - MPT

Bach. José Manuel Aguilar Chanini  
TESISTA

**ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**  
**NORMA ASTM C 136**

**PROYECTO** : FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL CAR CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA.  
**DOMICILIO LEGAL** : UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN –TACNA.  
**SOLICITANTE** : Bach. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI.  
**CÓDIGO** : ARU 005.AG – AGREGADO USADO.  
**MUESTRA** : ARUNTA.  
**FECHA** : 29 DE MAYO DEL 2014.

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES HUSO 6	
3"	76.200	-	-	-	-	-	-
2 1/2"	63.500	-	-	-	-	-	-
2"	50.600	-	-	-	-	-	-
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
3/4"	19.050	0.40	5.54	5.54	94.46	90.00	100.00
1/2"	12.700	4.47	61.40	66.94	33.06	20.00	55.00
3/8"	9.525	1.79	24.60	91.55	8.45	0.00	15.00
1/4"	6.350	-	-	-	-	-	-
N° 4	4.760	0.61	8.36	99.91	0.09	0.00	5.00
N° 8	2.380	0.01	0.09	100.00	0.00	0.00	0.00
N° 10	2.000	-	-	-	-	-	-
N° 16	1.190	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
N° 30	0.590	-	-	-	-	-	-
N° 50	0.300	-	-	-	-	-	-
N° 100	0.149	-	-	-	-	-	-
N° 200	0.074	-	-	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>		<b>7.28</b>					



V°B°

Ing. Peter Laquita Aduvire  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
CONCRETO Y ASFALTO - MPT

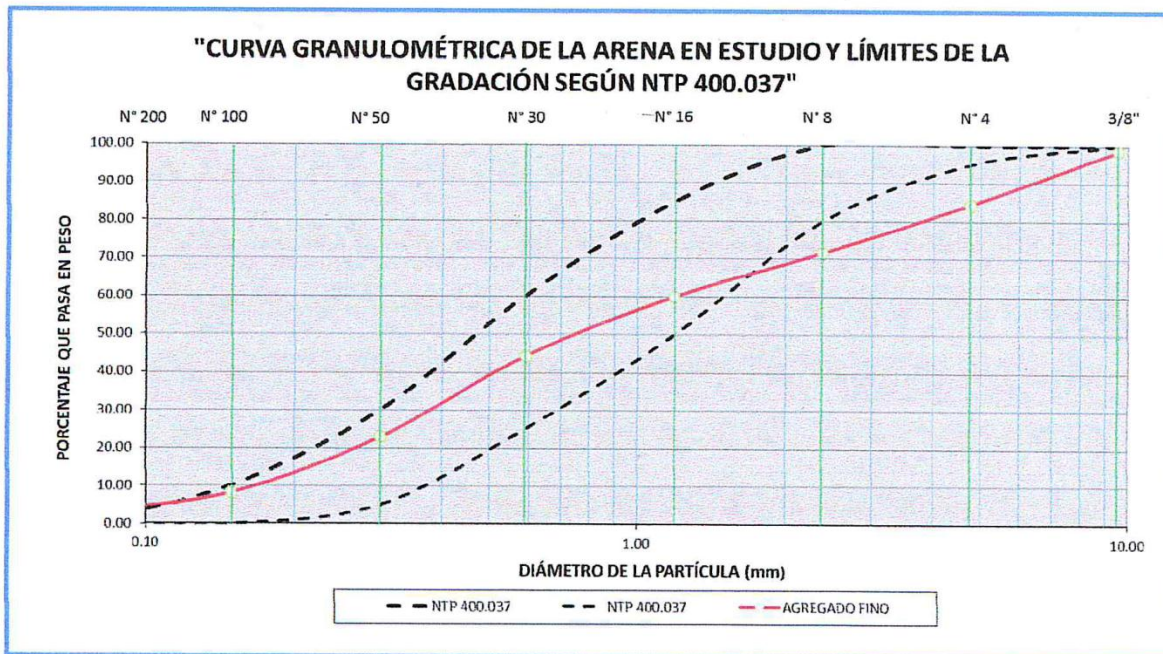
Elaborado Por:

Bach. José Manuel Aguilar Chanini  
TESISTA

**ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**  
NORMA ASTM C 136

**PROYECTO** : FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL CAR CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA.  
**DOMICILIO LEGAL** : UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN –TACNA.  
**SOLICITANTE** : Bach. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI.  
**CÓDIGO** : ARU 006.AG – MUESTRA CANTERA  
**MUESTRA** : ARUNTA.  
**FECHA** : 29 DE MAYO DEL 2014.

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES	
3/8"	9.525	0.0000	0.0000	0.0000	100.00	100.00	100.00
1/4"	6.350	-	-	-	-	-	-
N° 4	4.760	0.1333	14.7601	14.7601	85.24	95.00	100.00
N° 8	2.380	0.1200	13.2841	28.0443	71.96	80.00	100.00
N° 10	2.000	-	-	-	-	-	-
N° 16	1.190	0.1100	12.1771	40.2214	59.78	50.00	85.00
N° 20	0.840	-	-	-	-	-	-
N° 30	0.590	0.1483	16.4207	56.6421	43.36	25.00	60.00
N° 40	0.420	-	-	-	-	-	-
N° 50	0.300	0.2017	22.3247	78.9668	21.03	10.00	30.00
N° 60	0.250	-	-	-	-	-	-
N° 80	0.180	-	-	-	-	-	-
N° 100	0.149	0.1383	15.3137	94.2804	5.72	2.00	10.00
N° 200	0.074	0.0517	5.7196	100.0000	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>		<b>0.9033</b>					



V°B°

Ing. Peter Laquita Aduvire  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
CONCRETO Y ASFALTO - MPT

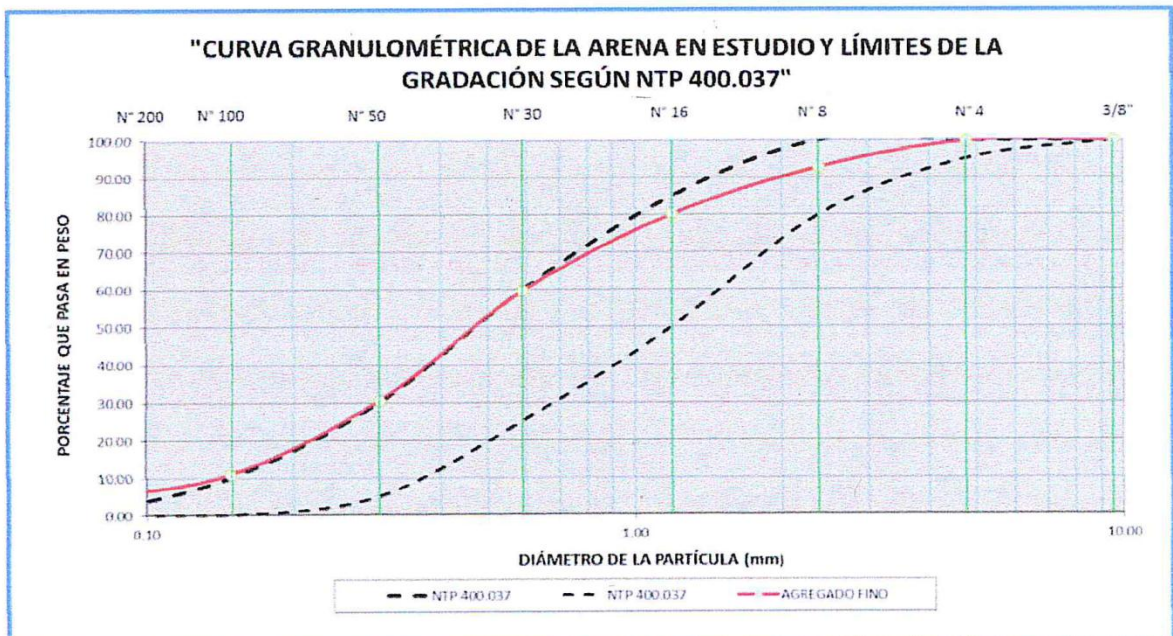
Elaborado Por:

Bach. José Manuel Aguilar Chanini  
TESISTA

**ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**  
NORMA ASTM C 136

**PROYECTO** : FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL CAR CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA.  
**DOMICILIO LEGAL** : UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN -TACNA.  
**SOLICITANTE** : Bach. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI.  
**CÓDICO** : ARU 007.AG - MUESTRA TAMIZADO.  
**MUESTRA** : ARUNTA.  
**FECHA** : 29 DE MAYO DEL 2014.

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES	
3/8"	9.525	0.0000	0.0000	0.0000	100.00	100.00	100.00
1/4"	6.350	-	-	-	-	-	-
N° 4	4.760	0.0010	0.1960	0.1960	99.80	95.00	100.00
N° 8	2.380	0.0380	7.4485	7.6446	92.36	80.00	100.00
N° 10	2.000	-	-	-	-	-	-
N° 16	1.190	0.0670	13.1330	20.7775	79.22	50.00	85.00
N° 20	0.840	-	-	-	-	-	-
N° 30	0.590	0.1093	21.4309	42.2084	57.79	25.00	60.00
N° 40	0.420	-	-	-	-	-	-
N° 50	0.300	0.1560	30.5782	72.7867	27.21	10.00	30.00
N° 60	0.250	-	-	-	-	-	-
N° 80	0.180	-	-	-	-	-	-
N° 100	0.149	0.1047	20.5162	93.3028	6.70	2.00	10.00
N° 200	0.074	0.0342	6.6972	100.0000	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>		<b>0.5102</b>					



V°B°  
Ing. Peter Laquita Aduvire  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
CONCRETO Y ASFALTO - MPT

Elaborado Por:

  
Bach. José Manuel Aguilar Chanini  
TESISTA



**Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann – Tacna**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS Y CONCRETO**



**OBRA** : TESIS “FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA”

**SOLICITANTE** : BACH. AGUILAR CHANINI, JOSÉ MANUEL

**MATERIAL** : MUESTRA DE AGREGADOS CANTERA ARUNTA

**NORMA** : NORMA ASTM C-131

**FECHA** : 18 DE SEPTIEMBRE DEL 2014.

ENSAYO ABRASION LOS ANGELES ASTM C131						
METODO “B”						
MALLA		PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA	DESGASTE 500 Rev.
PASA	RETENIDO					
3/4"	1/2"	2500.0	50.00	50.00	50.00	
1/2"	3/8"	2500.0	50.00	100.00	0.00	
1/4"	Nº4					
<b>TOTAL</b>		5000.0	100.00			757
<b>% DE DESGASTE</b>						15.14

TIPO DE GRADACION	METODO "B"
Peso muestra al comenzar el ensayo	5000.00
Peso material retenido en el tamiz Nº 12	4243.00
Peso material que pasa el tamiz Nº 12	757.00
Porcentaje de desgaste (%)	15.14

**OBSERVACIONES:**

- Las muestras fueron colocadas en el Laboratorio por el solicitante.
- Los datos de origen y las muestras fueron proporcionados al Laboratorio por el solicitante.

Elaborado por:

Mgr. Ing. Esteban B. Machaca Mamani  
 Especialista en Laboratorio ESMI-FAIN  
 CIP 140390



Dr. Ing. Dante Manzanares Cáceres  
 Jefe de Laboratorio  
 CIP 20617



**Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann – Tacna**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS Y CONCRETO**



**OBRA** : TESIS “FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA”

**SOLICITANTE** : BACH. AGUILAR CHANINI, JOSÉ MANUEL

**MATERIAL** : MUESTRA DE AGREGADOS CANTERA ARUNTA

**NORMA** : NORMA ASTM C-131

**FECHA** : 18 DE SEPTIEMBRE DEL 2014.

ENSAYO ABRASION LOS ANGELES						ASTM C131
METODO “B”						
MALLA		PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA	DESGASTE 500 Rev.
PASA	RETENIDO					
3/4"	1/2"	2500.0	50.00	50.00	50.00	
1/2"	3/8"	2500.0	50.00	100.00	0.00	
1/4"	Nº4					
<b>TOTAL</b>		5000.0	100.00			770.5
<b>% DE DESGASTE</b>						15.41

TIPO DE GRADACION	METODO "B"
Peso muestra al comenzar el ensayo	5000.00
Peso material retenido en el tamiz Nº 12	4229.50
Peso material que pasa el tamiz Nº 12	770.50
Porcentaje de desgaste (%)	15.41

- OBSERVACIONES:**
- Las muestras fueron colocadas en el Laboratorio por el solicitante.
  - Los datos de origen y las muestras fueron proporcionados al Laboratorio por el solicitante.

Elaborado por:

Mgr. Ing. Esteban B. Machaca Mamani  
 Especialista en Laboratorio ESMI-FAIN  
 CIP 140390



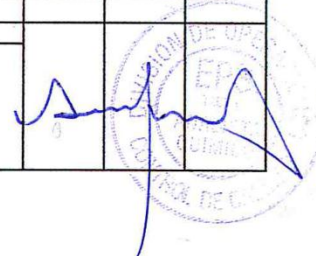
Dr. Ing. Dante Manzanares Cáceres  
 Jefe de Laboratorio  
 CIP 20617

REPORTE DE ANALISIS FISICO - QUIMICO

ITEM	PARAMETRO	UNIDAD	NORMA CONSUMO HUMANO SUNASS	AGUA CRUDA				AGUA POTABLE			
				CAPT. CERRO BLANCO	CAPT. PLANTA CALANA	CAPT. PLANTA ALTO LIMA	CAPT. PLANTA PACHIA	SALIDA PLANTA CALANA	SALIDA FILTROS ALTO LIMA	SALIDA PLANTA ALTO LIMA	SALIDA PLANTA PACHIA
				00341	00344	00390	00389	00466	00023	00657	00567
1	pH	und	6.5-8.5 (*)	8.34	8.00	4.94	3.67	7.86	7.65	7.38	6.87
2	TURBIDEZ	UNT	5	4.13	3.71	22.8	142	1.2	0.78	1.29	2.72
3	CONDUCTIVIDAD	us/cm	1500	624	630	1031	1568	626	778	789	1589
4	Sólid Tot Disuelt TDS	mg/l	1000	309	312	510	776	310	385	391	787
5	COLOR	C.V.	15	16	12	24	19	8	6	10	10
6	ALCALINIDAD TOTAL	mg/l CaCO3		100	95	30	10	80	50	60	25
7	ALCALINIDAD F	mg/l CaCO3		10	0	0	0	0	0	0	0
8	BICARBONATOS	mg/l HCO3-		98	116	37	12	98	61	73	31
9	CARBONATOS	mg/l CO3=		12	0	0	0	0	0	0	0
10	CLORUROS	mg/l Cl-	250	12	13	45	56	13	32	25	58
11	SULFATOS	mg/l SO4=	250	195	202	415	676	215	298	305	672
12	NITRATOS	mg/l NO3-	45	1.86	2.04	1.58	2.27	2.14	1.89	1.95	2.1
13	FOSFATOS	mg/l PO4=		0.18	0.21	0.14	0.16	0.28	0.18	0.22	0.11
14	DUREZA TOTAL	mg/l CaCO3	500	210	220	340	640	220	280	280	640
15	CALCIO	mg/l Ca++		60	65	110	220	65	90	85	220
16	MAGNESIO	mg/l Mg++		14.76	14.19	16.25	22.91	14.19	13.73	16.70	22.91
17	SODIO	mg/l Na+	200	40	38	69	57	37	43	45	61
18	POTASIO	mg/l K+		6.6	6.2	11.4	9.4	6.0	7.1	7.4	10.0
19	ALUMINIO	mg/l Al	0.2	0.012	0.009	8.753	17.54	0.099	0.038	0.081	0.204
20	ARSENICO	mg/l As	0.050	0.091	0.117	0.053	0.055	0.022	0.004	0.013	0.004
21	BORO	mg/l B	1.50	0.3	0.3	1.1	1.6	0.3	0.8	0.8	1.5
22	CIANURO	mg/l CN	0.070	<0.005	<0.005			<0.004			
23	COBRE	mg/l Cu	1.000	0.01	0.01	0.04	0.06	0.01	0.02	0.02	0.02
24	HIERRO	mg/l Fe	0.300	0.03	0.03	5.57	12.46	0.39	0.03	0.24	0.06
25	MANGANESO	mg/l Mn	0.400	0.038	0.032	0.665	0.739	0.023	0.247	0.186	0.294
26	TRIHALOMETANOS	mg/l THM	1.000	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.098	<0.005	0.182	0.053
27	ZINC	mg/l Zn	5	0.032	0.026	0.086	0.105	0.019	0.065	0.053	0.095

DATOS COMPLEMENTARIOS

FECHA	27/06/2014	27/06/2014	25/06/2014	25/06/2014	27/06/2014	25/06/2014	25/06/2014	25/06/2014
HORA								
OBSERVACIONES								



*ANEXO 05:*  
*CERTIFICACIÓN DE ENSAYOS*  
*PRELIMINARES.*



MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE  
**TACNA**

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE TACNA  
GERENCIA DE PRODUCCIÓN DE BIENES Y SERVICIOS  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTOS

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS DE CONCRETO**  
**NORMA ASTM C 39 – ITINTEC 339.034.**

**PROYECTO** : FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA.

**DOMICILIO LEGAL** : UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN –TACNA.

**SOLICITANTE** : Bach. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI.

**ENSAYO P1** : PRELIMINAR A 7 DIAS (DETERMINACIÓN DE PROPORCIÓN DE AGREGADOS).

N°	Elemento Estructural	Fecha:		Características del Testigo					Carga (Kn)	f'c Alcanzada (Kg/cm2)
		Vaciado	Rotura	Edad	Diámetro	Altura	H/D	Área (cm2)		
001	DPCP3070	19/06/2014	26/06/2014	7	10.40	20.00	1.92	84.95	228	273.42
002	DPCP3070	19/06/2014	26/06/2014	7	10.30	20.10	1.95	83.32	190	232.29
003	DPCP3070	19/06/2014	26/06/2014	7	10.30	20.00	1.94	83.32	190	232.29
004	DPCP4060	19/06/2014	26/06/2014	7	10.20	20.50	2.01	81.71	228	284.24
005	DPCP4060	19/06/2014	26/06/2014	7	10.30	20.30	1.97	83.32	228	278.75
006	DPCP4060	19/06/2014	26/06/2014	7	10.30	20.10	1.95	83.32	239	292.69
007	DPCP4456	19/06/2014	26/06/2014	7	10.30	20.20	1.96	83.32	228	278.75
008	DPCP4456	19/06/2014	26/06/2014	7	10.30	20.00	1.94	83.32	232	283.40
009	DPCP4456	19/06/2014	26/06/2014	7	10.30	20.10	1.95	83.32	266	325.21
010	DPCP4555	19/06/2014	26/06/2014	7	10.30	20.30	1.97	83.32	201	246.23
011	DPCP4555	19/06/2014	26/06/2014	7	10.30	20.40	1.98	83.32	235	288.04
012	DPCP4555	19/06/2014	26/06/2014	7	10.40	20.30	1.95	84.95	266	318.99
013	DPCP4654	19/06/2014	26/06/2014	7	10.20	20.20	1.98	81.71	270	336.35
014	DPCP4654	19/06/2014	26/06/2014	7	10.20	20.10	1.97	81.71	228	284.24
015	DPCP4654	19/06/2014	26/06/2014	7	10.30	20.20	1.96	83.32	235	288.04
016	DPCP5050	19/06/2014	26/06/2014	7	10.30	20.00	1.94	83.32	235	288.04
017	DPCP5050	19/06/2014	26/06/2014	7	10.30	20.30	1.97	83.32	277	338.84
018	DPCP5050	19/06/2014	26/06/2014	7	10.30	20.00	1.94	83.32	227	278.19
019	DPCP6040	19/06/2014	26/06/2014	7	10.30	20.00	1.94	83.32	250	306.01
020	DPCP6040	19/06/2014	26/06/2014	7	10.30	20.00	1.94	83.32	234	286.54
021	DPCP6040	19/06/2014	26/06/2014	7	10.30	20.00	1.94	83.32	250	306.01



V°B°

Ing. Peter Laquita Aduvire  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
CONCRETO Y ASFALTO - MPT

Elaborado Por:

Bach. José Manuel Aguilar Chanini  
TESISTA

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS DE CONCRETO**  
**NORMA ASTM C 39 – ITINTEC 339.034.**

**PROYECTO** : FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA.  
**DOMICILIO LEGAL** : UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN –TACNA.  
**SOLICITANTE** : Bach. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI.  
**ENSAYO P2** : PRELIMINAR A 3 DIAS (DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE CEMENTO).

N°	Elemento Estructural	Fecha:		Características del Testigo					Carga (Kn)	f'c Alcanzada (Kg/cm2)
		Vaciado	Rotura	Edad	Diámetro	Altura	H/D	Área (cm2)		
001	DPCPX555	05/07/2014	08/07/2014	3	10.11	20.00	1.98	80.28	205	259.91
002	DPCPX555	05/07/2014	08/07/2014	3	10.15	20.02	1.97	80.91	187	235.45
003	DPCPX555	05/07/2014	08/07/2014	3	10.08	20.00	1.98	79.80	214	272.83
004	DPCPX560	05/07/2014	08/07/2014	3	10.25	20.00	1.95	82.52	227	280.35
005	DPCPX560	05/07/2014	08/07/2014	3	10.01	20.02	2.00	78.70	222	288.19
006	DPCPX560	05/07/2014	08/07/2014	3	10.05	20.00	1.99	79.33	222	285.90
007	DPCPX565	05/07/2014	08/07/2014	3	10.11	20.20	2.00	80.28	245	310.77
008	DPCPX565	05/07/2014	08/07/2014	3	10.02	20.10	2.01	78.85	222	287.61
009	DPCPX570	05/07/2014	08/07/2014	3	10.03	20.00	1.99	79.01	240	310.00
010	DPCPX570	05/07/2014	08/07/2014	3	10.01	20.00	2.00	78.70	205	265.13
011	DPCPX600	05/07/2014	08/07/2014	3	10.05	20.00	1.99	79.33	236	303.05
012	DPCPX600	05/07/2014	08/07/2014	3	10.03	20.10	2.00	79.01	222	287.04



V°B°

Ing. Peter Laquita Aduvire  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
CONCRETO Y ASFALTO - MPT

Elaborado Por:

Bach. José Manuel Aguilar Chanini

TESTATA

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS DE CONCRETO**  
**NORMA ASTM C 39 – ITINTEC 339.034.**

**PROYECTO** : FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA.

**DOMICILIO LEGAL** : UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN –TACNA.

**SOLICITANTE** : Bach. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI.

**ENSAYO P2** : PRELIMINAR A 7 DIAS (DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE CEMENTO).

N°	Elemento Estructural	Fecha:			Características del Testigo				Carga (Kn)	f'c Alcanzada (Kg/cm2)
		Vaciado	Rotura	Edad	Diámetro	Altura	H/D	Área		
013	DPCPX555	05/07/2014	11/07/2014	6	10.15	20.10	1.98	80.91	271	341.96
014	DPCPX555	05/07/2014	11/07/2014	6	10.14	20.00	1.97	80.75	267	337.02
015	DPCPX555	05/07/2014	11/07/2014	6	10.00	20.20	2.02	78.54	283	366.73
016	DPCPX560	05/07/2014	11/07/2014	6	10.14	20.10	1.98	80.75	240	303.31
017	DPCPX560	05/07/2014	11/07/2014	6	10.09	20.10	1.99	79.96	254	323.35
018	DPCPX560	05/07/2014	11/07/2014	6	10.09	20.30	2.01	79.96	254	323.35
019	DPCPX565	05/07/2014	11/07/2014	6	10.00	20.00	2.00	78.54	276	358.07
020	DPCPX565	05/07/2014	11/07/2014	6	10.07	20.00	1.99	79.64	332	424.30
021	DPCPX570	05/07/2014	11/07/2014	6	10.16	20.00	1.97	81.07	254	318.91
022	DPCPX570	05/07/2014	11/07/2014	6	10.01	20.20	2.02	78.70	289	374.65
023	DPCPX600	05/07/2014	11/07/2014	6	10.12	20.00	1.98	80.44	265	335.53
024	DPCPX600	05/07/2014	11/07/2014	6	10.00	20.00	2.00	78.54	214	277.21



VºBº

Ing. Peter Laquita Aduvire  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
CONCRETO Y ASFALTO - MPT

Elaborado Por:

Bach. José Manuel Aguilar Chanini  
TESISTA

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS DE CONCRETO**  
**NORMA ASTM C 39 – ITINTEC 339.034.**

**PROYECTO** : FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA.  
**DOMICILIO LEGAL** : UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN –TACNA.  
**SOLICITANTE** : Bach. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI.  
**ENSAYO P3** : PRELIMINAR A 3 DIAS (DETERMINACIÓN DEL % DE ADITIVO).

N°	Elemento Estructural	Fecha:		Características del Testigo					Carga (Kn)	f'c Alcanzada (Kg/cm2)
		Vaciado	Rotura	Edad	Diámetro	Altura	H/D	Área		
001	DPCPX565	12/07/2014	15/07/2014	3	10.05	20.00	1.99	79.33	235.84	303.05
002	DPCPX565	12/07/2014	15/07/2014	3	10.03	20.10	2.00	79.01	222.49	287.04
003	DPCAX1.5%	12/07/2014	15/07/2014	3	10.02	20.00	2.00	78.85	400.48	517.70
004	DPCAX1.5%	12/07/2014	15/07/2014	3	10.16	20.00	1.97	81.07	373.78	469.97
005	DPCAX2.0%	12/07/2014	15/07/2014	3	10.06	20.00	1.99	79.49	280.33	359.52
006	DPCAX2.0%	12/07/2014	15/07/2014	3	10.06	20.10	2.00	79.49	422.73	542.13
007	DPCAX3.0%	12/07/2014	15/07/2014	3	10.07	20.00	1.99	79.64	280.33	358.80
008	DPCAX3.0%	12/07/2014	15/07/2014	3	10.11	19.70	1.95	80.28	311.48	395.52
009	DPCPX565	12/07/2014	18/07/2014	6	10.12	20.00	1.98	80.44	264.76	335.53
010	DPCPX565	12/07/2014	18/07/2014	6	10.00	20.00	2.00	78.54	213.59	277.21
011	DPCAX1.5%	12/07/2014	18/07/2014	6	10.17	20.00	1.97	81.23	440.52	552.80
012	DPCAX1.5%	12/07/2014	18/07/2014	6	10.15	20.00	1.97	80.91	485.02	611.04
013	DPCAX2.0%	12/07/2014	18/07/2014	6	10.15	20.00	1.97	80.91	438.30	552.18
014	DPCAX2.0%	12/07/2014	18/07/2014	6	10.06	20.00	1.99	79.49	476.12	610.61
015	DPCAX3.0%	12/07/2014	18/07/2014	6	10.00	20.00	2.00	78.54	442.75	574.64
016	DPCAX3.0%	12/07/2014	18/07/2014	6	10.07	20.00	1.99	79.64	442.75	566.68



V°B°

Ing. Peter Laquita Aduvire  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
CONCRETO Y ASFALTO - MPT

Elaborado Por:

Bach. José Manuel Aguilar Chanini  
TESISTA

*ANEXO 06:*

*CERTIFICACIÓN DE ENSAYOS DEL CONCRETO*

*EN ESTADO FRESCO.*

**ENSAYO DE PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO**  
NORMA ASTM C 138M -08 – NTP 339.046

PROYECTO : FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL CAR CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA.  
DOMICILIO LEGAL : UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN –TACNA.  
SOLICITANTE : Bach. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI.  
ENSAYO N° 1 : PESO UNITARIO  
FECHA : 29 DE MAYO DEL 2014.

MEZCLA	CARACTERÍSTICAS DEL RECIPIENTE				Recipiente + Concreto (kg)	Peso Concreto (kg)	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )
	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Peso (kg)			
DCPO	15.24	30.42	0.0056	9.36	22.27	12.92	2326.20
DCPO	15.24	30.45	0.0056	9.45	22.28	12.84	2312.24
DCPA	15.19	30.50	0.0055	9.56	22.74	13.18	2384.56
DCPA	15.28	30.42	0.0056	9.30	22.87	13.58	2435.16
DCMS10	15.19	30.48	0.0055	9.59	22.95	13.36	2418.72
DCMS11	15.19	30.45	0.0055	9.57	22.74	13.18	2387.57
DCMS12.5	15.19	30.48	0.0055	9.59	23.09	13.50	2444.06
DCMS12.6	15.19	30.50	0.0055	9.56	22.88	13.32	2409.89
DCMS15	15.24	30.45	0.0056	9.45	22.94	13.50	2431.14
DCMS16	15.19	30.45	0.0055	9.57	22.97	13.41	2429.25
DCNS1.00	15.28	30.42	0.0056	9.30	22.87	13.58	2435.16
DCNS1.01	15.24	30.42	0.0056	9.36	22.94	13.59	2446.87
DCNS1.25	15.19	29.98	0.0054	9.59	22.72	13.13	2416.72
DCNS1.26	15.19	30.00	0.0054	9.56	22.76	13.20	2427.99
DCNS1.50	15.24	30.45	0.0056	9.45	22.87	13.43	2418.53
DCNS1.51	15.19	30.45	0.0055	9.57	23.07	13.51	2447.38
DC5.0MS0.5NS	15.28	30.42	0.0056	9.30	22.71	13.42	2406.46
DC5.0MS0.5NS	15.24	30.42	0.0056	9.36	22.87	13.52	2434.27
DC7.5MS1.0NS	15.19	30.48	0.0055	9.59	23.15	13.56	2454.93
DC7.5MS1.0NS	15.19	30.50	0.0055	9.56	22.99	13.43	2429.80
DC10MS1.5NS	15.24	30.45	0.0056	9.45	22.87	13.43	2418.53
DC10MS1.5NS	15.19	30.45	0.0055	9.57	22.93	13.37	2422.01



V°B°

Ing. Peter laquita Aduvire  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
CONCRETO Y ASFALTO - MPT

Elaborado Por:

Bach. José Manuel Aguilar Chanini  
TESISTA

**ENSAYO DE ASENTAMIENTO Y CONTENIDO DE AIRE**  
NORMA ASTM C 143M - 08 – ASTM C 231M - 10

**PROYECTO** : FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL CAR CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA.  
**DOMICILIO LEGAL** : UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN –TACNA.  
**SOLICITANTE** : Bach. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI.  
**ENSAYO N° 1** : ASENTAMIENTO Y CONTENIDO DE AIRE.  
**FECHA** : 29 DE MAYO DEL 2014.

MEZCLA	Asentamiento (cm.)	Asentamiento (pulg.)	Extensibilidad (cm.)	% DE AIRE
DCPO	8.89	3 1/2	20.00	2.30
DCPA	28.00	11	73.00	1.00
DCMS10	26.00	10 1/4	63.00	1.38
DCMS12.5	26.60	10 1/2	65.00	1.38
DCMS15	27.30	10 3/4	67.00	1.39
DCNS1.00	27.80	11	73.00	1.40
DCNS1.25	26.80	10 1/2	75.00	1.00
DCNS1.50	26.50	10 1/2	76.00	1.00
DC5.0MS0.5NS	26.00	10 1/4	71.00	1.05
DC7.5MS1.0NS	27.00	11	75.00	1.25
DC10MS1.5NS	26.50	10 1/2	72.00	1.20

OBSERVACION: Para determinar el contenido de aire atrapado en el concreto fresco se empleó la olla de presión de Washington.



Ing. Peter Laquita Aduvire  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
CONCRETO Y ASFALTO - MPT

Elaborado Por:

Bach. José Manuel Aguilar Chanini  
TESISTA

*ANEXO 07:*

*CERTIFICACIÓN DE ENSAYOS DEL CONCRETO*

*EN ESTADO ENDURECIDO.*



MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE  
**TACNA**

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE TACNA  
GERENCIA DE PRODUCCIÓN DE BIENES Y SERVICIOS  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTOS

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS DE CONCRETO**  
**NORMA ASTM C 39 – ITINTEC 339.034.**

**PROYECTO** : FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA.  
**DOMICILIO LEGAL** : UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN –TACNA.  
**SOLICITANTE** : Bach. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI.  
**ENSAYO 01** : 24 HORAS DE EDAD.

N°	Elemento Estructural	Fecha:		Características del Testigo						Carga Kn.	f'c Alcanzada (kg/cm2)	Observ.
		Vaciado	Rotura	Edad	Diámetro	Altura	H/D	Área	Peso			
001	DCPO	03/08/2014	04/08/2014	01	10.01	20.00	2.00	78.70	3.94	150	194.30	Columnar
002	DCPO	03/08/2014	04/08/2014	01	10.02	20.10	2.01	78.81	3.94	140	181.09	Columnar
003	DCPO	03/08/2014	04/08/2014	01	10.01	20.10	2.01	78.70	3.93	160	207.25	Columnar
004	DCPA	03/08/2014	04/08/2014	01	10.04	20.00	1.99	79.17	4.09	250	321.89	Columnar
005	DCPA	03/08/2014	04/08/2014	01	10.01	20.00	2.00	78.73	4.09	310	401.38	Columnar
006	DCPA	03/08/2014	04/08/2014	01	10.00	19.90	1.99	78.54	4.10	285	369.90	Columnar
007	DCMS10	03/08/2014	04/08/2014	01	10.01	20.00	2.00	78.76	4.08	365	472.41	Diagonal
008	DCMS10	03/08/2014	04/08/2014	01	10.02	20.30	2.03	78.79	4.14	275	355.78	Columnar/Diagonal
009	DCMS10	03/08/2014	04/08/2014	01	10.04	20.10	2.00	79.17	4.11	364	468.68	Diagonal
010	DCMS12.5	01/08/2014	04/08/2014	01	10.02	19.90	1.99	78.81	4.04	224	289.74	Columnar
011	DCMS12.5	01/08/2014	04/08/2014	01	10.02	20.00	2.00	78.84	4.12	180	232.74	Columnar
012	DCMS12.5	01/08/2014	04/08/2014	01	10.02	20.00	2.00	78.78	4.16	212	274.33	Columnar
013	DCMS15	02/08/2014	05/08/2014	01	10.01	20.20	2.02	78.65	4.10	210	272.18	Columnar
014	DCMS15	02/08/2014	05/08/2014	01	10.00	20.20	2.02	78.59	4.12	210	272.39	Columnar
015	DCMS15	02/08/2014	05/08/2014	01	10.01	20.30	2.03	78.65	4.14	264	342.17	Columnar/Diagonal
016	DCNS1.0	02/08/2014	05/08/2014	01	10.01	20.00	2.00	78.71	4.13	204	264.19	Columnar
017	DCNS1.0	02/08/2014	05/08/2014	01	10.01	20.20	2.02	78.63	4.15	240	311.12	Columnar/Diagonal



V°B°

Ing. Peter Laquita Aduvire  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
CONCRETO Y ASFALTO - MPT

Elaborado Por:

Bach. José Manuel Aguilar Chanini  
TESISTA

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS DE CONCRETO**  
**NORMA ASTM C 39 – ITINTEC 339.034.**

**PROYECTO** : FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA.  
**DOMICILIO LEGAL** : UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN –TACNA.  
**SOLICITANTE** : Bach. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI.  
**ENSAYO 01** : 24 HORAS DE EDAD.

N°	Elemento Estructural	Fecha:		Características del Testigo						Carga (Kn)	f'c Alcanzada (kg/cm <sup>2</sup> )	Observ.
		Vaciado	Rotura	Edad	Diámetro	Altura	H/D	Área	Peso			
018	DCNS1.0	02/08/2014	05/08/2014	01	10.00	20.10	2.01	78.56	4.11	220	285.48	Columnar
019	DCNS1.25	02/08/2014	05/08/2014	01	10.00	20.00	2.00	78.59	4.16	144	186.79	Columnar
020	DCNS1.25	02/08/2014	05/08/2014	01	10.01	19.90	1.99	78.63	4.08	170	220.38	Columnar
021	DCNS1.25	02/08/2014	05/08/2014	01	10.01	20.20	2.02	78.67	4.15	190	246.21	Columnar
022	DCNS1.5	02/08/2014	05/08/2014	01	10.00	20.10	2.01	78.60	4.12	172	223.06	Columnar
023	DCNS1.5	02/08/2014	05/08/2014	01	10.01	20.30	2.03	78.67	4.10	146	189.19	Columnar
024	DCNS1.5	02/08/2014	05/08/2014	01	10.01	20.00	2.00	78.67	4.10	172	222.88	Columnar
025	DC5MS0.5NS	05/08/2014	06/08/2014	01	10.02	20.20	2.02	78.90	4.14	180	232.55	Columnar
026	DC5MS0.5NS	05/08/2014	06/08/2014	01	10.03	20.20	2.01	79.06	4.15	188	242.40	Columnar
027	DC5MS0.5NS	05/08/2014	06/08/2014	01	10.02	20.00	2.00	78.87	4.10	160	206.79	Columnar
028	DC7.5M1.0N	05/08/2014	06/08/2014	01	10.03	20.00	1.99	78.95	4.08	212	273.73	Columnar
029	DC7.5M1.0N	05/08/2014	06/08/2014	01	10.03	20.00	1.99	78.95	4.08	190	245.32	Columnar
030	DC7.5M1.0N	05/08/2014	06/08/2014	01	10.03	20.00	1.99	79.00	4.11	160	206.46	Columnar
031	DC10M1.5N	05/08/2014	06/08/2014	01	10.00	20.10	2.01	78.60	4.12	218	282.72	Columnar/Diagonal
032	DC10M1.5N	05/08/2014	06/08/2014	01	10.01	20.30	2.03	78.67	4.10	230	298.04	Columnar/Diagonal
033	DC10M1.5N	05/08/2014	06/08/2014	01	10.01	20.00	2.00	78.67	4.10	208	269.53	Diagonal



V°B°  
Ing. Peter Laquita Aduvire  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
CONCRETO Y ASFALTO - MPT

Elaborado Por:  
Bach. José Manuel Aguilar Chanini  
TESTISTA

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS DE CONCRETO**  
**NORMA ASTM C 39 – ITINTEC 339.034.**

**PROYECTO** : FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA.

**DOMICILIO LEGAL** : UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN –TACNA.

**SOLICITANTE** : Bach. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI.

**ENSAYO 02** : 03 DÍAS DE EDAD.

N°	Elemento Estructural	Fecha			Características del Testigo					Carga (Kn)	f'c Alcanzada (Kg/cm <sup>2</sup> )	Observ.
		Vaciado	Rotura	Edad	Diámetro	Altura	H/D	Área	Peso			
001	DCPO	01/08/2014	04/08/2014	03	10.00	20.10	2.01	78.56	3.90	240	311.43	Columnar
002	DCPO	01/08/2014	04/08/2014	03	10.00	19.95	1.99	78.60	3.90	294	381.28	Columnar
003	DCPO	01/08/2014	04/08/2014	03	10.01	20.00	2.00	78.70	3.89	236	305.69	Columnar
004	DCPA	01/08/2014	04/08/2014	03	10.00	20.00	2.00	78.54	4.12	456	591.84	Columnar/Diagonal
005	DCPA	01/08/2014	04/08/2014	03	10.02	20.00	2.00	78.79	4.10	284	367.43	Columnar
006	DCPA	01/08/2014	04/08/2014	03	10.02	20.00	2.00	78.78	4.11	486	628.89	Columnar/Diagonal
007	DCMS10	01/08/2014	04/08/2014	03	10.01	20.00	2.00	78.73	4.10	414	536.04	Columnar/Diagonal
008	DCMS10	01/08/2014	04/08/2014	03	10.02	20.10	2.01	78.78	4.14	470	608.19	Columnar/Diagonal
009	DCMS10	01/08/2014	04/08/2014	03	10.01	20.00	2.00	78.67	4.09	535	693.27	Columnar/Diagonal
010	DCMS12.5	01/08/2014	04/08/2014	03	10.02	19.90	1.99	78.81	4.04	490	633.81	Columnar/Diagonal
011	DCMS12.5	01/08/2014	04/08/2014	03	10.02	20.00	2.00	78.84	4.12	437	565.03	Columnar/Diagonal
012	DCMS12.5	01/08/2014	04/08/2014	03	10.02	20.00	2.00	78.78	4.16	460	595.25	Columnar/Diagonal
013	DCMS15	02/08/2014	05/08/2014	03	10.01	20.20	2.02	78.65	4.10	525	681.40	Columnar/Diagonal
014	DCMS15	02/08/2014	05/08/2014	03	10.00	20.20	2.02	78.59	4.12	540	700.86	Cónico
015	DCMS15	02/08/2014	05/08/2014	03	10.01	20.30	2.03	78.65	4.14	462	599.63	Columnar/Diagonal
016	DCNS1.0	02/08/2014	05/08/2014	03	10.01	20.00	2.00	78.71	4.13	385	499.69	Columnar
017	DCNS1.0	02/08/2014	05/08/2014	03	10.01	20.20	2.02	78.63	4.15	340	441.28	Columnar



V°B°

Ing. Peter Laquita Aduvire  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
CONCRETO Y ASFALTO - MPT

Elaborado Por:

Bach. José Manuel Aguilar Chanini  
TESISTA

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS DE CONCRETO**  
**NORMA ASTM C 39 – ITINTEC 339.034.**

**PROYECTO** : FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA.

**DOMICILIO LEGAL** : UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN –TACNA.

**SOLICITANTE** : Bach. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI.

**ENSAYO 02** : 03 DIAS DE EDAD.

N°	Elemento Estructural	Fecha		Características del Testigo						Carga (Kn)	f <sup>c</sup> Alcanzada (Kg/cm <sup>2</sup> )	Observ.
		Vaciado	Rotura	Edad	Diámetro	Altura	H/D	Área	Peso			
018	DCNS1.0	02/08/2014	05/08/2014	03	10.00	20.10	2.01	78.56	4.11	246	319.28	Columnar
019	DCNS1.25	02/08/2014	05/08/2014	03	10.00	20.00	2.00	78.59	4.16	390	506.18	Columnar/Diagonal
020	DCNS1.25	02/08/2014	05/08/2014	03	10.01	19.90	1.99	78.63	4.08	368	477.63	Columnar
021	DCNS1.25	02/08/2014	05/08/2014	03	10.01	20.20	2.02	78.67	4.15	412	534.73	Columnar/Diagonal
022	DCNS1.5	02/08/2014	05/08/2014	03	10.00	20.10	2.01	78.60	4.12	384	498.39	Columnar
023	DCNS1.5	02/08/2014	05/08/2014	03	10.01	20.30	2.03	78.67	4.10	308	399.75	Columnar
024	DCNS1.5	02/08/2014	05/08/2014	03	10.01	20.00	2.00	78.67	4.10	366	475.03	Columnar
025	DC5M0.5N	02/08/2014	05/08/2014	03	10.02	20.00	2.00	78.79	4.08	382	495.80	Columnar
026	DC5M0.5N	02/08/2014	05/08/2014	03	10.00	20.30	2.03	78.54	4.18	326	423.11	Columnar
027	DC5M0.5N	02/08/2014	05/08/2014	03	10.01	20.00	2.00	78.67	4.08	420	545.12	Columnar/Diagonal
028	DC7.5M1.0N	03/08/2014	06/08/2014	03	10.00	20.00	2.00	78.54	4.08	422	547.99	Columnar/Diagonal
029	DC7.5M1.0N	03/08/2014	06/08/2014	03	10.00	19.90	1.99	78.54	4.18	480	623.31	Cónico
030	DC7.5M1.0N	03/08/2014	06/08/2014	03	10.00	20.00	2.00	78.54	4.08	463	601.23	Cónico
031	DC10M1.5N	03/08/2014	06/08/2014	03	10.00	20.00	2.00	78.54	4.08	430	558.38	Cónico
032	DC10M1.5N	03/08/2014	06/08/2014	03	10.00	20.20	2.02	78.54	4.18	376	488.26	Columnar/Diagonal
033	DC10M1.5N	03/08/2014	06/08/2014	03	10.00	20.20	2.02	78.54	4.08	450	584.35	Cónico



V°B°

Ing. Peter Laquita Aduvire  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
CONCRETO Y ASFALTO - MPT

Elaborado Por:

Bach. José Manuel Aguilar Chanini  
TESTISTA

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS DE CONCRETO**  
**NORMA ASTM C 39 – ITINTEC 339.034.**

**PROYECTO** : FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA.  
**DOMICILIO LEGAL** : UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN –TACNA.  
**SOLICITANTE** : Bach. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI.  
**ENSAYO 03** : 07 DIAS DE EDAD.

N°	Elemento Estructural	Fecha		Características del Testigo						Carga (Kn)	f'c Alcanzada (Kg/cm2)	Observ.
		Vaciado	Rotura	Edad	Diámetro	Altura	H/D	Área	Peso			
001	DCPO	30/07/2014	06/08/2014	07	10.00	20.10	2.01	78.54	3.94	260	337.45	Columnar
002	DCPO	30/07/2014	06/08/2014	07	10.00	19.95	2.00	78.54	3.94	354	459.46	Columnar
003	DCPO	30/07/2014	06/08/2014	07	10.00	20.00	2.00	78.54	3.93	366	475.03	Columnar/diagonal
004	DCPA	30/07/2014	06/08/2014	07	10.00	20.00	2.00	78.54	4.09	456	591.84	Columnar/Diagonal
005	DCPA	30/07/2014	06/08/2014	07	10.00	20.00	2.00	78.54	4.09	438	568.48	Diagonal
006	DCPA	30/07/2014	06/08/2014	07	10.00	20.00	2.00	78.54	4.10	370	480.22	Columnar/Diagonal
007	DCMS10	30/07/2014	06/08/2014	07	10.00	20.00	2.00	78.54	4.08	512	664.52	Cónico
008	DCMS10	30/07/2014	06/08/2014	07	10.00	20.10	2.01	78.54	4.14	505	655.44	Cónico
009	DCMS10	30/07/2014	06/08/2014	07	10.00	20.00	2.00	78.54	4.11	504	654.14	Cónico
010	DCMS12.5	30/07/2014	06/08/2014	07	10.00	19.90	1.99	78.54	4.04	458	594.44	Diagonal
011	DCMS12.5	30/07/2014	06/08/2014	07	10.00	20.00	2.00	78.54	4.12	510	661.93	Cónico
012	DCMS12.5	30/07/2014	06/08/2014	07	10.00	20.00	2.00	78.54	4.16	514	667.12	Cónico
013	DCMS15	30/07/2014	06/08/2014	07	10.00	20.20	2.02	78.54	4.10	550	713.84	Cónico
014	DCMS15	30/07/2014	06/08/2014	07	10.00	20.20	2.02	78.54	4.12	478	620.39	Columnar/diagonal
015	DCMS15	30/07/2014	06/08/2014	07	10.00	20.30	2.03	78.54	4.14	500	648.95	Cónico
016	DC1.0NS	30/07/2014	06/08/2014	07	10.02	20.05	2.00	78.90	4.11	419	541.33	Columnar/Cónico
017	DC1.0NS	30/07/2014	06/08/2014	07	10.04	20.10	2.00	79.11	4.13	428	551.52	Columnar/Cónico



V°B°

Ing. Peter Laquita Aduvire  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
CONCRETO Y ASFALTO - MPT

Elaborado Por:

Bach. José Manuel Aguilar Chanini  
TESISTA



MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE  
**TACNA**

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE TACNA  
GERENCIA DE PRODUCCIÓN DE BIENES Y SERVICIOS  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTOS

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS DE CONCRETO**  
**NORMA ASTM C 39 – ITINTEC 339.034.**

**PROYECTO** : FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA.  
**DOMICILIO LEGAL** : UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN –TACNA.  
**SOLICITANTE** : Bach. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI.  
**ENSAYO 03** : 07 DIAS DE EDAD.

N°	Elemento Estructural	Fecha		Características del Testigo						Carga (Kn)	f'c Alcanzada (Kg/cm2)	Observ.
		Vaciado	Rotura	Edad	Diámetro	Altura	H/D	Área	Peso			
018	DC1.0NS	30/07/2014	06/08/2014	07	10.02	20.00	2.00	78.84	4.10	360	465.47	Columnar
019	DC1.25NS	30/07/2014	06/08/2014	07	10.04	20.20	2.01	79.17	4.15	425	547.22	Columnar/Diagonal
020	DC1.25NS	30/07/2014	06/08/2014	07	10.03	20.20	2.01	79.07	4.14	300	386.73	Columnar
021	DC1.25NS	30/07/2014	06/08/2014	07	10.03	20.10	2.00	79.00	4.13	482	621.97	Cónico
022	DC1.5NS	30/07/2014	06/08/2014	07	10.03	20.00	1.99	78.96	4.08	450	580.91	Cónico
023	DC1.5NS	30/07/2014	06/08/2014	07	10.02	20.30	2.03	78.87	4.15	340	439.44	Columnar/Diagonal
024	DC1.5NS	30/07/2014	06/08/2014	07	10.03	20.10	2.00	79.03	4.15	466	601.09	Cónico
025	DC5MS0.5NS	30/07/2014	06/08/2014	07	10.02	20.20	2.02	78.90	4.14	484	625.30	Cónico
026	DC5MS0.5NS	30/07/2014	06/08/2014	07	10.03	20.20	2.01	79.06	4.15	455	586.66	Cónico
027	DC5MS0.5NS	30/07/2014	06/08/2014	07	10.02	20.00	2.00	78.87	4.10	460	594.53	Cónico
028	DC7.5MS1NS	30/07/2014	06/08/2014	07	10.03	20.00	1.99	78.95	4.08	468	604.27	Cónico
029	DC7.5MS1NS	30/07/2014	06/08/2014	07	10.03	20.00	1.99	78.95	4.08	474	612.02	Cónico
030	DC7.5MS1NS	30/07/2014	06/08/2014	07	10.03	20.00	1.99	79.00	4.11	500	645.20	Cónico
031	DC10M1.5N	30/07/2014	06/08/2014	07	10.00	20.10	2.01	78.60	4.12	478	619.90	Cónico
032	DC10M1.5N	30/07/2014	06/08/2014	07	10.01	20.30	2.03	78.67	4.10	450	583.12	Cónico
033	DC10M1.5N	30/07/2014	06/08/2014	07	10.01	20.00	2.00	78.67	4.10	408	528.70	Cónico



V°B°

Ing. Peter Laquita Aduvire  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
CONCRETO Y ASFALTO - MPT

Elaborado Por:

Bach. José Manuel Aguilar Chanini  
TESISTA

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS DE CONCRETO**  
**NORMA ASTM C 39 – ITINTEC 339.034.**

**PROYECTO** : FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA.

**DOMICILIO LEGAL** : UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN –TACNA.

**SOLICITANTE** : Bach. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI.

**ENSAYO 04** : 28 DÍAS DE EDAD.

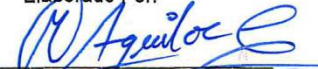
N°	Elemento Estructural	Fecha:		Características del Testigo						Carga (Kn)	f <sub>c</sub> Alcanzada (Kg/cm <sup>2</sup> )	Observ.
		Vaciado	Rotura	Edad	Diámetro	Altura	H/D	Área	Peso			
001	DCPO	09/07/2014	06/08/2014	28	10.02	20.20	2.02	78.90	4.14	404	521.64	Cónico
002	DCPO	09/07/2014	06/08/2014	28	10.03	20.20	2.01	79.06	4.15	417	537.86	Cónico
003	DCPO	09/07/2014	06/08/2014	28	10.02	20.00	2.00	78.87	4.10	412	532.49	Cónico
004	DCPA	09/07/2014	06/08/2014	28	10.03	20.00	1.99	78.95	4.08	593	766.03	Cónico
005	DCPA	09/07/2014	06/08/2014	28	10.03	20.00	1.99	78.95	4.08	686	885.72	Cónico
006	DCPA	09/07/2014	06/08/2014	28	10.03	20.00	1.99	79.00	4.11	637	821.39	Cónico
007	DCMS10	09/07/2014	06/08/2014	28	10.01	20.00	2.00	78.73	4.10	803	1040.23	Cónico
008	DCMS10	09/07/2014	06/08/2014	28	10.02	20.10	2.01	78.78	4.14	876	1132.91	Cónico
009	DCMS10	09/07/2014	06/08/2014	28	10.01	20.00	2.00	78.67	4.09	845	1094.45	Cónico
010	DCMS12.5	09/07/2014	06/08/2014	28	10.02	19.90	1.99	78.81	4.04	723	935.27	Cónico
011	DCMS12.5	09/07/2014	06/08/2014	28	10.02	20.00	2.00	78.84	4.12	770	996.16	Cónico
012	DCMS12.5	09/07/2014	06/08/2014	28	10.02	20.00	2.00	78.78	4.16	746	964.97	Cónico
013	DCMS15	29/07/2014	26/08/2014	28	10.02	19.90	1.99	78.81	4.04	803	1039.19	Cónico
014	DCMS15	29/07/2014	26/08/2014	28	10.02	20.00	2.00	78.84	4.12	855	1105.37	Cónico
015	DCMS15	29/07/2014	26/08/2014	28	10.02	20.00	2.00	78.78	4.16	845	1092.92	Cónico
016	DCNS1.0	29/07/2014	26/08/2014	28	10.01	20.20	2.02	78.65	4.10	550	712.87	Cónico
017	DCNS1.0	29/07/2014	26/08/2014	28	10.00	20.20	2.02	78.59	4.12	589	764.21	Cónico



V°B°

Ing. Peter Laquita Aduvire  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
CONCRETO Y ASFALTO - MPT

Elaborado Por:

  
Bach. José Manuel Aguilar Chanini  
TESISTA

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS DE CONCRETO**  
**NORMA ASTM C 39 – ITINTEC 339.034.**

**PROYECTO** : FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA.  
**DOMICILIO LEGAL** : UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN –TACNA.  
**SOLICITANTE** : Bach. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI.  
**ENSAYO 04** : 28 DIAS DE EDAD.

N°	Elemento Estructural	Fecha:		Características del Testigo						Carga (Kn)	f'c Alcanzada (Kg/cm <sup>2</sup> )	Observ.
		Vaciado	Rotura	Edad	Diámetro	Altura	H/D	Área	Peso			
018	DCNS1.0	29/07/2014	26/08/2014	28	10.01	20.30	2.03	78.65	4.14	618	800.98	Cónico
019	DCNS1.25	29/07/2014	26/08/2014	28	10.01	20.00	2.00	78.71	4.13	525	680.29	Cónico
020	DCNS1.25	29/07/2014	26/08/2014	28	10.01	20.20	2.02	78.63	4.15	521	675.63	Cónico
021	DCNS1.25	29/07/2014	26/08/2014	28	10.00	20.10	2.01	78.56	4.11	597	775.21	Cónico
022	DCNS1.5	29/07/2014	26/08/2014	28	10.00	20.00	2.00	78.59	4.16	523	678.70	Cónico
023	DCNS1.5	29/07/2014	26/08/2014	28	10.01	19.90	1.99	78.63	4.08	564	731.71	Cónico
024	DCNS1.5	29/07/2014	26/08/2014	28	10.01	20.20	2.02	78.67	4.15	494	640.65	Cónico
025	DC5M0.5N	29/07/2014	26/08/2014	28	10.00	20.10	2.01	78.60	4.12	608	788.10	Cónico
026	DC5M0.5N	29/07/2014	26/08/2014	28	10.01	20.30	2.03	78.67	4.10	706	914.27	Cónico
027	DC5M0.5N	29/07/2014	26/08/2014	28	10.01	20.00	2.00	78.67	4.10	412	533.88	Columnar/Cónico
028	DC7.5MS1NS	29/07/2014	26/08/2014	28	10.03	20.00	1.99	78.95	4.08	595	768.69	Cónico
029	DC7.5MS1NS	29/07/2014	26/08/2014	28	10.03	20.00	1.99	78.95	4.08	548	707.51	Cónico
030	DC7.5MS1NS	29/07/2014	26/08/2014	28	10.03	20.00	1.99	79.00	4.11	670	863.92	Cónico
031	DC10M1.5N	29/07/2014	26/08/2014	28	10.00	20.00	2.00	78.54	4.08	801	1040.06	Cónico
032	DC10M1.5N	29/07/2014	26/08/2014	28	10.00	20.20	2.02	78.54	4.08	824	1069.47	Cónico
033	DC10M1.5N	29/07/2014	26/08/2014	28	10.00	20.20	2.02	78.54	4.11	680	882.31	Cónico



V°B°

Ing. Peter Laquita Aduvire  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
CONCRETO Y ASFALTO - MPT

Elaborado Por:

Bach. José Manuel Aguilar Chanini  
TESISTA

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS DE CONCRETO**  
**NORMA ASTM C 39 – ITINTEC 339.034.**

**PROYECTO** : FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA.

**DOMICILIO LEGAL** : UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN –TACNA.

**SOLICITANTE** : Bach. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI.

**ENSAYO 05** : 90 DÍAS DE EDAD.

N°	Elemento Estructural	Fecha:		Características del Testigo						Carga (Kn)	f <sub>c</sub> Alcanzada (Kg/cm <sup>2</sup> )	Observ.
		Vaciado	Rotura	Edad	Diámetro	Altura	H/D	Área	Peso			
001	DCPO	22/07/2014	21/10/2014	91	10.04	20.00	1.99	79.09	3.92	458	590.62	Columnar/Cónico
002	DCPO	22/07/2014	21/10/2014	91	10.03	20.10	2.00	79.01	3.91	473	610.81	Columnar/Cónico
003	DCPO	22/07/2014	21/10/2014	91	10.04	20.00	1.99	79.09	3.93	468	602.67	Columnar/Cónico
004	DCPA	22/07/2014	21/10/2014	91	10.04	20.50	2.04	79.17	4.21	673	866.98	Columnar/Cónico
005	DCPA	22/07/2014	21/10/2014	91	10.04	20.30	2.02	79.17	4.15	779	1002.45	Cónico
006	DCPA	22/07/2014	21/10/2014	91	10.02	20.10	2.01	78.85	4.15	722	933.92	Cónico
007	DCMS10	22/07/2014	21/10/2014	91	10.03	20.20	2.01	79.01	4.16	912	1176.38	Cónico
008	DCMS10	22/07/2014	21/10/2014	91	10.03	20.00	1.99	79.01	4.17	994	1281.95	Cónico
009	DCMS10	22/07/2014	21/10/2014	91	10.04	20.10	2.00	79.17	4.17	959	1234.24	Cónico
010	DCMS12.5	22/07/2014	21/10/2014	91	10.04	20.30	2.02	79.17	4.25	821	1056.63	Cónico
011	DCMS12.5	22/07/2014	21/10/2014	91	10.02	20.40	2.04	78.85	4.21	874	1130.37	Cónico
012	DCMS12.5	22/07/2014	21/10/2014	91	10.04	20.30	2.02	79.17	4.11	846	1089.75	Cónico
013	DCMS15	22/07/2014	21/10/2014	91	10.04	20.20	2.01	79.17	4.11	912	1174.04	Cónico
014	DCMS15	22/07/2014	21/10/2014	91	10.03	20.10	2.00	79.01	4.14	970	1251.79	Cónico
015	DCMS15	22/07/2014	21/10/2014	91	10.03	20.20	2.01	79.01	4.14	959	1236.71	Cónico
016	DCNS1.0	23/07/2014	22/10/2014	91	10.02	20.00	2.00	78.85	4.10	624	806.98	Columnar/Cónico
017	DCNS1.0	23/07/2014	22/10/2014	91	10.03	20.30	2.02	79.01	4.18	669	862.68	Columnar/Cónico



V°B°

Ing. Peter Laquita Aduvire  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
CONCRETO Y ASFALTO - MPT

Elaborado Por:

Bach. José Manuel Aguilar Chanini

TESISTA

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS DE CONCRETO**  
**NORMA ASTM C 39 – ITINTEC 339.034.**

**PROYECTO** : FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA.

**DOMICILIO LEGAL** : UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN –TACNA.

**SOLICITANTE** : Bach. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI.

**ENSAYO 05** : 90 DIAS DE EDAD.

N°	Elemento Estructural	Fecha:		Características del Testigo						Carga (Kn)	f <sub>c</sub> Alcanzada (Kg/cm <sup>2</sup> )	Observ.
		Vaciado	Rotura	Edad	Diámetro	Altura	H/D	Área	Peso			
018	DCNS1.0	23/07/2014	22/10/2014	91	10.02	20.00	2.00	78.85	4.09	701	906.71	Columnar/Cónico
019	DCNS1.25	23/07/2014	22/10/2014	91	10.03	20.00	1.99	79.01	4.12	596	769.17	Columnar
020	DCNS1.25	23/07/2014	22/10/2014	91	10.03	20.00	1.99	79.01	4.12	592	763.14	Columnar
021	DCNS1.25	23/07/2014	22/10/2014	91	10.02	20.00	2.00	78.85	4.12	678	876.49	Columnar/Cónico
022	DCNS1.5	23/07/2014	22/10/2014	91	10.04	20.20	2.01	79.17	4.15	594	764.63	Columnar
023	DCNS1.5	23/07/2014	22/10/2014	91	10.02	20.10	2.01	78.85	4.13	641	828.13	Columnar
024	DCNS1.5	23/07/2014	22/10/2014	91	10.03	20.20	2.01	79.01	4.16	561	723.93	Columnar
025	DC5M0.5N	23/07/2014	22/10/2014	91	10.03	20.30	2.02	79.01	4.19	690	889.83	Columnar/Cónico
026	DC5M0.5N	23/07/2014	22/10/2014	91	10.03	20.10	2.00	79.01	4.15	801	1033.10	Cónico
027	DC5M0.5N	23/07/2014	22/10/2014	91	10.03	20.30	2.02	79.01	4.19	468	603.27	Columnar
028	DC7.5MS1NS	23/07/2014	22/10/2014	91	10.03	20.30	2.02	79.01	4.16	676	871.73	Columnar
029	DC7.5MS1NS	23/07/2014	22/10/2014	91	10.03	20.20	2.01	79.01	4.14	622	802.35	Columnar
030	DC7.5MS1NS	23/07/2014	22/10/2014	91	10.03	20.10	2.00	79.01	4.15	760	980.32	Columnar/Cónico
031	DC10M1.5N	24/07/2014	22/10/2014	90	10.03	20.40	2.03	79.01	4.15	909	1173.36	Cónico
032	DC10M1.5N	24/07/2014	22/10/2014	90	10.02	19.80	1.98	78.85	4.08	935	1208.95	Cónico
033	DC10M1.5N	24/07/2014	22/10/2014	90	10.04	20.10	2.00	79.17	4.17	772	993.42	Cónico



V°B°

Ing. Peter Laquita Aduvire  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
CONCRETO Y ASFALTO - MPT

Elaborado Por

Bach. José Manuel Aguilar Chanini  
TESISTA

**RESISTENCIA A TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL DE  
ESPECÍMENES DE CONCRETO**  
**NORMA ASTM C 496 – NTP 339.084**

**PROYECTO** : FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA.

**DOMICILIO LEGAL** : UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN –TACNA.

**SOLICITANTE** : Bach. JOSÉ MANUEL AGUILAR CHANINI.

**ENSAYO 01** : 28 DIAS DE EDAD.

N°	Elemento Estructural	Fecha:		Características del Testigo			Carga (Kn)	R (kg/cm <sup>2</sup> )
		Vaciado	Rotura	Edad (días)	Diámetro (cm)	Altura (cm)		
001	DCPO	22/07/2014	19/08/2014	28	15.24	30.42	170.00	23.79
002	DCPO	22/07/2014	19/08/2014	28	15.24	30.45	215.00	30.08
003	DCPA	22/07/2014	19/08/2014	28	15.19	30.00	232.00	33.04
004	DCPA	22/07/2014	19/08/2014	28	15.28	30.00	235.00	33.28
005	DCMS10	28/07/2014	25/08/2014	28	15.19	30.48	280.00	39.25
006	DCMS10	28/07/2014	25/08/2014	28	15.19	30.45	306.00	42.93
007	DCMS12.5	28/07/2014	25/08/2014	28	15.24	30.42	315.00	44.08
008	DCMS12.5	28/07/2014	25/08/2014	28	15.24	30.45	314.00	43.92
009	DCMS15	03/08/2014	01/09/2014	29	15.19	30.00	300.00	42.72
010	DCMS15	03/08/2014	01/09/2014	29	15.28	30.00	305.00	43.19
011	DCNS1.0	23/07/2014	19/08/2014	27	15.19	30.48	273.00	38.26
012	DCNS1.0	23/07/2014	19/08/2014	27	15.19	30.45	253.00	35.50
013	DCNS1.25	23/07/2014	20/08/2014	28	15.24	30.42	224.00	31.35
014	DCNS1.25	23/07/2014	20/08/2014	28	15.24	30.45	217.00	30.36
015	DCNS1.50	29/07/2014	25/08/2014	27	15.19	30.00	232.00	33.04
016	DCNS1.50	29/07/2014	25/08/2014	27	15.28	30.00	278.00	39.37
017	DC5M0.5N	29/07/2014	25/08/2014	27	15.19	30.48	228.00	31.96
018	DC5M0.5N	29/07/2014	25/08/2014	27	15.19	30.45	280.00	39.28
019	DC7.5M1N	03/08/2014	01/09/2014	29	15.24	30.42	328.00	45.90
020	DC7.5M1N	03/08/2014	01/09/2014	29	15.24	30.45	290.00	40.57
021	DC10M1.5N	24/07/2014	20/08/2014	27	15.19	30.00	262.00	37.31
022	DC10M1.5N	24/07/2014	20/08/2014	27	15.28	30.00	332.00	47.02



V°B°

Ingeniero Peter Laquita Aduvire  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
— CONCRETO Y ASFALTO - MPT

Elaborado Por:

Bach. José Manuel Aguilar Chanini  
TESISTA



**OBRA** : TESIS “FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA”

**SOLICITANTE** : BACH. AGUILAR CHANINI, JOSÉ MANUEL

**MATERIAL** : MUESTRA

**NORMA** : NORMA ASTM C-78

**FECHA** : 18 DE SEPTIEMBRE DEL 2014.

**FLEXIÓN DE BLOQUES DE CONCRETO**  
**NORMA ASTM C-78**

N°	Elemento Estructural	Fecha:		Características del Testigo				Carga Kn	R (kg/cm <sup>2</sup> )
		Vaciado	Rotura	Edad (días)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Largo (cm)		
001	DCPO	22/07/2014	19/08/2014	28	10.49	10.22	45.00	10.80	135.65
002	DCPO	22/07/2014	19/08/2014	28	10.22	10.06	45.00	13.00	172.97
003	DCPO	22/07/2014	19/08/2014	28	10.20	10.17	45.00	12.80	166.97
004	DCPA	22/07/2014	19/08/2014	28	10.19	10.42	45.00	20.20	251.25
005	DCPA	22/07/2014	19/08/2014	28	10.29	10.31	45.00	17.20	216.40
006	DCPA	22/07/2014	19/08/2014	28	10.18	10.45	45.00	18.50	229.01
007	DCMS10	28/07/2014	25/08/2014	28	10.30	10.53	45.00	24.00	289.19
008	DCMS10	28/07/2014	25/08/2014	28	10.19	11.00	45.00	24.50	273.45
009	DCMS10	28/07/2014	25/08/2014	28	10.28	10.53	45.00	18.00	217.31
010	DCMS12.5	28/07/2014	25/08/2014	28	10.24	10.55	45.00	25.00	301.86
011	DCMS12.5	28/07/2014	25/08/2014	28	10.24	10.94	45.00	28.00	314.40
012	DCMS12.5	28/07/2014	25/08/2014	28	10.21	10.62	45.00	25.80	308.33
013	DCMS15	03/08/2014	01/09/2014	29	10.20	10.15	45.00	22.00	288.11
014	DCMS15	03/08/2014	01/09/2014	29	10.50	10.50	45.00	23.50	279.36
015	DCMS15	03/08/2014	01/09/2014	29	10.20	10.40	45.00	22.40	279.41
016	DCNS1.0	23/07/2014	19/08/2014	27	10.22	10.25	45.00	18.00	230.70
017	DCNS1.0	23/07/2014	19/08/2014	27	10.20	10.26	45.00	18.10	231.98
018	DCNS1.0	23/07/2014	19/08/2014	27	10.05	10.22	45.00	16.40	215.00

**OBSERVACIONES:**

- Las muestras fueron colocadas en el Laboratorio por el solicitante.
- Los datos de origen y las muestras fueron proporcionados al Laboratorio por el solicitante.

Elaborado por:

Mgr. Ing. Esteban B. Machaca Mamani  
 Especialista en Laboratorio ESMI-FAIN  
 CIP 140390



Dr. Ing. Dante Manzanares Cáceres  
 Jefe de Laboratorio  
 CIP 20617



**OBRA** : TESIS “FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA”

**SOLICITANTE** : BACH. AGUILAR CHANINI, JOSÉ MANUEL

**MATERIAL** : MUESTRA

**NORMA** : NORMA ASTM C-78

**FECHA** : 18 DE SEPTIEMBRE DEL 2014.

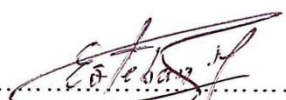
**FLEXIÓN DE BLOQUES DE CONCRETO**  
**NORMA ASTM C-78**

N°	Elemento Estructural	Fecha:		Características del Testigo				Carga Kn	R (kg/cm <sup>2</sup> )
		Vaciado	Rotura	Edad (días)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Largo (cm)		
019	DCNS1.25	23/07/2014	20/08/2014	28	10.15	10.26	45.00	17.00	218.95
020	DCNS1.25	23/07/2014	20/08/2014	28	10.12	10.21	45.00	19.20	250.46
021	DCNS1.25	23/07/2014	20/08/2014	28	10.20	10.26	45.00	16.60	212.75
022	DCNS1.50	29/07/2014	25/08/2014	27	10.22	10.31	45.00	16.00	202.68
023	DCNS1.50	29/07/2014	25/08/2014	27	10.33	10.50	45.00	16.00	193.33
024	DCNS1.50	29/07/2014	25/08/2014	27	10.22	10.23	45.00	15.90	204.58
025	DC5M0.5N	29/07/2014	25/08/2014	27	10.27	10.34	45.00	20.40	255.67
026	DC5M0.5N	29/07/2014	25/08/2014	27	10.18	10.63	45.00	18.00	215.34
027	DC5M0.5N	29/07/2014	25/08/2014	27	10.28	10.67	45.00	20.50	241.04
028	DC7.5M1N	03/08/2014	01/09/2014	29	10.40	10.50	45.00	22.60	271.24
029	DC7.5M1N	03/08/2014	01/09/2014	29	10.10	10.20	45.00	24.10	315.62
030	DC7.5M1N	03/08/2014	01/09/2014	29	10.30	10.20	45.00	19.80	254.27
031	DC10M1.5N	24/07/2014	20/08/2014	27	10.19	10.24	45.00	9.00	115.91
032	DC10M1.5N	24/07/2014	20/08/2014	27	10.18	10.49	45.00	19.00	233.41
033	DC10M1.5N	24/07/2014	20/08/2014	27	10.25	10.28	45.00	19.40	246.47

**OBSERVACIONES:**

- Las muestras fueron colocadas en el Laboratorio por el solicitante.
- Los datos de origen y las muestras fueron proporcionados al Laboratorio por el solicitante.

Elaborado por:

  
 Mgr. Ing. Esteban B. Machaca Mamani  
 Especialista en Laboratorio ESMI-FAIN  
 CIP 140390

  
  
 Dr. Ing. Dante Manzanares Cáceres  
 Jefe de Laboratorio  
 CIP 20617

*ANEXO 08:*

*CERTIFICACIÓN DEL LABORATORIO DE  
MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO –  
MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE TACNA.*

## CONSTANCIA

El que suscribe, Jefe del Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto de la Municipalidad Provincial de Tacna hace constar que el Sr. **Bach. José Manuel Aguilar Chanini** ha realizado los ensayos de laboratorio correspondientes a su Tesis titulado "FABRICACIÓN Y EVALUACION DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SÍLICES CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP EN LA CIUDAD DE TACNA"; para lo cual hizo uso de las instalaciones y equipos estandarizados de esta dependencia.

Asimismo hacemos constar que el Sr. Bachiller ha realizado los siguientes ensayos de materiales como el análisis granulométrico por tamizado, peso específico, peso unitario, porcentaje de absorción y contenido de humedad; los ensayos de concretos en estado fresco de pesos unitarios, contenidos de aire, asentamientos y capacidad de paso; y los ensayos en estado endurecido de tracción por compresión diametral y rotura por compresión de especímenes de concreto preparados y curados en los ambientes del laboratorio de Mecánica de suelos, concreto y asfalto de la MPT.

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para los fines que crea por conveniente.

Tacna, 05 de Diciembre del 2014.

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE TACNA  
Gerencia Producción de Bienes y Servicios

.....  
*Ing. Peter Vaquita Aduvire*  
Registro del Colegio de Ingenieros N° 60821  
Laboratorio Mecánica de Suelos, Asfalto y Concreto

**INFORME N° 129-2014-LMSCA-GPBS-MPT**

**AL** : Ing. ALEJANDRO TEOBALDO GONZALES HUARAGUARA  
Gerente de Producción de Bienes y Servicios.

**DEL** : Ing. PETER LAQUITA ADUVIRE  
Equipo Funcional de LMSCA.

**ASUNTO** : Culminación de los trabajos de investigación para Tesis.

**REFERENCIA** : Oficio N° 442-2014-FIAG/UNJBG  
Hoja de trámite, N° Reg. 1100 de fecha 25 de Junio del 2014

**FECHA** : Tacna, 04 de Noviembre del 2014.



Por medio del presente tengo a bien dirigirme a usted, para saludarlo cordialmente y hacer de su conocimiento que en virtud al documento de la referencia, esta dependencia dio las facilidades para el uso de los equipos necesarios, al **Bach. Ing. Civil José Manuel Aguilar Chanini** en los trabajos de investigación para la tesis "**Fabricación y evaluación de concreto de alta resistencia usando aditivo superplastificante y sílice con cemento portland tipo IP en la ciudad de Tacna**" conducente a la obtención del Título Profesional.

Cabe señalar que para estos trabajos de investigación, el interesado presentó un cronograma de desarrollo de actividades que se llevó a cabo en su totalidad, las actividades y ensayos que se llevaron a cabo tienen el visto bueno de esta dependencia, y se detallan a continuación:

- Preparación de las muestras
- Resistencia a la compresión
- Resistencia a la tracción
- Determinación del Peso específico
- Análisis granulométrico
- Pesos unitarios de concreto fresco
- Asentamiento y contenido de aire

Con fecha 25 de Noviembre se dio cumplimiento al cronograma de ejecución a los trabajos en esta dependencia, por lo tanto se da por Concluido el apoyo brindado al **Bach. Ing. Civil José Manuel Aguilar Chanini**, de la Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia - Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna.

Es lo que informo a usted para su conocimiento y fines del caso.

Atentamente

PLA/raa  
CcArchivo

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE TACNA  
Gerencia Producción de Bienes y Servicios

.....  
Ing. Peter Laquita Aduvire  
Registro del Colegio de Ingenieros N° 60821  
Laboratorio Mecánica de Suelos, Asfalto y Concreto

*ANEXO 09:*

*ORDEN DE SERVICIO DE LA PONTIFICIA*

*UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ.*

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS ANTISÍSMICAS**

**ORDEN DE SERVICIO**

LEDI-Adm-4.01 Revisión N°4

INF - LE N°347-14

Fecha: 2014-10-20.

**DATOS DEL CLIENTE**

NOMBRE DE LA

EMPRESA: *Jose Manuel Aguilar Chamini*

DIRECCIÓN DE LA

EMPRESA: *Asoc Nuevo Hogar HZA - 11-12 - Coronel Gregorio Albarracín - Tarma*

R.U.C.:

*450090472*

TELÉFONOS

*990054499*

FAX:

RESPONSABLE POR

EMPRESA: *Ing. Edgar Choro Aracatiza*

PORTADOR:

*X Email*

PROCEDENCIA

OBRA: *Fabricación y Evaluación de Concreto de Alta Resistencia con Aditivo*

DIRECCIÓN DE LA

OBRA\*: *Superplastificante y Silices con Cemento Portland tipo IP*

\* Llenar sólo cuando sea aplicable.

**DATOS DEL SERVICIO**

MATERIALES RECIBIDOS	N° RECEPCION	ENSAYOS SOLICITADOS	CÓDIGO NORMA <sup>2</sup>	CANTIDAD	P.U.	TOTAL
<i>Concreto en alto</i>	<i>3964</i>	<i>Tiempo de fraguado</i>		<i>01</i>	<i>700.00</i>	<i>700.00</i>
<i>Resistencia</i>		<i>Modulo de Elasticidad</i>		<i>02</i>	<i>250.00</i>	<i>500.00</i>
		<i>Compresión en probeta</i>		<i>02</i>	<i>14.00</i>	<i>14.00</i>
		<i>Estender</i>				

OBSERVACIONES:

*Segun LE CP - 251 - 2014*

**CONDICIONES DEL SERVICIO**

COSTO TOTAL	ADELANTO	SALDO	PLAZO DE EJECUCIÓN
<i>1,214</i>	<i>60%</i>	<i>40%</i>	<i>Segun Coordinación con el cliente.</i>
	<i>728.40</i>	<i>485.60</i>	RESPONSABLE LABORATORIO:
PREVENTA N°	<i>67411000173</i>	<i>67411000182</i>	<i>Ing. L. N. A.</i>
POR EL CLIENTE:	<i>fwamnd@hotmail.com</i>	<i>67411000193</i>	POR LEDI - PUCP:
D.N.I.:			<i>[Firma]</i>
RECOGIDO POR:	NOMBRE Y FIRMA	D.N.I.	FECHA

Nota: 1. Transcurridas 24 horas de emitida esta orden de servicio y firmada por el Cliente, no se aceptarán modificaciones o cambios en las condiciones de los ensayos y/o servicios contratados. En los servicios prioritarios no se aceptan cambios.  
2. La identificación del código de la norma, cuando no está explícita, se encuentra al reverso.

**CONTROL INTERNO**

*ANEXO 10:*

*GUIDE FOR SELECTING PROPORTION FOR*

*HIGH – STRENGTH CONCRETE WITH PORTLAND*

*CEMENT AND FLY ASH.*

# Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash

Reported by ACI Committee 211

Gary R. Mass  
Chairman

Olga Alonzo\*  
William L Barringer  
Stanley G. Barton  
Leonard W. Bell  
James E. Bennett  
Mike Boyle\*  
George R.U. Burg  
Ramon L Carrasquillo\*  
James E. Cook\*  
Russell A. Cook  
David A. Crocker  
Guy Detwiler\*  
Donald E. Dixon

Calvin L. Dodl  
Thomas A. Fox\*  
George W. Hollow  
Tarif M. Jaber\*  
Stephen M. Lane  
Stanley H. Lee  
Mark Luther\*  
Richard C. Meininger  
James S. Pierce  
Mike Pistilli\*  
Sandor Popovics\*  
Steven E. Ragan

Donald Schlegel  
James M. Shilstone, Jr.\*  
Paul R. Stodola  
William X. Sypher  
Ava Shypula\*  
Jimmie L Thompson\*  
Stanley J. Virgalitte  
Woodward L Vogt  
Jack W. Weber  
Dean J. White, II†  
Marshall S. Williams  
John R. Wilson

\* Members of subcommittee who prepared the report.

† Subcommittee Chairman.

*This guide presents a generally applicable method for selecting mixture proportions for high-strength concrete and optimizing these mixture proportions on the basis of trial batches. The method is limited to high-strength concrete produced using conventional materials and production techniques.*

*Recommendations and tables are based on current practice and information provided by contractors, concrete suppliers, and engineers who have been involved in projects dealing with high-strength concrete.*

**Keywords:** aggregates; capping; chemical admixtures; fine aggregates; fly ash; high-strength concretes; mixture proportioning; quality control; specimen size; strength requirements; superplasticizers.

## CONTENTS

### Chapter 1-Introduction, pg. 211.4R-1

- 1.1-Purpose
- 1.2-Scope

### Chapter 2-Performance requirements, pg. 211.4R-2

- 2.1-Test age
- 2.2-Required strength
- 2.3-Other requirements

### Chapter 3-Fundamental relationships, pg. 211.4R-3

- 3.1-Selection of materials
- 3.2-Water-cementitious materials ratio ( $w/c + p$ )
- 3.3-Workability
- 3.4-Strength measurements

### Chapter 4-High-strength concrete mixture proportioning, pg. 211.4R-5

- 4.1-Purpose
- 4.2-Introduction
- 4.3-Mixture proportioning procedure

### Chapter 5-Sample calculations, pg. 21.4R-8

- 5.1-Introduction
- 5.2-Example

### Chapter 6-References, pg. 211.4R-13

- 6.1-Recommended references

## CHAPTER 1-INTRODUCTION

### 1.1.Purpose

The current ACI 211.1 mixture proportioning procedure

ACI 211.4R-93 became effective September 1, 1993.

Copyright © 1993, American Concrete Institute.

All rights reserved including rights of reproduction and use in any form or by any means, including the making of copies by any photo process, or by any electronic or mechanical device, printed, written, or oral, or recording for sound or visual reproduction or for use in any knowledge or retrieval system or device, unless permission in writing is obtained from the copyright proprietors.

ACI Committee Reports, Guides, Standard Practices, and Commentaries are intended for guidance in designing, planning, executing, or inspecting construction and in preparing specifications. References to these documents shall not be made in the Project Documents. If items found in these documents are desired to be a part of the Project Documents, they should be phrased in mandatory language and incorporated into the Project Documents.

ture describes methods for selecting proportions for normal strength concrete in the range of 2000 to 6000 psi. Mixture proportioning is more critical for high-strength concrete than for normal strength concrete. Usually, specially selected pozzolanic and chemical admixtures are employed, and attainment of a low water-to-cementitious material ratio ( $w/c+p$ ) is considered essential. Many trial mixtures are often required to generate the data necessary to identify optimum mixture proportions. The purpose of this guide is to present a generally applicable method for selecting mixture proportions for high-strength concrete and for optimizing these mixture proportions on the basis of trial batches.

### 1.2-Scope

Discussion in this guide is limited to high-strength concrete produced using conventional materials and production methods. Consideration of silica fume and ground granulated blast furnace slag (GGBFS) is beyond the scope of this document. Information on proportioning of silica fume concrete is limited at this time. ACI Committee 234, Silica Fume in Concrete, is developing information on the use of silica fume for a committee report. Proportioning GGBFS concrete is discussed in ACI 226-1R (now ACI Committee 233). When additional data becomes available, it is expected that an ACI guide for proportioning concrete with these materials will be developed. Currently, silica fume and GGBFS suppliers, as well as experienced concrete suppliers, represent the best source of proportioning information for these materials.

High-strength concrete is defined as concrete that has a specified compressive strength  $f'_c$  of 6000 psi or greater. This guide is intended to cover field strengths up to 12,000 psi as a practical working range, although greater strengths may be obtained. Recommendations are based on current practice and information from contractors, concrete suppliers, and engineers who have been involved in projects dealing with high-strength concrete. For a more complete list of references and available publications on the topic, the reader should refer to ACI 363R.

## CHAPTER 2-PERFORMANCE REQUIREMENTS

### 2.1-Test age

The selection of mixture proportions can be influenced by the testing age. High-strength concretes can gain considerable strength after the normally specified 28-day age. To take advantage of this characteristic, many specifications for compressive strength have been modified from the typical 28-day criterion to 56 days, 91 days, or later ages. Proportions of cementitious components usually have been adjusted to produce the desired strength at the test age selected.

### 2.2-Required strength

ACI 318 allows concrete mixtures to be proportioned

based on field experience or laboratory trial batches. To meet the specified strength requirements, the concrete must be proportioned in such a manner that the average compressive strength results of field tests exceed the specified design compressive strength  $f'_c$  by an amount sufficiently high to make the probability of low tests small. When the concrete producer chooses to select high-strength concrete mixture proportions based upon field experience, it is recommended that the required average strength  $f'_{cr}$  used as the basis for selection of concrete proportions be taken as the larger value calculated from the following equations

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34s \quad (2-1)$$

$$f'_{cr} = 0.90f'_c + 2.33s \quad (2-2)$$

where  $s$  = sample standard deviation in psi.

Eq. (2-1) is Eq. (5-1) of the ACI 318 Building Code. Eq. (2-2) is a modified version of Eq. (5-2) ( $f'_{cr} = f'_c + 2.33s - 500$ ) of the modified ACI 318 because, to date, job specifications for high-strength concrete have usually more than 1 in 100 individual tests that will fall below 90 percent of the specified strength. When job specifications cite ACI 318 acceptance criteria, Eq. (5-2) of ACI 318 should be used instead of Eq. (2-2) of this report.

When the concrete producer selects high-strength concrete proportions on the basis of laboratory trial batches, the required average strength  $f'_{cr}$  may be determined from the equation

$$f'_{cr} = \frac{(f'_c + 1400)}{0.90} \quad (2-3)$$

Eq. (2-3) gives a higher required average strength value than that required in Table 5.3.2.2 of the ACI Building Code (ACI 318). Experience has shown that strength tested under ideal field conditions attains only 90 percent of the strength measured by tests performed under laboratory conditions. To assume that the average strength of field production concrete will equal the strength of a laboratory trial batch is not realistic, since many factors can influence the variability of strengths and strength measurements in the field. Initial use of a high-strength concrete mixture in the field may require some adjustments in proportions for air content and yield, and for the requirements listed below, as appropriate. Once sufficient data have been generated from the job, mixture proportions should be reevaluated using ACI 214 and adjusted accordingly.

### 2.3-Other requirements

Considerations other than compressive strength may influence the selection of materials and mixture proportions. These include: a) modulus of elasticity, b) flexural and tensile strengths, c) heat of hydration, d) creep and drying shrinkage, e) durability, f) permeability, g) time of

setting, h) method of placement, and i) workability.

## CHAPTER 3-FUNDAMENTAL RELATIONSHIPS

### 3.1-Selection of materials

Effective production of high-strength concrete is achieved by carefully selecting, controlling, and proportioning all of the ingredients. To achieve higher strength concretes, optimum proportions must be selected, considering the cement and fly ash characteristics, aggregate quality, paste proportion, aggregate-paste interaction, admixture type and dosage rate, and mixing. Evaluating cement, fly ash, chemical admixture, and aggregate from various potential sources in varying proportions will indicate the optimum combination of materials. The supplier of high-strength concrete should implement a program of uniformity and acceptance tests for all materials used in the production of high-strength concrete.

**3.1.1 Portland cement**-Proper selection of the type and source of cement is one of the most important steps in the production of high-strength concrete. ASTM C 917 may be useful in considering cement sources. Variations in the chemical composition and physical properties of the cement affect the concrete compressive strength more than variations in any other single material. For any given set of materials, there is an optimum cement content beyond which little or no additional increase in strength is achieved from increasing the cement content.

**3.1.2 Other cementitious materials**-Finely divided cementitious materials other than portland cement, consisting mainly of fly ash, ground blast furnace slag, or silica fume (microsilica), have been considered in the production of high-strength concrete because of the required high cementitious materials content and low  $w/c+p$ . These materials can help control the temperature rise in concrete at early ages and may reduce the water demand for a given workability. However, early strength gain of the concrete may be decreased.

ASTM C 618 specifies the requirements for Class F and Class C fly ashes, and for raw or calcined natural pozzolans, Class N, for use in concrete. Fly ash properties may vary considerably in different areas and from different sources within the same area. The preferred fly ashes for use in high-strength concrete have a loss on ignition no greater than 3 percent, have a high fineness, and come from a source with a uniformity meeting ASTM C 618 requirements.

**3.1.3 Mixing water**-The acceptability of the water for high-strength concrete is not of major concern if potable water is used. Otherwise, the water should be tested for suitability in accordance with ASTM C 94.

**3.1.4 Coarse aggregate**--In the proportioning of high-strength concrete, the aggregates require special consideration since they occupy the largest volume of any ingredient in the concrete, and they greatly influence the strength and other properties of the concrete. Usually,

high-strength concretes are produced with normal weight aggregates. However, there have been reports of high-strength concrete produced using lightweight aggregates for structural concrete and heavyweight aggregates for high-density concrete.

The coarse aggregate will influence significantly the strength and structural properties of the concrete. For this reason, a coarse aggregate should be chosen that is sufficiently hard, free of fissures or weak planes, clean, and free of surface coatings. Coarse aggregate properties also affect aggregate-mortar bond characteristics and mixing water requirements. Smaller size aggregates have been shown to provide higher strength potential.

For each concrete strength level, there is an optimum size for the coarse aggregate that will yield the greatest compressive strength per pound of cement. A 1 or  $3/4$ -in. nominal maximum-size aggregate is common for producing concrete strengths up to 9000 psi; and  $1/2$  or  $3/8$ -in. above 9000 psi. In general, the smallest size aggregate produces the highest strength for a given  $w/c+p$ . However, compressive strengths in excess of 10,000 psi are feasible using a 1-in. nominal maximum-size aggregate when the mixture is proportioned with chemical admixtures. The use of the largest possible coarse aggregate is an important consideration if optimization of modulus of elasticity, creep, and drying shrinkage are important.

**3.1.5 Fine aggregate**-The grading and particle shape of the fine aggregate are significant factors in the production of high-strength concrete. Particle shape and surface texture can have as great an effect on mixing water requirements and compressive strength of concrete as do those of coarse aggregate. Fine aggregates of the same grading but with a difference of 1 percent in voids content may result in a 1 gal. per  $yd^3$  difference in water demand. More information can be found in ACI 211.1.

The quantity of paste required per unit volume of a concrete mixture decreases as the relative volume of coarse aggregate versus fine material increases. Because the amount of cementitious material contained in high-strength concrete is large, the volume of fines tends to be high. Consequently, the volume of sand can be kept to the minimum necessary to achieve workability and compactibility. In this manner, it will be possible to produce higher strength concretes for a given cementitious material content.

Fine aggregates with a fineness modulus (FM) in the range of 2.5 to 3.2 are preferable for high-strength concretes. Concrete mixtures made with a fine aggregate that has an FM of less than 2.5 may be "sticky" and result in poor workability and a higher water requirement. It is sometimes possible to blend sands from different sources to improve their grading and their capacity to produce higher strengths. If manufactured sands are used, consideration should be given to a possible increase in water demand for workability. The particle shape and the increased surface area of manufactured sands over natural sands can significantly affect water demand.

**3.1.6 Chemical admixtures**-In the production of con-

crete, decreasing the  $w/c+p$  by decreasing the water requirement rather than by increasing the total cementitious materials content, will usually produce higher compressive strengths. For this reason, use of chemical admixtures should be considered when producing high-strength concrete (see ACI 212.3R and ASTM C 494). In this guide, chemical admixture dosage rates are based on fluid oz per 100 lb of total cementitious material (oz/cwt). If powdered admixtures are used, dosage rates are on a dry weight basis. The use of chemical admixtures may improve and control the rate of hardening and slump loss, and result in accelerated strength gain, better durability, and improved workability.

High-range water-reducing admixtures (HRWR), also known as superplasticizers, are most effective in concrete mixtures that are rich in cement and other cementitious materials. HRWR help in dispersing cement particles, and they can reduce mixing water requirements by up to 30 percent, thereby increasing concrete compressive strengths.

Generally, high-strength concretes contain both a conventional water-reducing or water-reducing and retarding admixture and an HRWR. The dosage of the admixtures will most likely be different from the manufacturer's recommended dosage. Although only limited information is available, high-strength concrete has also been produced using a combination of chemical admixtures such as a high dosage rate of a normal-set water reducer and a set accelerator. The performance of the admixtures is influenced by the particular cementitious materials used. The optimum dosage of an admixture or combination of admixtures should be determined by trial mixtures using varying amounts of admixtures. The best results are achieved generally when an HRWR is added after the cement has been wetted in the batching and mixing operation.

Air-entraining admixtures are seldom used in high-strength concrete building applications when there are no freeze-thaw concerns other than during the construction period. If entrained air is required because of severe environments, it will reduce significantly the compressive strength of the concrete.

### 3.2-Water-cementitious material ratio ( $w/c+p$ )

Many researchers have concluded that the single most important variable in achieving high-strength concrete is the water-cement ratio ( $w/c$ ). Since most high-strength concrete mixtures contain other cementitious materials, a  $w/c+p$  ratio must be considered in place of the traditional  $w/c$ . The  $w/c+p$ , like the  $w/c$ , should be calculated on a weight basis. The weight of water in HRWR should be included in the  $w/c+p$ .

The relationship between  $w/c$  and compressive strength, which has been identified in normal strength concretes, has been found to be valid for higher strength concretes as well. The use of chemical admixtures and other cementitious materials has been proven generally essential to producing placeable concrete with a low  $w/c$ .

$w/c+p$  for high-strength concretes typically have ranged from 0.20 to 0.50.

### 3.3-Workability

**3.3.1 Introduction**-For the purpose of this guide, workability is that property of freshly mixed concrete that determines the ease with which it can be properly mixed, placed, consolidated, and finished without segregation.

**3.3.2 Slump**-In general, high-strength concretes should be placed at the lowest slump which can be properly handled and consolidated in the field. A slump of 2 to 4 in. provides the required workability for most applications. However, reinforcement spacing and form details should be considered prior to development of concrete mixtures.

Because of a high coarse aggregate and cementitious materials content and low  $w/c+p$ , high-strength concrete can be difficult to place. However, high-strength concrete can be placed at very high slumps with HRWR without segregation problems. Flowing concretes with slumps in excess of 8 in., incorporating HRWR, are very effective in filling the voids between closely spaced reinforcement. In delivery situations where slump loss may be a problem, a placeable slump can be restored successfully by redosing the concrete with HRWR. A second dosage of HRWR results in increased strengths at nearly all test ages. This practice has been advantageous especially in using HRWR for hot-weather concreting.

### 3.4-Strength measurements

**3.4.1 Test method**-standard ASTM or AASHTO test methods are followed except where changes are indicated by the characteristics of the high-strength concrete (ACI 363R). The potential strength for a given set of materials can be established only if specimens are made and tested under standard conditions. A minimum of two specimens should be tested for each age and test condition.

**3.4.2 Specimen size**-Generally, 6 x 12-m cylindrical specimens are specified as the standard for strength evaluation of high-strength concrete. However, some 4 x 8-in. cylinders have been used for strength measurements. The specimen size used by the concrete producer to determine mixture proportions should be compatible with the load capacity of the testing machine and consistent with the cylinder size specified by the designer for acceptance. Measurements of strength using 6 x 12-m cylinders are not interchangeable with those obtained when using 4 x 8-in. cylinders.

**3.4.3 Type of molds**--The type of mold used will have a significant effect on the measured compressive strength. In general, companion specimens cast using steel molds achieve more consistent compressive strengths than those cast using plastic molds. Molds made of cardboard material are not recommended for casting high-strength concrete specimens. Single-use rigid plastic molds have been used successfully on high-strength concrete projects.

Regardless of the type of mold material, it is important that the type used for establishing mixture propor-

tions be the same type as that used for final acceptance testing.

**3.4.4 Specimen capping**--Prior to testing a cylinder, the ends usually are capped to provide for a uniform transmission of force from a testing machine platen into the specimen body. Sulfur mortar is the most widely used capping material and, when properly prepared, is economical, convenient, and develops a relatively high strength in a short period of time.

Cap thickness should be as thin as practical, in the range of **1/16 to 1/8 in.** for high-strength concrete specimens. A commercially available high-strength sulfur capping material has been used to determine concrete strengths in excess of 10,000 psi, with cap thicknesses maintained at approximately **1/8 in.** When using a sulfur capping material on high-strength concrete specimens, it is important that irregular end conditions are corrected prior to capping. Irregular end conditions and air voids between the cap and the cylinder end surfaces can adversely affect the measured compressive strength. Some concrete technologists prefer to form or grind specimen ends to ASTM C 39 tolerance when compressive strengths are greater than 10,000 psi.

**3.4.5 Testing machines**--Testing machine characteristics, mainly load capacity and stiffness, can have a significant influence on measured strength results. Good test results and minimum variation have been obtained when testing high-strength concrete cylinders using a testing machine with a minimum lateral stiffness of **10<sup>5</sup> lb/in.** and a longitudinal stiffness of at least **107 lb/in.** Testing machines that are laterally flexible can reduce the measured compressive strength of a specimen.

## CHAPTER 4-HIGH-STRENGTH CONCRETE MIXTURE PROPORTIONING

### 4.1-Purpose

This guide procedure for proportioning high-strength concrete mixtures is applicable to normal weight, non-air-entrained concrete having compressive strengths between 6000 and 12,000 psi ( $f_{cr}'$ ). When proportioning high-strength concrete mixtures, the basic considerations are still to determine the ingredient quantities required to produce a concrete with the desired plastic properties (workability, finishability, etc.) and hardened properties (strength, durability, etc.) at the lowest cost. Proper proportioning is required for all materials used. Because the performance of high-strength concrete is highly dependent on the properties of its individual components, this proportioning procedure is meant to be a reasonable process to produce submittal mixture proportions based on the performance of adjusted laboratory and field trial batches. Guidelines for the adjustment of mixture proportions are provided at the end of this chapter. This procedure further assumes that the properties and characteristics of the materials used in the trial mixtures are adequate to achieve the desired concrete compressive

**Table 4.3.1 — Recommended slump for concretes with and without HRWR**

Concrete made using HRWR*	
Slump before adding HRWR	1 to 2 in.
Concrete made without HRWR	
Slump	2 to 4 in.

\* Adjust slump to that desired in the field through the addition of HRWR.

strength. Guidelines for the selections of materials for producing high-strength concrete are provided in ACI 363R.

Before starting the proportioning of high-strength concrete mixtures, the project specifications should be reviewed. The review will establish the design criteria for specified strengths, the age when strengths are to be attained, and other testing acceptance criteria.

### 4.2-Introduction

The procedure described in ACI 211.1 for proportioning normal strength concrete is similar to that required for high-strength concrete. The procedure consists of a series of steps, which when completed provides a mixture meeting strength and workability requirements based on the combined properties of the individually selected and proportioned components. However, in the development of a high-strength concrete mixture, obtaining the optimum proportions is based on a series of trial batches having different proportions and contents of cementitious materials.

### 4.3-Mixture proportioning procedure

**Completion of the following steps will result in a set of adjusted high-strength concrete laboratory trial proportions. These proportions will then provide the basis for field testing concrete batches from which the optimum mixture proportions may be chosen.**

**4.3.1 Step 1-Select slump and required concrete strength**--Recommended values for concrete slump are given in Table 4.3.1. Although high-strength concrete with HRWR has been produced successfully without a measurable initial slump, an initial starting slump of 1 to 2 in. prior to adding HRWR is recommended. This will insure an adequate amount of water for mixing and allow the superplasticizer to be effective.

For high-strength concretes made without HRWR, a recommended slump range of 2 to 4 in. may be chosen according to the type of work to be done. A minimum value of 2 in. of slump is recommended for concrete without HRWR. Concretes with less than 2 in. of slump are difficult to consolidate due to the high coarse aggregate and cementitious materials content.

The required concrete strength to use in the trial mixture procedure should be determined using the guidelines provided in Chapter 2.

**4.3.2 Step 2-Select maximum size of aggregate**--Based on strength requirements, the recommended maximum

Table 4.3.2— Suggested maximum-size coarse aggregate

Required concrete strength, psi	Suggested maximum-size coarse aggregate, in.
<9000	¾ to 1
>9000	¾ to ½*

\* When using HRWR and selected coarse aggregates, concrete compressive strengths in the range of 9000 to 12,000 psi can be attained using larger than recommended nominal maximum-size coarse aggregates of up to 1 in.

Table 4.3.3— Recommended volume of coarse aggregate per unit volume of concrete

Optimum coarse aggregate contents for nominal maximum sizes of aggregates to be used with sand with fineness modulus of 2.5 to 3.2				
Nominal maximum size, in.	¾	1/2	¾	1
Fractional volume* of oven-dry rodded coarse aggregate	0.65	0.68	0.72	0.75

\* Volumes are based on aggregates in oven-dry rodded condition as described in ASTM C 29 for unit weight of aggregates.

sizes for coarse aggregates are given in Table 4.3.2. ACI 318 states the maximum size of an aggregate should not exceed one-fifth of the narrowest dimension between sides of forms, one-third of the depth of slabs, nor three-quarters of the minimum clear spacing between individual reinforcing bars, bundles of bars, or prestressing tendons or ducts.

#### 4.3.3 Step 3—Select optimum coarse aggregate content

The optimum content of the coarse aggregate depends on its strength potential characteristics and maximum size. The recommended optimum coarse aggregate contents, expressed as a fraction of the dry-rodded unit weight (DRUW), are given in Table 4.3.3 as a function of nominal maximum size.

Once the optimum coarse aggregate content has been chosen from Table 4.3.3, the oven-dry (OD) weight of the coarse aggregate per yd<sup>3</sup> of concrete can be calculated using Eq. (4-1)

$$\text{weight of coarse aggregate (O.D.)} = (\% \times \text{DRUW}) \times (\% \times 27) \quad (4-1)$$

In proportioning normal strength concrete mixtures, the optimum content of coarse aggregate is given as a function of the maximum size and fineness modulus of the fine aggregate. High-strength concrete mixtures, however, have a high content of cementitious material, and thus are not so dependent on the fine aggregate to supply fines for lubrication and compactibility of the fresh concrete. Therefore, the values given in Table 4.3.3 are recommended for use with sands having fineness modulus values from 2.5 to 3.2.

#### 4.3.4 Step 4—Estimate mixing water and air contents

The quantity of water per unit volume of concrete required to produce a given slump is dependent on the maximum size, particle shape, and grading of the aggregate,

Table 4.3.4— First estimate of mixing water requirement and air content of fresh concrete based on using a sand with 35 percent voids

Slump, in.	Mixing water, lb/yd <sup>3</sup>			
	Maximum-size coarse aggregate, in.			
	¾	½	¾	1
1 to 2	310	295	285	280
2 to 3	320	310	295	290
3 to 4	330	320	305	300
Entrapped air content*	3 (2.5)†	2.5 (2.0)	2 (1.5)	1.5 (1.0)

\* Values given must be adjusted for sands with voids other than 35 percent using Eq. 4-3.

† Mixtures made using HRWR.

gate, the quantity of cement, and type of water-reducing admixture used. If an HRWR is used, the water content in this admixture is calculated generally to be a part of the  $w/c+p$ . Table 4.3.4 gives estimates of required mixing water for high-strength concretes made with ¾ to 1 in. maximum-size aggregates prior to the addition of any chemical admixture. Also given are the corresponding values for entrapped air content. These quantities of mixing water are maximums for reasonably well-shaped, clean, angular coarse aggregates, well-graded within the limits of ASTM C 33. Because particle shape and surface texture of a fine aggregate can significantly influence its voids content, mixing water requirements may be different from the values given.

The values for the required mixing water given in Table 4.3.4 are applicable when a fine aggregate is used that has a void content of 35 percent. The void content of a fine aggregate may be calculated using Eq. (4-2)

$$\text{Void content, } V, \% = \left( 1 - \frac{\text{Oven-dry rodded unit weight}}{\text{Bulk specific gravity (dry)} \times 62.4} \right) \times 100 \quad (4-2)$$

When a fine aggregate with a void content not equal to 35 percent is used, an adjustment must be made to the recommended mixing water content. This adjustment may be calculated using Eq. (4-3)

$$\text{Mixing water adjustment, lbs/yd}^3 = (V - 35) \times 8 \quad (4-3)$$

Use of Eq. (4-3) results in a water adjustment of 8 lb/yd<sup>3</sup> of concrete for each percent of voids deviation from 35 percent.

**4.3.5 Step 5—Select  $w/c+p$** —In high-strength concrete mixtures, other cementitious material, such as fly ash, may be used. The  $w/c+p$  is calculated by dividing the weight of the mixing water by the combined weight of the cement and fly ash.

In Tables 4.3.5(a) and (b), recommended maximum  $w/c+p$  are given as a function of maximum-size aggregate

**Table 4.3.5(a)— Recommended maximum  $w/c + p$  for concretes made without HRWR**

Field strength $f_{\sigma}'$ , psi		$w/c + p$			
		Maximum-size coarse aggregate, in.			
		3/8	1/2	3/4	1
7000	28-day	0.42	0.41	0.40	0.39
	56-day	0.46	0.45	0.44	0.43
8000	28-day	0.35	0.34	0.33	0.33
	56-day	0.38	0.37	0.36	0.35
9000	28-day	0.30	0.29	0.29	0.28
	56-day	0.33	0.32	0.31	0.30
10,000	28-day	0.26	0.26	0.25	0.25
	56-day	0.29	0.28	0.27	0.26

\*  $f_{\sigma}' = f_c' + 1400$ .**Table 4.3.5(b)— Recommended maximum  $w/c + p$  ratio for concretes made with HRWR**

Field strength $f_{\sigma}'$ , psi		$w/c + p$			
		Maximum-size coarse aggregate, in.			
		3/8	1/2	3/4	1
7000	28-day	0.50	0.48	0.45	0.43
	56-day	0.55	0.52	0.48	0.46
8000	28-day	0.44	0.42	0.40	0.38
	56-day	0.48	0.45	0.42	0.40
9000	28-day	0.38	0.36	0.35	0.34
	56-day	0.42	0.39	0.37	0.36
10,000	28-day	0.33	0.32	0.31	0.30
	56-day	0.37	0.35	0.33	0.32
11,000	28-day	0.30	0.29	0.27	0.27
	56-day	0.33	0.31	0.29	0.29
12,000	28-day	0.27	0.26	0.25	0.25
	56-day	0.30	0.28	0.27	0.26

\*  $f_{\sigma}' = f_c' + 1400$ .

Note: A comparison of the values contained in Tables 4.3.5(a) and 4.3.5(b) permits, in particular, the following conclusions:

1. For a given water cementitious material ratio, the field strength of concrete is greater with the use of HRWR than without it, and this greater strength is reached within a shorter period of time.

2. With the use of HRWR, a given concrete field strength can be achieved in a given period of time using less cementitious material than would be required when not using HRWR.

to achieve different compressive strengths at either 28 or 56 days. The use of an HRWR generally increases the compressive strength of concrete. The  $w/c + p$  values given in Table 4.3.5(a) are for concretes made without HRWR, and those in Table 4.3.5(b) are for concretes made using an HRWR.

The  $w/c + p$  may be limited further by durability requirements. However, for typical applications, high-strength concrete would not be subjected to severe exposure conditions.

When the cementitious material content from these tables exceed 1000 lb, a more practical mixture may be produced using alternative cementitious materials or proportioning methods.

**4.3.6 Step 6—Calculate content of cementitious material**—The weight of cementitious material required per  $\text{yd}^3$  of concrete can be determined by dividing the amount of mixing water per  $\text{yd}^3$  of concrete (Step 4) by the  $w/c + p$  ratio (Step 5). However, if the specifications include a minimum limit on the amount of cementitious material per  $\text{yd}^3$  of concrete, this must be satisfied. Therefore, the mixture should be proportioned to contain the larger quantity of cementitious material required. When the cementitious material content from the following tables exceeds 1000 lb, a more practical mixture may be produced using alternate cementitious materials or proportioning methods. This process is beyond the scope of this guide.

**4.3.7 Step 7—Proportion basic mixture with no other cementitious material**—To determine optimum mixture proportions, the proportioner needs to prepare several trial mixtures having different fly ash contents. Generally, one trial mixture should be made with portland cement as the only cementitious material. The following steps should be followed to complete the basic mixture proportion.

1. *Cement content*—For this mixture, since no other cementitious material is to be used, the weight of cement equals the weight of cementitious material calculated in Step 6.

2. *Sand content*—After determining the weights per  $\text{yd}^3$  of coarse aggregate, the cement and water, and the percentage of air content, the sand content can be calculated to produce  $27 \text{ ft}^3$ , using the absolute volume method.

**4.3.8 Step & Proportion companion mixtures using fly ash**—The use of fly ash in producing high-strength concrete can result in lowered water demand, reduced concrete temperature, and reduced cost. However, due to variations in the chemical properties of fly ash, the strength-gain characteristics of the concrete might be affected. Therefore, it is recommended that at least two different fly ash contents be used for the companion trial mixtures. The following steps should be completed for each companion trial mixture to be proportioned:

1. *Fly ash type*—Due to differing chemical compositions, the water-reducing and strength-gaining characteristics of fly ash will vary with the type used, and its source. Therefore, these characteristics, as well as availability, should be considered when choosing the fly ash to be used.

2. *Fly ash content*—The amount of cement to be replaced by fly ash depends on the type of material to be used. The recommended limits for replacement are given in Table 4.3.6, for the two classes of fly ash. For each companion trial mixture to be designed, a replacement percentage should be chosen from this table.

3. *Fly ash weight*—Once the percentages for replacement have been chosen, the weight of the fly ash to be used for each companion trial mixture can be calculated by multiplying the total weight of cementitious materials (Step 6) by the replacement percentages previously cho-

**Table 4.3.6— Recommended values for fly ash replacement of portland cement**

Fly ash	Recommended replacement (percent by weight)
Class F	15 to 25
Class C	20 to 35

sen. The remaining weight of cementitious material corresponds to the weight of cement. Therefore, for each mixture, the weight of fly ash plus the weight of cement should equal the weight of cementitious materials calculated in Step 6.

4. *Volume of fly ash*—Due to the differences in bulk specific gravities of portland cement and fly ash, the volume of cementitious materials per  $\text{yd}^3$  will vary with the fly ash content, even though the weight of the cementitious materials remains constant. Therefore, for each mixture, the volume of cementitious materials should be calculated by adding the volume of cement and the volume of fly ash.

5. *Sand content*—Having found the volume of cementitious materials per  $\text{yd}^3$  of concrete, the volumes per  $\text{yd}^3$  of coarse aggregate, water, and entrapped air (Step 7), the sand content of each mixture can be calculated using the absolute volume method.

Using the preceding procedure, the total volume of cement and fly ash plus sand per  $\text{yd}^3$  of concrete is kept constant. Further adjustments in the mixture proportions may be needed due to changes in water demand and other effects of fly ash on the properties of the concrete. These adjustments are determined during trial mixing, as discussed in Section 4.3.10.

4.3.9 *Step 9—Trial mixtures*—For each of the trial mixtures proportioned in Steps 1 through 8, a trial mixture should be produced to determine the workability and strength characteristics of the mixtures. The weights of sand, coarse aggregate, and water must be adjusted to correct for the moisture condition of the aggregates used. Each batch should be such that, after a thorough mixing, a uniform mixture of sufficient size is achieved to fabricate the number of strength specimens required.

4.3.10 *Step 10—Adjust trial mixture proportions*—If the desired properties of the concrete are not obtained, the original trial mixture proportions should be adjusted according to the following guidelines to produce the desired workability.

1. *Initial slump*—If the initial slump of the trial mixture is not within the desired range, the mixing water should be adjusted. The weight of cementitious material in the mixture should be adjusted to maintain the desired  $w/c+p$ . The sand content should then be adjusted to insure proper yield of the concrete.

2. *HRWR dosage rate*—If HRWR is used, different dosage rates should be tried to determine the effect on strength and workability of the concrete mixture. Because of the nature of high-strength concrete mixtures, higher dosage rates than those recommended by the admixture

manufacturer may be tolerated without segregation. Also, since the time of addition of the HRWR and concrete temperature have been found to affect the effectiveness of the admixture, its use in laboratory trial mixtures may have to be adjusted for field conditions. In general, it has been found that redosing with HRWR to restore workability results in increased strengths at nearly all test ages.

3. *Coarse aggregate content*—Once the concrete trial mixture has been adjusted to the desired slump, it should be determined if the mixture is too harsh for job placement or finishing requirements. If needed, the coarse aggregate content may be reduced, and the sand content adjusted accordingly to insure proper yield. However, this may increase the water demand of the mixture, thereby increasing the required content of cementitious materials to maintain a given  $w/c+p$ . In addition, a reduction in coarse aggregate content may result in a lower modulus of elasticity of the hardened concrete.

4. *Air content*—If the measured air content differs significantly from the designed proportion calculations, the dosage should be reduced or the sand content should be adjusted to maintain a proper yield.

5.  *$w/c+p$* —If the required concrete compressive strength is not attained using the  $w/c+p$  recommended in Table 4.3.5(a) or (b), additional trial mixtures having lower  $w/c+p$  should be tested. If this does not result in increased compressive strengths, the adequacy of the materials used should be reviewed.

4.3.11 *Step 11—Select optimum mixture proportions*—Once the trial mixture proportions have been adjusted to produce the desired workability and strength properties, strength specimens should be cast from trial batches made under the expected field conditions according to the ACI 211.1 recommended procedure for making and adjusting trial batches. Practicality of production and quality control procedures have been better evaluated when production-sized trial batches were prepared using the equipment and personnel that were to be used in the actual work. The results of the strength tests should be presented in a way to allow the selection of acceptable proportions for the job, based on strength requirements and cost.

## CHAPTER 5—SAMPLE CALCULATIONS

### 5.1—Introduction

An example is presented here to illustrate the mixture proportioning procedure for high-strength concrete discussed in the preceding chapter. Laboratory trial batch results will depend on the actual materials used. In this example, Type I cement having a bulk specific gravity of 3.15 is used.

### 5.2—Example

High-strength concrete is required for the columns in the first three floors of a high-rise office building. The specified compressive strength is 9000 psi at 28 days. Due

to the close spacing of steel reinforcement in the columns, the largest nominal maximum-size aggregate that can be used is  $3/4$  in. A natural sand that meets ASTM C 33 limits will be used, which has the following properties: fineness modulus  $FM = 2.90$ ; bulk specific gravity based on oven-dry weight  $BSG_{dry} = 2.59$ ; absorption based on oven-dry weight  $Abs = 1.1$  percent; dry-rodded unit weight  $DRUW = 103$  lb/ft<sup>3</sup>. Also, a HRWR and a set-retarding admixture will be used.

**5.2.1 Step 1-Select slump and required concrete strength**-Since an HRWR is to be used, the concrete will be designed based on a slump of 1 to 2 in. prior to the addition of the HRWR.

The ready-mix producer has no prior history with high-strength concrete, and therefore will select proportions based on laboratory trial mixtures. Using Eq. (2.3), the required average strength used for selection of concrete proportions is

$$f_{cr} = \frac{(9000 + 1400)}{0.90} = 11,556 \text{ psi, ... i.e., } 11,600 \text{ psi}$$

**5.2.2 Step 2-Select maximum size of aggregate**-Based on the guidelines in Table 4.3.2, a crushed limestone having a nominal maximum size of  $1/2$  in. is to be used. Its material properties are as follows: bulk specific gravity at oven-dry,  $BSG_{dry} = 2.76$ ; absorption at oven-dry,  $Abs = 0.7$  percent; dry-rodded unit weight,  $DRUW = 101$  lb/ft<sup>3</sup>. The grading of the aggregate must comply with ASTM C 33 for size designation No. 7 coarse aggregate.

**5.2.3 Step 3-Select optimum coarse aggregate content**-The optimum coarse aggregate content, selected from Table 4.3.3, is 0.68 per unit volume of concrete. The dry weight of coarse aggregate per yd<sup>3</sup> of concrete  $W_{dry}$  is then

$$(0.68) \times (101) \times (27) = 1854 \text{ lb, using Eq. (4.1)}$$

**5.2.4 Step 4-Estimate mixing water and air contents**-Based on a slump of 1 to 2 in., and  $1/2$ -in. maximum-size coarse aggregate, the first estimate of the required mixing water chosen from Table 4.3.4 is 295 lb/yd<sup>3</sup> of concrete, and the entrapped air content, for mixtures made using HRWR, is 2.0 percent.

However, using Eq. (4-2), the voids content of the sand to be used is

$$\left[ 1 - \frac{103}{(2.59) \times (62.4)} \right] \times 100 = 36 \text{ percent}$$

The mixing water adjustment, calculated using Eq. (4-3), is

$$(36 - 35) \times 8 = + 8 \text{ lb/yd}^3 \text{ of concrete}$$

Therefore, the total mixing water required per yd<sup>3</sup> of concrete is 295 + 8 or 303 lb. This required mixing water includes the retarding admixture, but does not include

the water in the HRWR.

**5.2.5 Step 5 - Select w/c+p**-For concrete to be made using HRWR and  $1/2$ -in. maximum-size aggregate, and having an average compressive strength based on laboratory trial mixtures of 11,600 psi at 28 days, the required w/c+p chosen from Table 4.3.5(b) is interpolated to be 0.31. It should be noted that the compressive strengths listed in Tables 4.3.5(a) and (b) are required average field strengths. Therefore, although the required strength of laboratory trial mixtures is 11,600 psi, the value to be used in the tables is

$$(0.90) \times (11,600) = \approx 10,400 \text{ psi}$$

**5.2.6 Step & Calculate content of cementitious material**-The weight of cementitious material per yd<sup>3</sup> of concrete is

$$\left( \frac{303}{0.31} \right) = 977 \text{ lb}$$

The specifications do not set a minimum for cementitious materials content, so 977 lb/yd<sup>3</sup> of concrete will be used.

**5.2.7 Step 7-Proportion basic mixture with cement only**

1. Cement content per yd<sup>3</sup> = 977 lb.
2. The volumes per yd<sup>3</sup> of all materials except sand are as follows:

Cement = (977)/(3.15 x 62.4) =	4.97 ft <sup>3</sup>
Coarse aggregate = (1854)/(2.76 x 62.4) =	10.77 ft <sup>3</sup>
Water = (303)/(62.4) =	4.86 ft <sup>3</sup>
Air = (0.02) x (27) =	0.54 ft <sup>3</sup>
Total volume =	21.14 ft <sup>3</sup>

Therefore, the required volume of sand per yd<sup>3</sup> of concrete is  $(27 - 21.14) = 5.86$  ft<sup>3</sup>. Converting this to weight of sand, dry, per yd<sup>3</sup> of concrete, the required weight of sand is

$$(5.86) \times (62.4) \times (2.59) = 947 \text{ lb.}$$

Cement	977 lb
Sand, dry	947 lb
Coarse aggregate, dry	1854 lb
Water, including 3 oz/cwt* retarding admixture	303 lb

\* Hundred weight of cement.

**5.2.8 Step 8-Proportion companion mixtures using cement and fly ash**

1. An ASTM Class C fly ash is to be used which has a bulk specific gravity of 2.64.
2. The recommended limits for replacement given in Table 4.3.6 for Class C fly ash are from 20 to 35 percent. Four companion mixtures will be proportioned, having fly ash replacement percentages as follows:

Companion mixture #1	20 percent
Companion mixture #2	25 percent
Companion mixture #3	30 percent
Companion mixture #4	35 percent

3. For companion mixture #1, the weight of fly ash per  $\text{yd}^3$  of concrete is  $(0.20) \times (977) = 195$  lb. therefore the cement is  $(977) - (195) = 782$  lb. The weights of cement and fly ash per  $\text{yd}^3$  of concrete for the remaining companion mixes are calculated in a similar manner. The values are as follow:

Companion mixture	Cement, lb	Fly ash, lb	Total, lb
#1	782	195	977
#2	733	244	977
#3	684	293	977
#4	635	342	977

4. For the first companion mixture, the volume of cement per  $\text{yd}^3$  of concrete is  $(782)/(3.15 \times 62.4) = 3.98$   $\text{ft}^3$ , and the fly ash per  $\text{yd}^3$  is  $(195)/(2.64 \times 62.4) = 1.18$   $\text{ft}^3$ . The volume of cement, fly ash, and total cementitious material for each companion mixture are:

Companion mixture	Cement, $\text{ft}^3$	Fly ash, $\text{ft}^3$	Total, $\text{ft}^3$
#1	3.98	1.18	5.16
#2	3.73	1.48	5.21
#3	3.48	1.78	5.26
#4	3.23	2.08	5.31

5. For all of the companion mixtures, the volumes of coarse aggregate, water, and air per  $\text{yd}^3$  of concrete are the same as for the basic mixture that contains no other cementitious material. However, the volume of cementitious material varies with each mixture. The required weight of sand per  $\text{yd}^3$  of concrete for companion mixture #1 is calculated as follows:

Component	Volume (per cubic yard of concrete, $\text{ft}^3$ )
Cementitious material	5.16
Coarse aggregate	10.77
Water (including 2.5 oz/cwt retarding mixture)	486
Air	0.54
Total volume	21.33

The required volume of sand is  $(27 - 21.33) = 5.67$   $\text{ft}^3$ . Converting this to the weight of sand (dry) per  $\text{yd}^3$  of concrete, the required weight is:  $(5.67) \times (62.4) \times (2.59) = 916$  lb.

The mixture proportions per  $\text{yd}^3$  of concrete for each

companion mixture are as follows:

Companion mixture #1	
Cement	782 lb
Fly ash	195 lb
Sand, dry	916 lb
Coarse aggregate, dry	1854 lb
Water (including 2.5 oz/cwt retarding mixture)	303 lb

Companion mixture #2	
Cement	733 lb
Fly ash	244 lb
Sand, dry	908 lb
Coarse aggregate, dry	1854 lb
Water (including 2.5 oz/cwt retarding admixture)	303 lb

Companion mixture #3	
Cement	684 lb
Fly ash	293 lb
Sand, dry	900 lb
Coarse aggregate, dry	1854 lb
Water (including 2.5 oz/cwt retarding admixture)	303 lb

Companion mixture #4	
Cement	635 lb
Fly ash	342 lb
Sand, dry	892 lb
Coarse aggregate, dry	1854 lb
Water (including 2.5 oz/cwt retarding admixture)	303 lb

As shown in this example, the dosage rate of chemical admixture may or may not need to be adjusted when other cementitious materials are used. There are no existing guidelines to be followed when doing this adjustment other than experience. The proportioner needs to be aware of the possible need for this adjustment. During trial batches, verify proper dosage rates for all chemical admixtures.

**5.2.9 Step 9-Trial mixtures**-Trial mixtures are to be conducted for the basic mixture and each of the four companion mixtures. The sand is found to have 6.4 percent total moisture, and the coarse aggregate is found to have 0.5 percent total moisture, based on dry conditions. Corrections to determine batch weights for the basic mixtures are done as follows: sand, wet =  $(947) \times (1 + 0.064) = 1008$  lb; coarse aggregate, wet =  $(1854) \times (1 + 0.005) = 1863$  lb; and water, correction =  $(303) - (947)(0.064 - 0.011) - (1854)(0.005 - 0.007) = 259$  lb.

Thus the batch weight of water is corrected to account for the excess moisture contributed by the aggregates, which is the total moisture minus the absorption of the aggregate.

Basic mixture	Dry weights	Batch weights
Cement	977 lb	977 lb
Sand	947 lb	1008 lb
Coarse aggregate	1854 lb	1863 lb
Water (including 2.5 oz/cwt retarding admixture)	303 lb	259 lb

Companion mixture #1	Dry weights	Batch weights
Cement	782 lb	782 lb
Fly ash	195 lb	195 lb
Sand	916 lb	975 lb
Coarse aggregate	1854 lb	1863 lb
Water (including 2.5 oz/cwt retarding admixture)	303 lb	259 lb

Companion mixture #2	Dry weights	Batch weights
Cement	733 lb	733 lb
Fly ash	244 lb	244 lb
Sand	908 lb	966 lb
Coarse aggregate	1854 lb	1863 lb
Water (including 2.5 oz/cwt retarding admixture)	303 lb	259 lb

Companion mixture #3	Dry weights	Batch weights
Cement	684 lb	684 lb
Fly ash	293 lb	293 lb
Sand	900 lb	958 lb
Coarse aggregate	1854 lb	1863 lb
Water (including 2.5 oz/cwt retarding admixture)	303 lb	259 lb

Companion mixture #4	Dry weights	Batch weights
Cement	635 lb	635 lb
Fly ash	342 lb	342 lb
Sand	892 lb	949 lb
Coarse aggregate	1854 lb	1863 lb
Water (including 2.5 oz/cwt retarding admixture)	303 lb	259 lb

The size of the trial mixture is to be  $3.0 \text{ ft}^3$ . The reduced batch weights to yield  $3.0 \text{ ft}^3$  are as follows:

Mixture	Basic	Comp #1	Comp #2	Comp #3	Comp #4
Cement, lb	108.56	86.89	81.44	76.00	70.56
Fly ash, lb	—	21.67	27.11	32.56	38.00
Sand, lb	112.00	108.33	107.33	106.44	105.44
Coarse aggregate, lb	207.00	207.00	207.00	207.00	207.00
Water, lb	28.56	28.67	28.67	28.78	28.78

Chemical admixtures (included as part of the mixing water)

**5.2.10 Step 10--Adjust trial mixture proportions**—The batch weights for each trial mixture were adjusted to obtain the desired slump, before and after the addition of the HRWR, and the desired workability. The adjustments to the batch weights for the basic mixture and companion mixture #4 will be shown in detail. Those for the other three companion mixtures will be summarized.

#### 5.2.10.1 Basic mixture

1. Although the amount of water required to produce a 1 to 2-in. slump was calculated to be 28.56 lb, it was found that 29.56 lb (including 2.5 oz/cwt retarding admixture) were actually needed to produce the desired slump. The actual batch weights then were:

Cement	108.56 lb
Sand	112.00 lb
Coarse aggregate	207.00 lb
Water	29.56 lb

Correcting these to dry weights gives:

Cement		108.56 lb
Sand, dry	$(112.00)/(1.064) =$	105.26 lb
Coarse aggregate, dry	$(207.00)/(1.005) =$	205.97 lb
Batch water	$(29.56 + 5.58^* - 0.41^\dagger) =$	34.73 lb

\* = Sand moisture correction.

† = C/A moisture correction.

The actual yield of the trial mixture was:

Cement	$(108.56)/(3.15 \times 62.4) =$	0.55 $\text{ft}^3$
Sand	$(105.26)/(2.59 \times 62.4) =$	0.65
Coarse aggregate	$(205.97)/(2.76 \times 62.4) =$	1.20
Water	$(34.73)/(62.4) =$	0.56
Air	$(0.02)(3.0) =$	0.06
Total volume		3.02 $\text{ft}^3$

Adjusting the mixture proportions to yield  $27 \text{ ft}^3$  gives:

Cement	971 lb
Sand, dry	941 lb
Coarse aggregate, dry	1841 lb
Water (including 2.5 oz/cwt retarding admixture)	311 lb

The new mixture proportions result in a  $w/c + p$  of 0.32. To maintain the desired ratio of 0.31, the weight of cement should be increased to  $(311)/(0.31) = 1003 \text{ lb/yd}^3$  of concrete. The increase in volume due to the adjustment of the weight of cement is  $(1003 - 971)/(3.15 \times 62.4) = 0.16 \text{ ft}^3$ , which should be adjusted for by removing an equal volume of sand. The weight of sand to be removed is  $0.16 \times 2.59 \times 62.4 = 26 \text{ lb}$ . The resulting adjusted mixture proportions are:

Cement	1003 lb
Sand, dry	915 lb
Coarse aggregate, dry	1841 lb
Water (including 2.5 oz/cwt retarding admixture)	311 lb

2. For placement in the heavily reinforced columns, a "flowing" concrete, having a slump of at least 9 in., is desired. The dosage rate recommended by the manufacturer of the HRWR ranged between 8 and 16 oz/100 lb of cementitious material. In a laboratory having an ambient temperature of 75 F, it was found that adding

HRWR to the adjusted mixture at a dosage rate of 8 oz/cwt produced a slump of 6 in., 11 oz/cwt produced a slump of 10 in., and 16 oz/cwt caused segregation of the fresh concrete. In all cases, a constant dosage rate of retarding admixture (2.5 oz/cwt) was also added to the mixture with the mixing water. The HRWR at a dosage rate of 11 oz/cwt was added approximately 15 min after initial mixing.

3. It was determined that the concrete mixture with a 10-in. slump had adequate workability for proper placement, so no adjustment was necessary to the coarse aggregate content.

4. The air content of the HRWR mixture was measured at 1.8 percent, so no correction was necessary.

5. Note that the addition of the HRWR might require an adjustment in the cementitious content and yield of the mixture to account for the additional volume of admixture. Under normal dosage rates, 10 to 15 oz/cwt, the correction needed is negligible and not shown in this example.

6. The 28-day compressive strength of the basic mixture was found to be 11,750 psi, which satisfied the required laboratory test strength of 11,600 psi.

#### 5.2.10.2 Companion mixture #4

1. The actual amount of mixing water required (including 2 oz/cwt retarding admixture) to produce a 1 to 2-in. slump was less than that calculated for this mixture. The actual batch weights were:

Cement	70.56 lb
Fly ash	38.00 lb
Sand	105.44 lb
Coarse aggregate	207.00 lb
Water	27.83 lb

Correcting these by dry weights gives:

Cement	70.56 lb
Fly ash	38.00 lb
Sand, dry	99.10 lb
Coarse aggregate, dry	205.97 lb
Batch water	32.67 lb

The actual yield of the trial mixture was:

Cement	$(70.56)/(3.15 \times 62.4) =$	0.36 ft <sup>3</sup>
Fly ash	$(38.00)/(2.64 \times 62.4) =$	0.23
Sand	$(99.10)/(2.59 \times 62.4) =$	0.61
Coarse aggregate	$(205.97)/(2.76 \times 62.4) =$	1.20
Water	$(32.67)/(62.4) =$	0.52
Air	$(0.02)(3.0) =$	0.06
	Total volume	2.98 ft <sup>3</sup>

Adjusting the mixture proportions to yield 27 ft<sup>3</sup> gives:

Cement	639 lb
Fly ash	344 lb
Sand, dry	898 lb
Coarse aggregate, dry	1866 lb
Water (including 2.5 oz/cwt retarding admixture)	296 lb

The new mixture proportions result in a  $w/c+p$  of 0.30. The desired ratio was 0.31, so the weight of cementitious material may be reduced. The percentage of fly ash for this mixture is 35 percent, and should be maintained. The new weight of cementitious material is  $(296)/(0.31) = 955$  lb. Of this, 35 percent should be fly ash, giving 334 lb of fly ash and 621 lb of cement. The change in volume due to the reduction in cementitious material is:

$$(639 - 621)/(3.15 \times 62.4) + (344 - 334)/(2.64 \times 62.4) = 0.15 \text{ ft}^3$$

Therefore, 0.15 ft<sup>3</sup> of sand should be added, which increases the weight of sand by  $(0.15)(2.59)(62.4) = 24 \text{ lb/yd}^3$  of concrete. The adjusted mixture proportions are:

Cement	621 lb
Fly ash	334 lb
Sand, dry	922 lb
Coarse aggregate, dry	1866 lb
Water (including 2.5 oz/cwt retarding admixture)	296 lb

2. In adding HRWR to the adjusted mixture to produce a flowing concrete, it was found that 9 oz of HRWR per 100 lb. of cementitious material produced a slump of 9 1/2 in. under laboratory conditions. A retarding admixture (2 oz/cwt) was added to the concrete with mixing water, and the HRWR was added approximately 15 min after initial mixing.

3. The HRWR mixture had adequate workability, so no adjustment to the coarse aggregate content was necessary.

4. The air content of the HRWR mixture was measured at 2.1 percent.

5. The average-28-day compressive strength of specimens cast from the laboratory trial mixture was found to be 11,370 psi.

5.2.10.3 Summary of trial mixture performance-The following is a summary of the results of the adjusted laboratory trial mixtures.

Mixture	Basic	C.M.* #1	C.M. #2	C.M. #3	C.M. #4
Cement, lb	1003	782	738	671	621
Fly ash, lb	—	195	246	287	334
Sand, dry, lb	915	916	914	917	922
Coarse aggregate dry, lb	1841	1854	1866	1854	1866
Water, lb	311	303	301	297	296
Slump, in.	1.00	1.25	1.00	1.50	2.00

Retarder, oz/cwt	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0
HRWR, oz/cwt	11.0	11.0	10.0	9.5	9.0
Slump, in.	10.0	10.50	9.00	10.25	9.50
28-day psi	11,750	11,500	11,900	11,600	11,370

\* C.M. =companion mix.

Note: This table has intentionally omitted the water in HRWR to avoid confusion. Section 3.2 of this guide suggests this be done to properly determine  $w/c + p$ .

**5.3.11 Step 11-Select optimum mixture proportions-** Companion mix (c.m.) #4 was the only trial mixture that was significantly less than the required compressive strength of 11,600 psi at 28 days. Field trial batches were made for all of the others. The mixtures were adjusted to the desired slumps, both before and after addition of the HRWR, and strength specimens were cast. Concrete temperatures were also recorded. The test results are shown below.

Mixture	28-day compressive strength, psi	Concrete temperature, deg F
Basic	10,410	94
C.M. #1	10,570	93
C.M. #2	10,530	89
C.M. #3	10,490	84

Although all mixtures produced the required field strength of 10,400 psi at 28 days, the reduced concrete temperature and cementitious material content of companion mix #3 made it more desirable to the ready-mix producer. As ambient conditions or material properties vary, additional field adjustments may be necessary.

## CHAPTER 6-REFERENCES

### 6.1-Recommended references

The documents of the various standards-producing organizations referred to in this document are listed below with their serial designation.

The preceding publications may be obtained from the following organizations.

American Concrete Institute  
P.O. Box 19150  
Detroit, MI 48219

American Society for Testing and Materials  
1916 Race Street  
Philadelphia, PA 19103

#### *American Concrete Institute (ACI)*

- 211.1 Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavy Weight, and Mass Concrete
- 212.3R Chemical Admixtures for Concrete
- 214 Recommended Practice for Evaluation of Strength Test Results of Concrete
- 226.1R Ground Granulated Blast Furnace Slag As a Cementitious Constituent in Concrete
- 301 Specifications for Structural Concrete for Buildings
- 318 Building Code Requirements for Reinforced Concrete
- 363R State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete

#### *American Society for Testing and Materials (ASTM)*

- C 29 Standard Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregates
- C 33 Standard Specification for Concrete Aggregates
- C 39 Test Method for Cylindrical Strength of Cylindrical Concrete Specimens
- C 94 Specification for Ready Mixed Concrete
- C 494 Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete
- C 618 Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete
- C 917 Standard Method of Evaluation of Cement Strength Uniformity from a Single Source

#### CONVERSION FACTORS

$$\begin{aligned}
 1 \text{ in.} &= 25.4 \text{ mm} \\
 1 \text{ psi} &= 6.8 \text{ kPa} \\
 1 \text{ lb/in.}^3 &= 2.768 \times 10^{-5} \text{ kg/mm}^3 \\
 1 \text{ lb/yd}^3 &= 0.59 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

ACI 211.4R-93 was submitted to letter ballot of the committee and approved in accordance with ACI balloting procedures