

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



“OPTIMIZACIÓN DE CONCRETOS ESTRUCTURALES F’C=210 kg/cm² Y F’C=280 kg/cm², SOBRE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2017”

Tesis presentada para obtener el Título profesional de Ingeniero Civil presentado por:

**ACHAHUANCO TARQUI, Gary Joy
GUTIÉRREZ UÑAPILLCO, Alex Jhonatan**

Cusco, Agosto del 2019.



RESUMEN

En la presente investigación, se analizan las propiedades mecánicas a compresión simple de probetas de 4" x 8", fabricadas a partir de una mezcla de concreto con adición de microsíllice en porcentajes de 15, 10 y 7%. Se pretende reducir la cantidad de cemento por metro cubico, conservando las resistencias de diseño propuestas, $f'c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$.

El programa experimental consta de dos métodos de evaluación; el primer método, consiste en calcular las cantidades adecuadas de los componentes para cada diseño a partir de múltiples pruebas, vaciando pequeños volumen de 6 briquetas aproximadamente, en las cuales, se determinó la cantidad de cemento que se puede reducir, la cantidad de microsíllice y aditivo súper plastificante en peso del cemento que son necesarias, para que exista un adecuado recubrimiento de las partículas de agregados, así mismo se determinó la cantidad de arena fina en la mezcla que es necesaria para que exista una buena trabajabilidad y permita una ascensión de la pasta de cemento hacia la superficie. Una vez obtenidas las proporciones adecuadas de los componentes de la mezcla se procedió con el segundo método el cual consiste en realizar el vaciado de 30 especímenes de cilindros de concreto de 4" x 8" para cada tipo de diseño (diseños patrón y con adición de microsíllice al 15, 10 y 7%), a los cuales se sometió a ensayos, en estado fresco (revenimiento) y en estado endurecido (compresión axial simple).

Se concluye indicando que la cantidad apropiada de microsíllice para un diseño $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ es del 7%, alcanzándose resistencias promedio a la compresión axial simple de $317.03\text{ kg}/\text{cm}^2$, reduciéndose una cantidad de cemento equivalente a 4.28 bolsas/ m^3 ; para el caso del diseño $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$, la cantidad adecuada de microsíllice también es del 7%, obteniéndose resistencias promedio a la compresión axial simple de $374.08\text{ kg}/\text{cm}^2$, reduciéndose 6.19 bolsas/ m^3 de cemento, así mismo se realizó el análisis de precios unitarios, resultando un coste menor por metro cubico de concreto, en el orden de 6.04% menos para un concreto de $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ y un 10.95% menos para un concreto $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$.

Keywords: microsíllice, optimización de cemento, aditivo súper plastificante, concreto.



ABSTRACT

In this research, the mechanical properties of compressive strength of 4 "x 8" specimens manufactured from a mixture of concrete with the addition of microsilica in percentages of 15, 10 and 7% are analyzed. With which it is intended to reduce the amount of cement per cubic meter in the concrete mixes while retaining the proposed design strengths: $f'c = 210\text{kg} / \text{cm}^2$ and $f'c = 280\text{kg} / \text{cm}^2$.

The experimental program consisted of two evaluation methods; the first method consist in calculate the adequate quantities of the components for each design from multiple tests, the concrete is poured into a small volume of approximately 6 specimens, in which the amount of cement that can be reduced and the amount of microsilica and superplasticizer additive were determined in weight of the cement that are necessary so that there is an adequate coating of the aggregate particles, likewise the amount of fine sand in the mixture was determined that is necessary for a good workability and allows an ascent of the paste of cement towards the surface of the test pieces. Once the adequate proportions of the components of the mixture were obtained, the second method was carried out, which consisted in emptying 30 specimens of 4 "x 8" concrete cylinders for each type of design (standard designs and with the addition of microsilica at 15, 10 and 7%), to which the properties in fresh state (slump) and the hardened properties (simple axial compression) were determined.

It concludes that the appropriate amount of microsilica for a design $f'c = 210\text{ kg} / \text{cm}^2$ is 7%, reaching average compressive strength of $317.03\text{ kg} / \text{cm}^2$, reducing an amount of cement equivalent to 4.28 bags / m^3 , for the case of the resistance $f'c = 280\text{ kg} / \text{cm}^2$ the appropriate amount of microsilica is also 7%, obtaining average compressive strength of $374.08\text{ kg} / \text{cm}^2$, reducing 6.19 bags / m^3 of cement, likewise unit price analyzes were performed, resulting in a lower cost per cubic meter of concrete in the order of 5.3% less for a concrete pattern of $f'c = 210\text{ kg} / \text{cm}^2$ and 10.07% less for a concrete pattern $f'c = 280\text{ kg} / \text{cm}^2$.

Keywords: Microsilice, optimization of cement, super plasticizing, concrete additive.



Achahuanco Tarqui Gary Joy

Gutiérrez Uñapillco Alex Jhonatan

Tesistas

"Optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$,
sobre sus propiedades mecánicas con adición de microsilice en la ciudad del
Cusco, 2017"

**Tesis de Grado para optar el Título Profesional
de Ingeniero Civil**

Ing. Julio Gavino Rojas Bravo

Presidente de Tesis

Ing. Luz Marlene Nieto Palomino

Dr. Ing. José Felipe Marin Loayza

Integrantes de Tesis

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Cusco 2019



**"OPTIMIZACIÓN DE CONCRETOS ESTRUCTURALES $F'C=210$
 kg/cm^2 Y $F'C=280\text{ kg/cm}^2$, SOBRE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS
CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2017"**

Ha sido aprobado

Ing. Julio Gavino Rojas Bravo
Presidente Jurado de Tesis

Ing. Luz Marlene Nieto Palomino
Primer Integrante de Jurado de
Tesis

Dr. Ing. José Felipe Marin Loayza
Segundo Integrante de Jurado de Tesis



DEDICATORIA

*Para mi Madre, mi Padre y
mis hermanos. Son mi núcleo
familiar, ustedes siempre serán
mi prioridad.*

*"Ni antes ni después, ni más
pronto ni más tarde, todo
LLEGA cuando tiene que
LLEGAR".*

*Mis amistades más cercanas
que están ahí como mi apoyo y
ganas de superación.*

ACHAHUANCO TARQUI GARY JOY

*A mi madre, que con su
amor y sacrificio me ha
permitido llegar a cumplir hoy
una de mis metas.*

*A mi padre por sus sabios
consejos, a mis hermanos que
confiaron en mí siempre, a
todas las personas que
formaron parte de mi lucha e
historia.*

*A todas las personas que se
esfuerzan y luchan por sus
sueños, día a día.*

GUTIÉRREZ UÑAPILLCO ALEX
JHONATAN



AGRADECIMIENTOS

Siento gran alegría al poder aportar algo de conocimiento con el desarrollo de esta investigación y con esto culminar esta pequeña etapa de mi vida universitaria.

Quisiera agradecer a mi papá Ciro, mi mamá Gladys que son el apoyo constante en mi vida. Mis hermanos que son mis mejores amigos ahora y siempre.

A mi prestigiosa Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco y la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por ser parte de mi etapa universitaria de la cual siempre me sentiré orgulloso. **ACHAHUANCO TARQUI GARY JOY.**

Satisfecho por iniciar un pequeño aporte a nuestra sociedad en el campo de las nuevas tecnologías de concreto, e incentivar la aplicación de los concretos estudiados en la presente investigación.

Agradezco de corazón a mi padre, Juan Carlos, a mis hermanos, Rosario, Miguel Ángel, Silvana; Y a mi madre, quien inculco en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer a las adversidades y por todo su amor.

A mi alma mater, la prestigiosa Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, por acogerme durante mi etapa universitaria en su casa, nombre que la llevare en alto durante toda mi vida profesional. A todos los docentes de la carrera, que colaboraron con mi crecimiento profesional y de persona **GUTIÉRREZ UÑAPILCO ALEX JHONATAN.**



Contenido

RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTOS	6
INDICE DE FIGURAS	11
INDICE DE TABLAS	13
CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.	15
1.1 Título de la tesis.....	15
1.2 Información.	15
1.3 Estructura de la Tesis.....	15
1.4 Planteamiento del Problema.	18
1.4.1 Situación Problemática.....	18
1.5 Formulación del problema objetivo de investigación.....	18
1.5.1 Problema General.	18
1.5.2 Problemas Específicos.....	18
1.6 Justificación e Importancia del Problema.....	19
1.7 Objetivos de la Investigación.	20
1.7.1 Objetivo General.	20
1.7.2 Objetivos Específicos.....	20
CAPITULO 2. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO.	21
2.1 Definición del concreto.	21
2.2. Importancia del concreto.	21
2.3 Composición del concreto.	22
2.3.1 La pasta.	22
2.3.2 El Gel.	24
2.3.3 Porosidad en la pasta.....	25
2.4 Componentes del concreto.	26
2.4.1 Agregados.	26
2.4.2 Agua.....	30
2.4.3 Cemento.....	31



2.5 Influencia de adiciones minerales (microsílice) en mezclas de concreto.34

 2.5.1 Generalidades..... 34

 2.5.2 Definición. 35

 2.5.3 Características. 36

 2.5.4 Propiedades. 37

 2.5.5 Proceso de hidratación. 38

 2.5.6 Aditivo súper plastificante. 41

2.6 Influencia de la microsílice en las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto. 43

 2.6.1 Propiedades en estado fresco..... 43

 2.6.2 Propiedades en estado endurecido..... 45

CAPITULO 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 49

 3.1 Hipótesis y variables..... 49

 3.1.1 Hipótesis general..... 49

 3.1.2 Hipótesis específicas..... 49

 3.2 Identificación de variables..... 49

 3.2.1 Variables Independientes. 50

 3.2.2 Variables Dependientes..... 50

 3.2.3 Unidad de Análisis: Laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil. 51

 3.2.4 Ámbito geográfico: Ciudad del Cusco..... 51

 3.2.5 Periodo: 2017. 51

 3.3 Operacionalización de variables..... 52

 3.4 Matriz de Consistencia. 53

 3.5 Alcances de la investigación..... 54

 3.6 Importancia de la investigación..... 54

 3.7 Metodología de la investigación..... 55

 3.7.1 Tipo y diseño de investigación..... 55

 3.7.2 Unidad de análisis. 55

 3.7.3 Población de estudio..... 55

 3.7.4 Elección de la muestra..... 56

 3.7.5 Tamaño de la muestra. 56



CAPITULO 4. PLANTEAMIENTO DEL MODELO EXPERIMENTAL.....	57
4.1 Introducción.....	57
4.2 Equipos utilizados.	57
4.2.1 Equipos de Fabricación.....	57
4.2.2 Equipo para ensayos de concreto en estado fresco.	59
4.2.3 Equipos para ensayos de concreto en estado endurecido.	59
4.3 Materiales componentes para el diseño de mezcla.....	60
4.3.1 Cemento.....	60
4.3.2 Agregados.	61
4.3.3 Procedimientos de los ensayos a los agregados.	65
4.4 Diseño de mezclas de concretos optimizados con microsíllice.....	73
4.4.1 Elaboración de los diseños de mezcla patrón (ACI 211.1).....	73
4.4.2 Elaboración de los diseños de mezcla optimizados con microsíllice.	79
4.4.3 Diseños con adición de microsíllice obtenidos en la investigación.	83
4.5 Elaboración del concreto.	84
4.5.1 Procedimiento de fabricación.	85
4.5.2 Fabricación de testigos de concreto.	86
4.5.3 Curado de las muestras de concreto.....	86
4.6 Concreto en estado fresco.....	87
4.6.1 Cantidad adecuada de pasta.	87
4.6.2 Ascensión superficial de la pasta.	89
4.6.3 Asentamiento del concreto (SLUMP).....	91
4.7 Concreto en estado endurecido.....	93
4.7.1 Resistencia a compresión de las muestras de concreto.....	93
CAPITULO 5. RESULTADOS	95
5.1 Introducción.....	95
5.2 Características de los agregados pétreos.	95
5.2.1 Agregado grueso.	95
5.2.2 Arena gruesa.	98
5.2.3 Arena fina.	100
5.3 Elaboración de los diseños de mezcla.	102



5.3.1 Diseños de mezcla.	102
5.3.2. Relación agua/cemento y agua/material cementante de los diseños.	108
5.3.3. Determinación de la resistencia a compresión simple.	110
5.4 Concreto en estado fresco.	111
5.4.1 Resultado de la determinación de la prueba de revenimiento.	111
5.5 Concreto en estado Endurecido.	111
5.5.1 Resultados de la resistencia a la compresión de los diseños con Micro sílice..	112
CAPITULO 6 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	114
6.1 Introducción.....	114
6.1.1 De los agregados.	114
6.1.2 De los diseños de mezcla.	116
6.1.3 De la relación agua/cemento y agua/material cementante.	118
6.1.4 Del asentamiento.....	119
6.1.5 De la resistencia a compresión simple.	121
CAPITULO 7. ANÁLISIS DE COSTOS	124
7.1 Diseño patrón $f'c=210\text{ Kg}/\text{cm}^2$ (D1 - P).....	124
7.2 Diseño patrón $f'c=218\text{ Kg}/\text{cm}^2$ (D2 - P).....	125
7.3 Diseño con Microsílice $f'c=210\text{ Kg}/\text{cm}^2$ (D1 – 15%M).....	125
7.4 Diseño con Microsílice $f'c=210\text{ Kg}/\text{cm}^2$ (D1 – 10%M).....	126
7.5 Diseño con Microsílice $f'c=210\text{ Kg}/\text{cm}^2$ (D1 – 7%M).....	126
7.6 Diseño con Microsílice $f'c=280\text{ Kg}/\text{cm}^2$ (D2 – 15%M).....	127
7.7 Diseño con Microsílice $f'c=280\text{ Kg}/\text{cm}^2$ (D2 – 10%M).....	127
7.8 Diseño con Microsílice $f'c=280\text{ Kg}/\text{cm}^2$ (D2 – 7%M).....	128
7.9 Resumen comparativo de Costos.....	128
CAPITULO 8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	130
8.1 Conclusión General.	130
8.2 Conclusiones Específicas.	130
8.3 Desventajas del uso de la microsílice.	131
8.4 Recomendaciones.	132
CAPITULO 9. IMPLICANCIAS PARA FUTURAS INVESTIGACIONES	133
GLOSARIO DE TÉRMINOS	134



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	136
ANEXO A: RESULTADOS DE ENSAYOS A LOS ÁRIDOS.....	138
ANEXO B: DISEÑOS DE MEZCLA PATRÓN Y CON MICROSÍLICE.	159
ANEXO C: FICHAS TÉCNICAS DE LOS INSUMOS.	167
ANEXO D: COTIZACIÓN DE INSUMOS PARA EL ANÁLISIS DE COSTOS.....	175
ANEXO E: RESULTADOS DE ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE, DE LOS DISEÑOS EN ANÁLISIS.	177
ANEXO F: REGISTRO FOTOGRÁFICO.	185

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Reacción química del fraguado de la pasta (Curso Básico de Tecnología del Concreto, Ana Torre, 2004, pág. 78).....	23
Figura 2. Imagen de partículas de ceniza volante, obtenidas de la planta termoeléctrica de Ilo. (Tecnología del Concreto de Alto Desempeño, Pablo Portugal, 2002, pag.75).....	35
Figura 3. Partículas de filler calizo. (Tecnología del Concreto de Alto Desempeño, Pablo Portugal, 2002, pag.75).	35
<i>Figura 13.</i> Efecto de la microsíllice en la aureola de transición del agregado, comparación entre un concreto convencional y un concreto con microsíllice. . (Tecnología del Concreto de Alto Desempeño, Pablo Portugal, 2002, pag.81).	40
Figura 14. Representación de la zona de interface o transición en un concreto sin adiciones. . (Tecnología del Concreto de Alto Desempeño, Pablo Portugal, 2002, pag.212).	46
Figura 15. Diagrama de operacionalización de variables.	52
Figura 16. (a).- Balanza con capacidad de 10kg y precisión 0.001 kg, (b).- Balanza con capacidad de 50kg y precisión 0.005 kg. Ambas balanzas, propiedad del laboratorio de la EPIC-UNSAAC.	58
Figura 17. Mezcladora motor honda de 11 p3.	58
Figura 18. Equipo cono de Abrams, ensayo de revenimiento de concreto.	59
Figura 19. Poza de curado, de material metálico.	59
<i>Figura 20.</i> (a).- Maquina de compresión axial, del laboratorio privado Zaenza, (b).- Maquina de compresión axial, laboratorio Unsaac.....	60



Figura 21. Cuarteo de agregado grueso de Huambutio, cantera Unancha.	62
Figura 22. (a).- Cuarteo de la arena gruesa de Huambutio, (b).- Selección y peso de la arena gruesa.	63
Figura 23. Arena gruesa de Huambutio y arena fina de Pisac.	64
Figura 24. Cemento wari tipo I, Microsílice Masterlife SF100 y Aditivo súper plastificante.	65
Figura 25. Proceso de obtención del diseño con microsílice. Método empírico (Elaboración propia).	83
Figura 26. (a).- Fabricación de testigos de concreto en la EPIC, (b).- Desencofrado de testigos de concreto en el laboratorio de la EPIC.	86
Figura 27. Curado de los testigos de concreto, en el laboratorio de la EPIC.	87
Figura 28. Desencofrado con deficiencia de pasta entre agregados.	89
Figura 29. Corrección de la cantidad de pasta; se observa que los agregados son cubiertos por la pasta.	89
Figura 30. (a).- Poca trabajabilidad, déficit de finos, (b).- Ascensión rápida de la pasta, buena presencia de finos.	91
Figura 31. Varillado del concreto en el cono de Abrams, método normado.	¡Error!
Marcador no definido.	
Figura 32. Medición del revenimiento de concreto, método normado.	93
Figura 33. Preparado y codificación de testigos, para su ensayo de resistencia.	94
Figura 34. Recolección y observación del tipo de falla de los testigos.	94
Figura 35. Curva granulométrica del agregado grueso (Elaboración propia).	97
Figura 36. Selección de la muestra del agregado grueso, por cuarteo.	97
Figura 37. Material retenido del agregado grueso.	98
Figura 38. Curva Granulométrica de la arena gruesa.	99
Figura 39. Material retenido en ensayo de granulometría de la arena gruesa,	100
Figura 40. Curva granulométrica de la arena fina de Pisac (Elaboración propia).	101
Figura 41. Arena fina de Pisac.	102
Figura 42. Diagrama comparativo entre la relación a/mc de los diseños $f'c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ (Elaboración propia).	109
Figura 43. Diagrama comparativo entre la relación a/mc de los diseños $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$ (Elaboración propia).	109



Figura 44. Gráfica comparativa de la resistencia a la compresión para $f'c=210\text{ Kg}/\text{cm}^2$ (Elaboración propia).....	113
Figura 45. Gráfica comparativa de la resistencia a la compresión para $f'c=280\text{ Kg}/\text{cm}^2$ (Elaboración propia).....	113
Figura 46. Diagrama comparativo entre Módulos de Fineza (Elaboración propia).....	115
Figura 47. Diagrama comparativo número de bolsas para el diseño $f'c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ patrón y con microsilice (Elaboración propia).	117
Figura 48. Diagrama comparativo número de bolsas para el diseño $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$ patrón y con microsilice (Elaboración propia).	118
Figura 49. Diagrama comparativo de asentamientos $f'c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ patrón y con microsilice (Elaboración propia).	120
Figura 50. Diagrama comparativo de asentamientos $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$ patrón y con microsilice (Elaboración propia).	121
Figura 51. Diagrama comparativo cantidad de microsilice y resistencias alcanzadas $f'c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ (Elaboración propia).....	122
Figura 52. Diagrama comparativo cantidad de microsilice y resistencias alcanzadas $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$ (Elaboración propia).....	123
Figura 53. Diagrama comparativo de costos de producción $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$	129
Figura 54. Diagrama comparativo de costos de producción $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$	¡Error!
Marcador no definido.	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Límites granulométricos del agregado fino.	29
Tabla 3 Compuestos químicos del clinker.	31
Tabla 4 Superficie específica característica de materiales utilizados como adición y del cemento.	38
Tabla 5 Tipos de aditivos químicos.	42
Tabla 6 Requisitos químicos del cemento portland tipo I.	61
Tabla 7 Requisitos Físicos del cemento portland tipo I.	61
Tabla 8	73
Tabla 9 Revenimientos recomendados por tipo de construcción.....	74



Tabla 10 Volumen de agua, según la consistencia y tamaños máximos de agregados gruesos.	74
Tabla 11	75
Tabla 12 Relación agua/cemento por resistencia.	76
Tabla 13 Peso del agregado grueso por unidad de volúmen.	77
Tabla 14 Ensayos realizados al concreto fresco.....	87
Tabla 15 Herramientas utilizadas en el método empírico.	88
Tabla 16 Equipo utilizado para el método empírico de ascensión de la pasta.	90
Tabla 17 Equipo normalizado para el ensayo de revenimiento.....	92
Tabla 18 Principales características físico-mecánicas del agregado grueso.	96
Tabla 19	98
Tabla 20 Principales características físico-mecánicas de la arena fina de Pisac.	100
Tabla 21	102
Tabla 22 Proporciones D1 - P.....	103
Tabla 23	104
Tabla 24	104
Tabla 25 Proporciones D1 - 10%M (85%H + 15%P).....	105
Tabla 26 Proporciones D1 - 7%M (85%H + 15%P).....	105
Tabla 27 Proporciones D2 - 15%M (83%H + 17%P).....	106
Tabla 28 Proporciones D2 - 10%M (83%H + 17%P).....	107
Tabla 29 Proporciones D2 - 7%M (83%H + 17%P).....	107
Tabla 30 Relación agua/material cementante de los diseños en análisis.....	108
Tabla 31	110
Tabla 32 Diseño de mezclas de análisis y porcentaje de microsíllice en el material cementante.	110
Tabla 33 Resultados de pruebas en estado fresco (Revenimiento).	111
Tabla 34 Resultados de la resistencia a compresión simple de los diseños en análisis.....	112
Tabla 35 Módulos de fineza para los tres agregados utilizados en la investigación.	114
Tabla 36 Variación de cemento para el diseño $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$	116
Tabla 37 Variación de cemento para el diseño $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$	117
Tabla 38 Relación agua/cemento y agua/material cementante de los diseños en análisis.	119
Tabla 39 Resultados promedio de asentamientos, diseño $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$	119
Tabla 40 Resultados promedio de asentamientos, diseño $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$	120
Tabla 41 Cantidad de microsíllice, cemento y resistencias alcanzadas, diseño $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$	122
Tabla 42 Cantidad de microsíllice, cemento y resistencias alcanzadas, diseño $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$	123
Tabla 43 Costo de producción de 1m^3 , $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$	128
Tabla 44 Costo de producción de 1m^3 , $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$	129



CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.

1.1 Título de la tesis.

“Optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ y $f'c=280\text{ kg/cm}^2$, sobre sus propiedades mecánicas con adición de microsíllice en la ciudad del cusco, 2017.

1.2 Información.

1.2.1 Área de Investigación.

El área de investigación es la línea de Construcciones y Edificaciones.

1.2.2 Datos de los Tesistas.

- Nombre: Alex Jhonatan Gutiérrez Uñapillco.
Código: 103144-G
Email: lex1784@hotmail.com
- Nombre: Gary Joy Achahuanco Tarqui.
Código: 103609-J
Email: garyjoy.at@gmail.com

1.2.3 Institución.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

1.2.4 Localización:

REGIÓN: Cusco
PROVINCIA: Cusco
DIATRITO: Wanchaq

1.3 Estructura de la Tesis

A continuación se describe brevemente los nueve capítulos de los cuales está compuesta la presente investigación.



Capítulo 1, en este acápite se desarrollan las generalidades de la investigación como son: título de la investigación, área de investigación, autores, institución donde fue desarrollada, estructura de la tesis, planteamiento del problema, problemas general y específicos, justificación y objetivos de la tesis.

Capítulo 2, se desarrolla el marco teórico, en el cual se describe primeramente las propiedades de los concretos normales sin ningún tipo de adición mineral ni uso de aditivos, donde se detalla la definición del concreto y su composición en estado endurecido, componentes del concreto (agregados, cemento, agua) y se describen las propiedades más importantes del cemento.

En segundo lugar se desarrolla la influencia del uso de microsíllice y aditivos en los concretos, en el cual se detallan conceptos como; definición de microsíllice y sus propiedades, proceso de hidratación en concretos convencionales y el proceso de hidratación debido a la influencia de la microsíllice, se hace una descripción del aditivo súper plastificante y finalmente se describe la influencia de la microsíllice en el concreto; en sus propiedades tanto en estado fresco como en estado fresco.

Capítulo 3, se describen las hipótesis general y específicas, la identificación de variables así como su operacionalización, alcances de la investigación, se sustenta el termino OPTIMIZACIÓN y su relevancia en esta investigación, se describe la metodología de la investigación, la unidad de análisis y el tamaño de la muestra.

Capítulo 4, se detalla el planteamiento del modelo experimental, se describen los equipos utilizados así como las características de los agregados (cemento, microsíllice y agregados pétreos), se detalla la metodología ACI 211.1 utilizada para elaborar los diseños patrones, así como la metodología que se siguió para elaborar los diseños con microsíllice, se describen las características principales de los diseños patrón y de los diseños con microsíllice en diferentes porcentajes, se describe el procedimiento de fabricación de los testigos de concreto así como el curado de los mismos, se detallan las propiedades del concreto en estado fresco de los diseños con microsíllice (cantidad adecuada de pasta, ascensión superficial de la pasta, asentamiento del concreto) y finalmente se describe el procedimiento para someter a carga axial a las probetas de concreto.



Capítulo 5, se describe los resultados obtenidos en laboratorio para los agregados pétreos y sus características más resaltantes, así mismo se muestra un cuadro resumen de la nomenclatura adoptaba para cada tipo de diseño y su porcentaje de microsíllice, arena gruesa y fina, componente en cada diseño, se muestra la cantidad en peso de los componentes de la mezcla para cada tipo de diseño, finalmente se detalla los valores promedios de los resultados obtenidos de someter las probetas de concreto a compresión simple.

Capítulo 6, en este capítulo se hace un análisis a más detalle y discusión de los resultados obtenidos, principalmente de los temas más sobresalientes de esta investigación como son: el módulo de fineza de los agregados, asentamiento de los diseños en análisis, la reducción de cantidad de cemento, y los resultados de resistencia a compresión simple.

Capítulo 7, aquí se realiza el análisis de costos, y se muestra una comparación de los análisis de precios unitarios de los concretos patrones versus los concretos con microsíllice en los porcentajes de 15, 10 y 7% respectivamente.

Capítulo 8, se presenta las conclusiones, general y específicas derivadas de lo expuesto en los capítulos anteriores, se da respuesta a los objetivos propuestos y se da solución a los problemas planteados en el capítulo 1, además se presenta las recomendaciones por parte de los autores, de la investigación.

Capítulo 9, finalmente se exponen las implicancias para investigaciones futuras derivadas de los trabajos realizados en esta investigación.

Además se presenta en la parte final los anexos de la investigación, y son: **Anexo A** que detalla los ensayos realizados en laboratorio a los agregados componentes de la mezcla, el **Anexo B** muestra los diseños de mezcla para cada tipo de concreto vaciado en esta investigación, en el **Anexo C** se adjunta las fichas técnicas de los insumos utilizados en el diseño de mezclas, como el cemento Wari tipo I, Microsíllice y aditivo súper plastificante, en el **Anexo D** se adjunta las cotizaciones proveídas por empresas fabricantes, mostrando el costo unitario del insumo, necesarios para hacer el análisis de costos comparativos, en el **Anexo E** detalla las tablas de resultados de las 30 briquetas sometidas a compresión simple para cada tipo de diseño y en el **Anexo F** se presenta el registro fotográfico, de la investigación realizada en el laboratorio de la escuela profesional de Ingeniería Civil.



1.4 Planteamiento del Problema.

1.4.1 Situación Problemática.

En la actualidad, el sector construcción de nuestra región con uso de concretos, viene en un importante incremento, en viviendas, muros de contención, pavimentos, puentes, etc. Infraestructura que no siempre cumple con los estándares de calidad planteadas inicialmente. Esto se puede dar por muchos factores, uno de ellos es la falta de técnicas y conocimiento en la elaboración de concretos convencionales; bajo estas condiciones se aprecia la necesidad de mejorar la calidad de los insumos en la fabricación de concretos.

El uso de concretos con resistencias mayores a $f'c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ se hace cada vez más una necesidad y ya no una opción, en muchos países se viene usando adiciones minerales como la microsíllice para alcanzar concretos de alta resistencia, pero estos involucran un mayor coste en su producción.

Esta falta de conocimiento en la aplicación y utilización de nuevas tecnologías innovadoras en el ámbito de la tecnología del concreto, y pensando en el futuro del sector construcción en nuestra ciudad, abre puertas para realizar una investigación sobre mejorar el diseño y la calidad de nuestros concretos, sin la necesidad de incrementar sus costos de producción, así mismo atraer a la industria de la microsíllice a nuestra ciudad e incentivar su uso como adición para fabricar concretos más duraderos y de mayor calidad.

1.5 Formulación del problema objetivo de investigación.

1.5.1 Problema General.

PG: ¿Cuánto será la cantidad óptima de microsíllice en reemplazo de cemento para la obtención y optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$ sobre sus propiedades mecánicas en la ciudad del Cusco?

1.5.2 Problemas Específicos.

PE1: ¿Cuál será la cantidad de cemento reemplazado por microsíllice en el diseño de mezclas para la optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$ sobre sus propiedades mecánicas en la ciudad del Cusco?



PE2: ¿Cómo influye la relación agua/cemento (a/c) en la optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$, sobre sus propiedades mecánicas con adición de microsíllice en reemplazo de cemento en la ciudad del cusco?

PE3: ¿Cómo influye un 10 % de adición de microsíllice en reemplazo de cemento en la optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$, sobre sus propiedades mecánicas en la ciudad del Cusco?

PE4: ¿Cómo influye un 15 % de adición de microsíllice en reemplazo de cemento en la optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$, sobre sus propiedades mecánicas en la ciudad del Cusco?

1.6 Justificación e Importancia del Problema.

En el Cusco así como en el Perú el uso del concreto como material de construcción es cada vez mayor debido a la demanda de infraestructuras modernas que sean capaces de satisfacer las exigencias de seguridad y sean económicamente viables, en nuestra región el uso de este material por parte de la población viene en aumento debido al costo relativamente económico, la versatilidad del material para crear construcciones con un mayor número de pisos y obtener áreas de uso más grandes; es así que nuestra región y el país necesita adaptarse al uso de nuevas tecnologías en cuanto a la fabricación de concretos se refiere, por lo cual se plantea incluir el uso de la adición de microsíllice no para obtener concretos de alta resistencia (que es el uso cotidiano que se le da a esta adición mineral), sino más bien para reducir la cantidad de cemento por metro cubico de mezcla sin que las resistencias de diseño requeridas disminuyan sino más bien conservar o mejorar dichas resistencias y que estos concretos sean lo más económicamente accesibles a la población.

Así mismo la falta de conocimiento en el uso de nuevas tecnologías y en el uso de microsíllice en los diseños de mezcla en nuestra región en particular, hace necesario establecer parámetros y técnicas en el diseño de mezclas con adición de microsíllice, así como conocer todos los beneficios que esta adición trae a los diferentes tipos de concretos.



1.7 Objetivos de la Investigación.

1.7.1 Objetivo General.

OG: Determinar la cantidad optima de microsilíce en reemplazo de cemento para la obtención y optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$ sobre sus propiedades mecánicas en la ciudad del Cusco.

1.7.2 Objetivos Específicos.

OE1: Establecer la cantidad de cemento reemplazado por microsilíce en el diseño de mezclas para la optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$ sobre sus propiedades mecánicas en la ciudad del Cusco.

OE2: Determinar la relación agua/cemento (a/c) en la optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$, sobre sus propiedades mecánicas con adición de microsilíce en reemplazo de cemento en la ciudad del cusco.

OE3: Determinar la influencia de un 10 % de adición de microsilíce en reemplazo de cemento en la optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$, sobre sus propiedades mecánicas en la ciudad del Cusco.

OE4: Determinar la influencia de un 15 % de adición de microsilíce en reemplazo de cemento en la optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$, sobre sus propiedades mecánicas en la ciudad del Cusco.

CAPITULO 2. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO.

2.1 Definición del concreto.

El concreto es el material constituido por la mezcla en ciertas proporciones de cemento, agua, agregados y opcionalmente aditivos, que inicialmente denota una estructura plástica y moldeable, y que posteriormente adquiere una consistencia rígida con propiedades aislantes y resistentes, lo que lo hace un material ideal para la construcción. (Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú, Enrique Pasquel, 1992-1993, pág. 11).

La mezcla íntima de los componentes del concreto convencional produce una masa plástica que puede ser moldeada y compactada con relativa facilidad; pero gradualmente pierde esta característica, hasta que al cabo de algunas horas se torna rígida y comienza a adquirir el aspecto, comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido, para convertirse finalmente en el material mecánicamente resistente que es el concreto endurecido. (Curso Básico de Tecnología del Concreto, Ana Torre, 2004, pág. 74).

El concreto convencional en estado fresco, es un conjunto de fragmentos de roca, globalmente definidos como agregados, dispersos en una matriz viscosa constituida por una pasta de cemento de consistencia plástica. Esto significa que en una mezcla así hay muy poco o ningún contacto entre las partículas de los agregados, característica que tiende a permanecer en el concreto ya endurecido. (Curso Básico de Tecnología del Concreto, Ana Torre, 2004, pág. 74).

Las propiedades del concreto están determinadas fundamentalmente por las características físicas y químicas de sus materiales componentes, pudiendo ser mejor comprendidas si se analiza la naturaleza del concreto. (Naturaleza y Materiales del Concreto, Rivva Lopez, 2000, pág. 8).

2.2. Importancia del concreto.

Actualmente el concreto es el material de construcción de mayor uso en nuestro país. Si bien la calidad final del concreto depende en forma muy importante del conocimiento del



material y de la calidad profesional, el concreto es, en general, desconocido en muchos de sus siete grandes aspectos: naturaleza, materiales, propiedades, selección de las proporciones, proceso de puesta en obra, control de calidad e inspección, y mantenimiento de los elementos estructurales. (Naturaleza y Materiales del Concreto, Rivva Lopez, 2000, pág. 8).

La principal limitación a las múltiples aplicaciones que se pueden dar al concreto es el desconocimiento de alguno de los aspectos ya indicados; así como de la mayor o menor importancia de los mismo de acuerdo al empleo que se pretende dar al material. Ello obliga al estudio y actualización permanentes para obtener del concreto las máximas posibilidades que como material puede ofrecer al ingeniero. (Naturaleza y Materiales del Concreto, Rivva Lopez, 2000, pág. 8).

En la actualidad en la región Cusco la utilización de este material viene creciendo cada vez más debido al crecimiento poblacional y la expansión urbana que ello demanda, haciéndose cada vez más la construcción de viviendas de material noble y dejando en desuso las construcciones tradicionales de tierra (adobe).

2.3 Composición del concreto.

El concreto en su estado endurecido está compuesto principalmente por:

- La pasta.
- El agregado.

En este ítem describiremos a profundidad el papel que desempeña la pasta en el concreto, el agregado será descrito más adelante.

2.3.1 La pasta.

La pasta de cemento (cemento más agua), por su parte, llena los espacios libres entre partículas de áridos, y durante el proceso de fraguado genera cristales hidratados que unen químicamente las partículas de agregados. La formación de estos cristales es una reacción química exotérmica (genera calor) que siempre requiere de agua para que tenga lugar, siendo mucho más intensa la reacción (la creación de los cristales cohesivos) en los primeros días

posteriores a la fabricación del hormigón, y luego va disminuyendo progresivamente en su intensidad con el tiempo. Normalmente, dentro del concreto, una parte del cemento no alcanza a combinarse con el agua, por lo que permanece como cemento no hidratado. (Curso Básico de Tecnología del Concreto, Ana Torre, 2004, pág. 77).

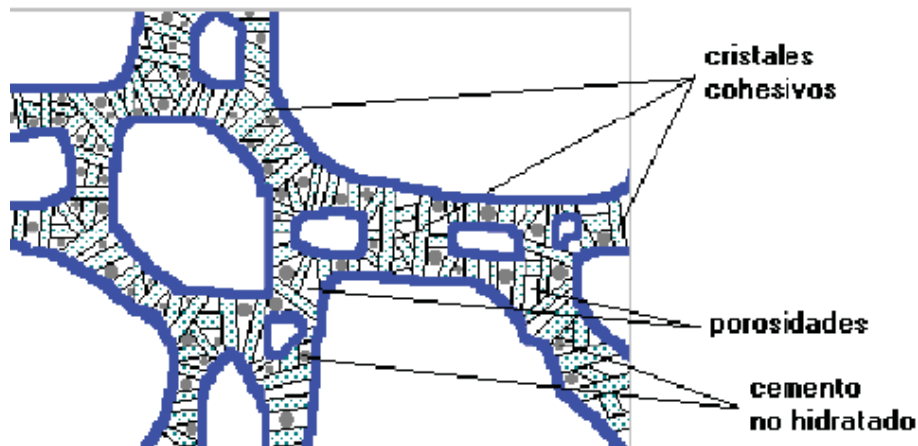


Figura 1. Reacción química del fraguado de la pasta (Curso Básico de Tecnología del Concreto, Ana Torre, 2004, pág. 78).

2.3.1.1 Influencia de la pasta en el concreto.

El comportamiento del concreto como material de construcción está directamente influenciado por las características de la pasta y las propiedades finales de las mismas; sin desconocer el papel del agregado en las características finales del concreto. (Curso Básico de Tecnología del Concreto, Ana Torre, 2004, pág. 78).

Para un cemento dado, las características y porosidad de la pasta dependen fundamentalmente de la relación agua-material cementante y del grado de hidratación de este, siendo mejores las propiedades del concreto y menos su porosidad cuanto más baja es la relación agua-material cementante de una mezcla trabajable y cuanto mayor es el grado de hidratación del cemento. (Naturaleza y Materiales del Concreto, Rivva Lopez, 2000, pág. 10).

Dependiendo del grado de hidratación del cemento de la reacción química entre este y el agua, todas aquellas condiciones que favorezcan la hidratación tienen importancia en la



influencia de la pasta en el concreto. (Naturaleza y Materiales del Concreto, Rivva Lopez, 2000, pág. 10).

2.3.1.2 Elementos fundamentales en la pasta.

La pasta de concreto está compuesta por cuatro elementos fundamentales:

- a. El gel, nombre con el que se denomina al producto resultante de la reacción química e hidratación del cemento.
- b. Los poros incluidos en ella.
- c. El cemento no hidratado, si lo hay.
- d. Los cristales de hidróxido de calcio, o cal libre, que pueden haberse formado durante la hidratación del cemento.

Esos cuatro elementos tienen un papel fundamental en el comportamiento del concreto. (Naturaleza y Materiales del Concreto, Rivva Lopez, 2000, pág. 9).

2.3.1.3 Funciones de la pasta.

La pasta tiene cuatro grandes funciones en el concreto:

- a. Contribuir a dar las propiedades requeridas al producto endurecido.
- b. Separar las partículas de agregado.
- c. Llenar los vacíos entre las partículas de agregado y adherirse fuertemente a ellas.
- d. Proporcionar lubricación a la masa cuando esta, aún no ha endurecido.

(Naturaleza y Materiales del Concreto, Rivva Lopez, 2000, pág. 9).

2.3.2 El Gel.

Se define como gel a la parte sólida de la pasta, la cual es el resultado de la reacción química del cemento con el agua durante el proceso de hidratación. (Curso Básico de Tecnología del Concreto, Ana Torre, 2004, pág. 79).



En su composición el gel comprende: la masa cohesiva de cemento hidratado en su estado de pasta más densa, el hidróxido de calcio cristalino y los poros gel.

El gel desempeña el papel más importante en el comportamiento del concreto especialmente en sus resistencias mecánicas y elasticidad, donde intervienen dos clases de adherencias cohesivas; atracción física y adherencia química. (Curso Básico de Tecnología del Concreto, Ana Torre, 2004, pág. 79).

2.3.3 Porosidad en la pasta.

Existen en la pasta cantidades variables de espacios vacíos, denominados poros, los cuales no contienen materia sólida aunque, bajo determinadas circunstancias, algunos de ellos podrían estar parcial o totalmente llenos de agua. (Naturaleza y Materiales del Concreto, Rivva Lopez, 2000, pág. 12).

2.3.3.1 Clasificación de los poros.

Del concepto anterior se detallarán solo los correspondientes a poros capilares y poros gel, esto debido a que intervienen o son influenciados cuando se adiciona *microsílice* a la mezcla convencional de concreto.

2.3.3.1.1 Poros capilares.

Se define como poros capilares a los espacios originalmente ocupados por el agua en el concreto fresco, los cuales en el proceso de hidratación del cemento no han sido ocupados por el gel.

El gel sólo puede desarrollarse en los espacios originalmente llenos de agua. Por tanto, si la relación agua-cemento es alta o el curado es pobre, la cantidad de espacios ocupables por el gel será alta y sólo una parte de ellos será ocupada por el gel durante el proceso de hidratación, quedando los espacios residuales en la condición de poros capilares.

Los poros capilares no pueden ser apreciados a simple vista, varían en perfil y forman un sistema, en muchos casos interconectado, distribuido al azar a través de la pasta. En la pasta, en proceso de formación los espacios llenos de agua son continuos. Conforme progresa la hidratación, los capilares son separados por el gel al comenzar a ocupar éste los espacios originalmente llenos de agua, pudiéndose llegar a un sistema parcialmente discontinuo, el cual definitivamente se presenta en relaciones agua-cemento bajas. En la práctica nunca



se llega a un sistema totalmente discontinuo aún en relaciones agua-cemento tan bajas como 0.45. (Naturaleza y Materiales del Concreto, Rivva Lopez, 2000, pág. 14).

La importancia de los poros capilares radica en que, conforme aumenta su número:

1. Disminuyen las resistencias mecánicas de la pasta endurecida.
2. Aumentan la porosidad, permeabilidad y capacidad de absorción de la pasta.
3. Aumenta la vulnerabilidad de la pasta al ataque por acción de las bajas temperaturas sobre el concreto. (Naturaleza y Materiales del Concreto, Rivva Lopez, 2000, pág. 14).

2.3.3.1.2 Poros gel.

Durante el proceso de formación del gel quedan atrapados dentro de éste, totalmente aislados unos de otros, así como del exterior, un conjunto de vacíos a los cuales se les conoce con el nombre de poros gel. (Naturaleza y Materiales del Concreto, Rivva Lopez, 2000, pág. 15).

Estos poros se presentan en el gel en forma independiente de la relación agua-cemento y el grado de hidratación de la pasta, ocupando aproximadamente el 28% de la misma. Los poros gel tienen un diámetro muy pequeño, del orden de aproximadamente 0.0000010 mm , equivalente al de las moléculas de agua. Debido a su muy pequeño diámetro el agua no congela en ellos y estos poros no están interconectados. (Naturaleza y Materiales del Concreto, Rivva Lopez, 2000, pág. 15).

2.4 Componentes del concreto.

En este ítem procederemos a describir los componentes usuales utilizados en mezclas de concretos tradicionales, tales como: agregados (agregado fino y grueso), agua y cemento.

2.4.1 Agregados.

Se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas, de origen natural o artificial, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la norma NTP 400.011. Los agregados son la fase discontinua del concreto. Ellos son materiales que están



embebidos en la pasta y ocupan entre el 62% y el 78% de la unidad cubica de concreto. (Naturaleza y Materiales del Concreto, Rivva Lopez, 2000, pág. 16).

La influencia de este material en las propiedades del concreto tiene efecto importante no sólo en el acabado y calidad final del concreto, sino también sobre la trabajabilidad y consistencia al estado plástico, así como sobre la durabilidad, resistencia, propiedades elásticas y térmicas, cambios volumétricos y peso unitario del concreto endurecido. (Curso Básico de Tecnología del Concreto, Ana Torre, 2004, pág. 43).

2.4.1.1 Funciones del agregado.

Las tres principales funciones del agregado en el concreto son:

- a. Proporcionar un relleno adecuado a la pasta, reduciendo el contenido de esta por unidad de volumen y, por lo tanto, reduciendo el costo de la unidad cubica de concreto.
 - b. Proporcionar una masa de partículas capaz de resistir las acciones mecánicas, de desgaste o de intemperismo, que pueden actuar sobre el concreto.
 - c. Reducir los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento, de humedecimiento y secado; o de calentamiento de la pasta.
- (Naturaleza y Materiales del Concreto, Rivva Lopez, 2000, pág. 17).

2.4.1.2 Funciones del agregado.

El agregado dentro del concreto cumple principalmente las siguientes funciones:

- a. Como esqueleto o relleno adecuado para la pasta (cemento y agua), reduciendo el contenido de pasta en el metro cúbico.
- b. Proporciona una masa de partículas capaz de resistir las acciones mecánicas de desgaste o de intemperismo, que puedan actuar sobre el concreto.
- c. Reducir los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento, de humedecimiento y secado o de calentamiento de la pasta.

Los agregados finos son comúnmente identificados por un número denominado *Módulo de finura*, que en general es más pequeño a medida que el agregado es más fino. La función de



los agregados en el concreto es la de crear un esqueleto rígido y estable lo que se logra uniéndolos con cemento y agua (pasta). Cuando el concreto está fresco, la pasta también lubrica las partículas de agregado otorgándole cohesión y trabajabilidad a la mezcla. Para cumplir satisfactoriamente con estas funciones, la pasta debe cubrir totalmente la superficie de los agregados. (Curso Básico de Tecnología del Concreto, Ana Torre, 2004, pág. 46).

2.4.1.3 Clasificación de los agregados.

Existen diferentes criterios para poder clasificar los agregados que podrían ser por su origen, por su composición mineralógica, por sus propiedades físicas, por sus propiedades químicas, etc., en este acápite solo desarrollaremos la clasificación por su tamaño la cual se utilizó en todo el desarrollo experimental de la tesis en cuestión.

2.4.1.3.1 Por su tamaño.

De acuerdo a su tamaño los agregados se clasifican en:

- Agregado fino.
- Agregado grueso.

Se define como agregado fino a aquel que pasa íntegramente el tamiz N° 3/8" y como mínimo en un 95% el tamiz N°4, quedando retenido en el tamiz N°200.

Se define como agregado grueso a aquel que queda retenido, como mínimo, en un 95% en el tamiz N°4. (Naturaleza y Materiales del Concreto, Rivva Lopez, 2000, pág. 172).

a) Agregado fino.

Se define como agregado fino a aquel proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, el cual pasa el Tamiz 9.4 mm (3/8") y cumple con los límites establecidos en las Normas NTP 400.037 o ASTM C 33. (Naturaleza y Materiales del Concreto, Rivva Lopez, 2000, pág. 179).

Este agregado se caracteriza por estar graduado dentro de los límites indicados por la norma NTP 400.037 o ASTM C33. La granulometrías seleccionada será preferentemente uniforme y continua, con valores retenidos en las mallas N°4 a N°100 de la serie TYLER se



recomienda para el agregado los siguientes límites. (Naturaleza y Materiales del Concreto, Rivva Lopez, 2000, pág. 180).

Tabla 1

Límites granulométricos del agregado fino.

MALLA	PORCENTAJE QUE PASA
3/8" (9.50mm)	100
N°4 (4.75mm)	95 a 100
N°8 (2.36mm)	80 a 100
N°16 (1.18mm)	50 a 85
N°30 (600 micrones)	25 a 60
N°50 (300 micrones)	10 a 30
N°100 (150 micrones)	2 a 10

Fuente: Normas NTP 400.037 o ASTM C 33.

Preferentemente el módulo de fineza no deberá ser menor de 2.3 ni mayor de 3.1 debiendo ser mantenido dentro de los límites de más o menos 0.2 del valor asumido para la selección de las proporciones de la mezcla. (Naturaleza y Materiales del Concreto, Rivva Lopez, 2000, pág. 180).

b) 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 las normas NTP 400.037 o ASTM C33.

El agregado grueso puede consistir de piedra partida, grava natural o triturada, agregados metálicos naturales o artificiales, concreto triturado, o una combinación de ellos. Las partículas deberán ser químicamente estables y estarán libres de escamas, tierra, polvo, limo, sales, humus, incrustaciones superficiales, materia orgánica, u otras sustancias dañinas. (Naturaleza y Materiales del Concreto, Rivva Lopez, 2000, pág. 182).

2.4.1.4 Principales indicadores de los agregados.

a) Superficie específica.

Se define como superficie específica de una partícula de agregado al área superficial de la misma. La superficie específica de un conjunto de partículas es la suma de las áreas

superficiales de las mismas. (Naturaleza y Materiales del Concreto, Rivva Lopez, 2000, pág. 168).

Conceptualmente, al ser más finas las partículas, se incrementa la superficie específica y el agregado necesita más pasta para recubrir el área superficial total sucediendo al contrario si es más grueso. (Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú, Enrique Pasquel, 1992-1993, pág. 94).

Cuanto mayor es la superficie específica, mayor el área superficial a ser cubierta con pasta y menor el diámetro de las partículas. El agregado fino siempre tiene una superficie específica alta, en tanto que la del agregado grueso suele ser bastante baja. (Naturaleza y Materiales del Concreto, Rivva Lopez, 2000, pág. 169).

b) Módulo de Fineza.

Es un concepto sumamente importante establecido por Duff Abrams en el año 1925 y se define como la suma de los porcentajes retenidos acumulativos de la serie standard hasta el tamiz N° 100 dividida entre 100. Debe tenerse muy en claro que es un criterio que se aplica tanto a la piedra como a la arena, pues es general y sirve para caracterizar cada agregado independientemente a la mezcla de agregados en conjunto. (Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú, Enrique Pasquel, 1992-1993, pág. 91).

Los agregados que presentan un módulo de fineza bajo indican una preponderancia de las partículas más finas con un área superficial total muy alta, la que será necesario cubrir con pasta. (Naturaleza y Materiales del Concreto, Rivva Lopez, 2000, pág. 167).

El módulo de fineza sirve como una medida del valor lubricante de un agregado, dado que cuanto mayor es su valor menor será el valor lubricante y la demanda de agua por área superficial. (Naturaleza y Materiales del Concreto, Rivva López, 2000, pág. 167).

2.4.2 Agua.

Las aguas potables y aquellas que no tengan sabores u olores pueden ser utilizadas para preparar concreto, sin embargo algunas aguas no potables también pueden ser usadas si cumplen con algunos requisitos, en nuestro país es frecuente trabajar con aguas no potables

sobre todo cuando se tratan de obras en las afueras de las ciudades. (Curso Básico de Tecnología del Concreto, Ana Torre, 2004, pág. 30).

2.4.3 Cemento.

Según la Norma Técnica Peruana, el cemento Portland es un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del Clinker compuesto esencialmente por silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas de sulfato de calcio como adición durante la molienda, es decir:

$$\text{Cemento Portland} = \text{Clinker Portland} + \text{Yeso}$$

El cemento Portland es un polvo muy fino de color verdoso. Al mezclarlo con agua forma una masa (pasta) muy plástica y moldeable que luego de fraguar y endurecer, adquiere gran resistencia y durabilidad. (Curso Básico de Tecnología del Concreto, Ana Torre, 2004, pág. 5).

2.4.3.1 Composición química.

a. Compuestos Químicos.

Durante la calcinación en la fabricación del Clinker de cemento Portland los óxidos se combinan con los componentes ácidos de la materia prima entre si dando lugar a cuatro importantes compuestos. Los principales compuestos que constituyen aproximadamente el 90-95% del cemento, también se presentan en menores cantidades, otros compuestos secundarios. (Curso Básico de Tecnología del Concreto, Ana Torre, 2004, pág. 10).

Tabla 2
Compuestos químicos del Clinker.

Designación	Fórmula	Abreviatura	Porcentaje
Silicato Tricálcico	$3CaO.SiO_2$	$C_3 S$	30% a 50%
Silicato Dicálcico	$2CaO.SiO_2$	$C_2 S$	15% a 30%
Aluminato Tricálcico	$3CaO.Al_2O_3$	$C_3 A$	4% a 12%
Ferro aluminato Tetracálcico	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	$C_3 A F$	8% a 13%
Cal libre	$Ca O$		



Magnesia libre (Periclasa)

Mg O

Fuente: Adaptado, Curso Básico de Tecnología del Concreto, Ana Torre, 2004, pág. 10.

Estos compuestos en presencia del agua se hidratan y forman nuevos compuestos que forman la infraestructura de la pasta de cemento endurecido en el concreto. (Curso Básico de Tecnología del Concreto, Ana Torre, 2004, pág. 10).

2.4.3.2 Propiedades de los compuestos principales.

a. Silicato Tricálcico (C3S), conocido también como alita.

También denominado Alita, es la fase principal en la mayoría de los Clinker Portland, y se compone de 73.7% de cal y 26.3% de ácido silícico. Este compuesto presenta cristales poligonales bien formados, con dimensiones que varían según el grado de cristalización, siendo bien desarrollados cuando la cocción ha tenido lugar a temperatura suficientemente elevada y durante bastante tiempo, así como en presencia de una cantidad adecuada de fase líquida. (Tecnología del Concreto de Alto Desempeño, Pablo Portugal, 2002).

El silicato Tricálcico contribuye de manera muy importante a las resistencias iniciales, siendo su velocidad de hidratación alta, así también desarrolla un alto calor de hidratación, se estima que su calor de hidratación completa es 120 cal/gr. (Tecnología del Concreto de Alto Desempeño, Pablo Portugal, 2002).

Experimentalmente se ha comprobado que los concretos elaborados con cementos con mayor porcentaje de silicato Tricálcico presentan una mejor acción a los ciclos de hielo y deshielo. Se recomienda su uso en zonas de climas fríos dado su alto calor de hidratación, sin embargo no en construcciones masivas por la baja estabilidad volumétrica que pueden producir. (Tecnología del Concreto de Alto Desempeño, Pablo Portugal, 2002).

b. Silicato Dicálcico (C2S), conocido también como belita.

También denominado Belita, es la segunda fase en importancia en el Clinker, y se compone de 65.1% de cal y 34.9% de ácido silícico. Este compuesto presenta cristales



relativamente anchos, de contornos redondeados y tamaño variable. (Tecnología del Concreto de Alto Desempeño, Pablo Portugal, 2002).

El silicato Dicálcico tiene una lenta velocidad de hidratación y desarrollo de calor bajo, 62 cal/gr, dada su lenta velocidad de endurecimiento, la contribución del silicato Dicálcico a las resistencias iniciales es muy pequeña, siendo su efecto posterior la fuente principal de resistencia. Su estabilidad química es bastante buena, por lo que el uso de cementos con alto contenido de silicato Dicálcico para producir concretos resistentes al ataque de sulfatos es muy recomendable. (Tecnología del Concreto de Alto Desempeño, Pablo Portugal, 2002).

c. Aluminato Tricálcico (C3A)

El aluminato Tricálcico se compone de 62.3% de cal y 37.7% de alúmina. Este compuesto presenta un color oscuro ante el examen microscópico del Clinker, después de los álcalis, los aluminatos son los compuestos del cemento que primero reaccionan con el agua. Su fraguado ocurre a una velocidad de hidratación muy alta, hasta el punto de ser casi instantáneo, es por esta razón que la adición de sulfato de calcio se hace necesaria para controlar esta velocidad de hidratación. (Tecnología del Concreto de Alto Desempeño, Pablo Portugal, 2002).

El aluminato Tricálcico contribuye en las resistencias durante las primeras horas, su calor de hidratación es muy elevado 207 cal/gr. (Tecnología del Concreto de Alto Desempeño, Pablo Portugal, 2002).

Tanto la resistencia del concreto a ciclos de hielo y deshielo así como su resistencia al ataque de sulfatos tiende a disminuir conforme se incrementa el contenido de aluminato Tricálcico en el cemento. El aluminato Tricálcico es muy sensible a la acción de sulfatos y cloruros, debido a la formación de sales del tipo sulfoaluminatos y cloro aluminatos, la formación de estas sales es de carácter expansivo, pudiendo originar agrietamiento y desintegración del concreto. La forma de ataque es por reacción del sulfato de calcio con el hidroaluminato Tricálcico resultante de la hidratación del aluminato Tricálcico, favoreciendo la formación del llamado bacilo del cemento químicamente sulfoaluminatos de calcio hidratado, este compuesto es la causa de las formas más peligrosas de corrosión del concreto. Se recomienda un contenido máximo de aluminato Tricálcico es del orden de 7%. (Tecnología del Concreto de Alto Desempeño, Pablo Portugal, 2002).



d. Ferro Aluminato Tetra cálcico (C4AF).

El ferro aluminato Tetracálcico se compone de 46.1% de cal, 21% de alúmina y 32.9% de óxido de hierro. También es denominado Celita clara o Ferrito. Este compuesto presenta un calor de hidratación de 100 cal/gr y una alta estabilidad química, los cementos ricos en este compuesto tienen condiciones de empleo específicas en todos aquellos casos en que importe más la durabilidad frente a los agresivos químicos que las resistencias mecánicas.

(Tecnología del Concreto de Alto Desempeño, Pablo Portugal, 2002)

2.5 Influencia de adiciones minerales (microsílice) en mezclas de concreto.

2.5.1 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, el indica que los romanos desarrollaron 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 tanto en estado endurecido como en estado fresco; este incremento de trabajabilidad, durabilidad y según sea el caso de resistencia, hacen que el uso de adiciones ya sean naturales o artificiales, sea muy recomendado para el concreto. En las siguientes imágenes obtenidas por microscopia se muestran los diferentes materiales usados como adición en el concreto. (Tecnología del Concreto de Alto Desempeño, Pablo Portugal, 2002).

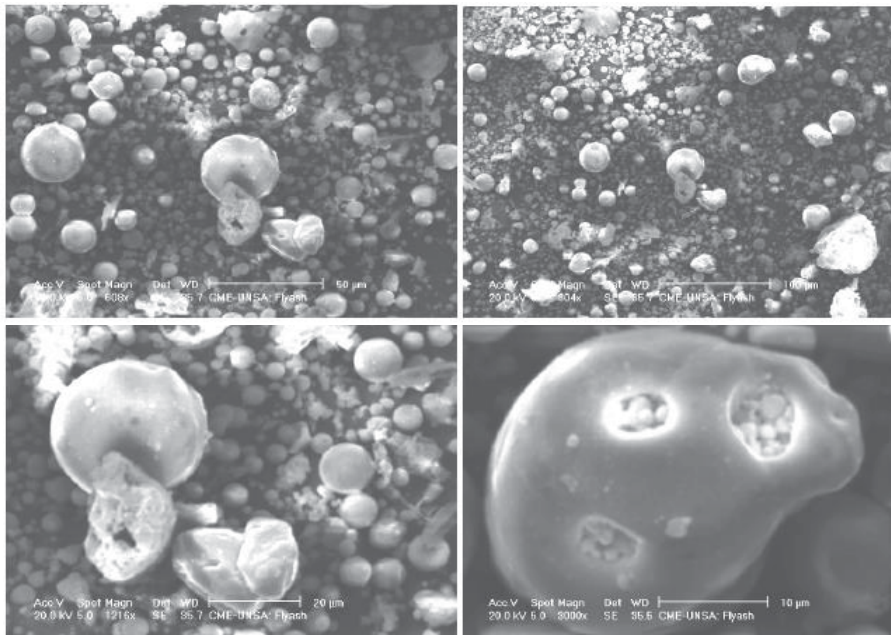


Figura 2. Imagen de partículas de ceniza volante, obtenidas de la planta termoeléctrica de Ilo. (Tecnología del Concreto de Alto Desempeño, Pablo Portugal, 2002, pag.75).

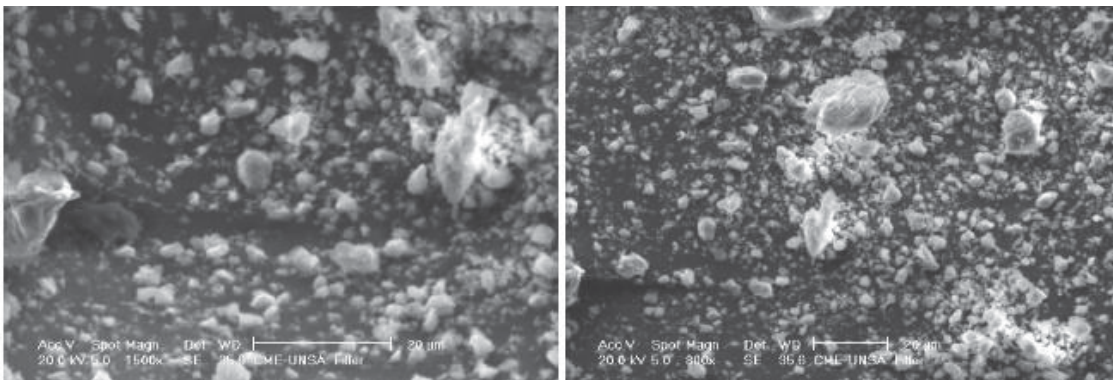


Figura 3. Partículas de filler calizo. (Tecnología del Concreto de Alto Desempeño, Pablo Portugal, 2002, pag.75).

En este apartado describiremos a la microsíllice, la cual es un producto derivado de la industria del ferro-silicio y sus propiedades q le confiere al concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido así como las distintas características q esta presenta.

2.5.2 Definición.

El comité 116 del American Concrete Institute (ACI) define a la microsíllice como: “una sílice no cristalina muy fina producida por hornos de arco eléctrico como un subproducto de



la fabricación de silicio metálico o ferro silicio". (Concretos de Alta Resistencia, Rivva Lopez, 2002, pág. 7).

La microsíllice es un polvo muy fino, obtenido por decantación del humo de chimeneas de altos hornos de aleaciones metálicas de la industria del ferro silicón, 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. (Concretos de Alta Resistencia, Rivva Lopez, 2002, pág. 6).

Debido a que las partículas del microsíllice son ultra fina, con un área de superficie de alrededor de $20.000\text{ m}^2/\text{Kg}$, y un contenido de SiO_2 de aproximadamente 90%, la reactividad es muy alta. Por el tamaño muy pequeño de las partículas de microsíllice, la estructura cristalina formada por esta reacción es también muy pequeña, y ocupa los espacios vacíos dentro de la matriz. Esto densifica la estructura completa del concreto, resultando en una resistencia mayor y reducciones significativas en permeabilidad.

2.5.3 Características.

La microsíllice es producida como un polvo ultra fino de color gris el cual tiene las siguientes propiedades típicas.

- a. Un contenido de por lo menos 90% de SiO_2 .
- b. Partículas con tamaño promedio de 0.1 a 0.2 micrómetros.
- c. Superficie especifica mayor de $15,000\text{ m}^2/\text{kg}$.
- d. Perfil esférico de las partículas.
- e. Mínimo contenido de carbón.

Un elemento en el procesamiento de las microsíllice es la remoción de las partículas gruesas, las cuales pueden ser astillas de madera, trozos de carbón, u otros componentes de la carga del horno, ellas deben ser eliminadas. (Concretos de Alta Resistencia, Rivva Lopez, 2002, pág. 8).



2.5.4 Propiedades.

2.5.4.1 Propiedades físicas.

Las microsílices presentan características comunes; tipo amorfo, diámetro promedio muy pequeño, alto contenido de sílice, condensación por vapores de óxido de silicio, etc.

(Concretos de Alta Resistencia, Rivva Lopez, 2002, pág. 12)

a. Color.

La microsíllice varía de color gris claro a oscuro, dando una lechada de color negro.

Debido a que el SiO_2 es incoloro, el color es determinado por los componentes no silicosos, los cuales incluyen el carbón y óxido de hierro. En general al igual que en otros productos derivados de la calcinación por carbón, cuanto más alto es el contenido de carbón, más oscuro es el color. (Tecnología del Concreto de Alto Desempeño, Pablo Portugal, 2002)

b. Densidad.

La densidad de las microsílices es usualmente reportada como 2.2, sin embargo este valor puede variar según el productor, un alto contenido de carbón en la microsíllice será reflejada en una menor densidad. (Tecnología del Concreto de Alto Desempeño, Pablo Portugal, 2002)

c. Peso unitario no densificado.

El peso unitario suelto de microsílices. Colectadas de la producción de metales silíceos y/o aleaciones de ferro silicón. Es del orden de 130 a 430 kg/m^3 , un valor promedio de 300 kg/m^3 es aceptado. Los silos los cuales pueden contener una masa dada de cemento portland, puedan contener únicamente el 25% de microsílices. (Tecnología del Concreto de Alto Desempeño, Pablo Portugal, 2002).

d. Superficie específica.

La microsíllice es un conjunto de partículas vítreas muy finas, de perfil esférico y diámetro muy pequeño, cuya superficie específica está en el orden de 200 000 cm^2/gr . cuando es determinada empleando las técnicas de absorción de nitrógeno. La distribución por tamaños indica partículas con diámetro promedio de 0.1 micrómetros, el cual es aproximadamente 100



veces menor que el de las partículas de cemento promedio. (Tecnología del Concreto de Alto Desempeño, Pablo Portugal, 2002).

Así, esta alta superficie específica y el gran contenido de dióxido de sílice amorfa proporcionan excepcionales propiedades puzolánicas. En la tabla siguiente se muestran los rangos para los valores de superficie específica de algunos materiales. (Tecnología del Concreto de Alto Desempeño, Pablo Portugal, 2002).

Tabla 3

Superficie específica característica de materiales utilizados como adición y del cemento.

Material	Superficie Específica
Microsílices	200 000 cm ² /gr
Cenizas	4000 – 7000 cm ² /gr
Escorias	3500 – 6000 cm ² /gr
Cemento Portland	3000 – 4000 cm ² /gr

Fuente: Adaptado, (Tecnología del Concreto de Alto Desempeño, Pablo Portugal, 2002, pag.78).

El índice de Reactividad se incrementa debido a la elevada superficie específica, el diámetro mínimo de las partículas y su alto contenido de sílice, la cual reacciona con el hidróxido de calcio, resultante de la hidratación del cemento, para producir cristales de silicato de calcio hidratado. (Concretos de Alta Resistencia, Rivva Lopez, 2002, pág. 13).

2.5.5 Proceso de hidratación.

2.5.5.1 Proceso de hidratación del cemento en concretos convencionales.

La reacción de hidratación es aquella en la que el cemento se transforma en un agente aglomerante debido a los procesos químicos responsables de la formación de nuevos compuestos, que generan propiedades mecánicas útiles en las aplicaciones estructurales.

Alrededor de un grano de Clinker (aprox. 50 micras) se forma una sustancia gelatinosa, denominada gel inestable, que acaba absorbiendo la totalidad del agua. Este gel está formado por compuestos cristalinos que precisan de agua para desarrollarse. Paulatinamente va perdiendo agua y se transforma en un gel estable, responsable, en gran medida de las propiedades mecánicas de los cementos.



Es pues un proceso complejo y dinámico, dependiente del tiempo y en el que, en distintas fases, se van sucediendo distintas reacciones químicas. Explicadas a continuación:

- En los primeros minutos se produce una rápida disolución de sulfatos y aluminatos. Se hidrata el C3S se forma la etringita (compuesto químico). Es un proceso en el que las temperaturas aumentan rápidamente y se produce un cambio en la composición de la fase líquida.
- El llamado periodo de inducción es aquel que se desenvuelve entre las primeras cuatro horas del fraguado. En el disminuye la concentración de silicatos pero aumenta la de iones Ca hasta alcanzar un nivel de supe saturación. Se forman también núcleos de CH y C-S-H. Se forman pues los primeros productos de hidratación, que pueden alterar el fraguado y la trabajabilidad. La variación de la temperatura se ralentiza.
- En la tercera fase o etapa de aceleración (3-12 h) se produce una rápida reacción química de los silicatos de Ca para formar C-S-H y CH, por lo que disminuye la concentración de calcio. La rápida formación de hidratos provoca un descenso de la porosidad. La masa pasa de un estado plástico a uno rígido en un proceso en el que nuevamente las temperaturas suben rápidamente.
- En la última fase o etapa de post aceleración se siguen formando los productos de hidratación CH y C-S-H en un proceso determinado por la difusión. La etringita cristaliza en mono sulfato y se produce la polimerización de posibles silicatos. La subida de las temperaturas nuevamente se ralentiza, y, se produce un continuo desarrollo de la resistencia, acompañado por la aparición de adherencia entre la pasta y los agregados. La resistencia y propiedades mecánicas finales, dependerán pues de la morfología del sistema hidratado.

2.5.5.2 Proceso de hidratación por influencia de la microsíllice.

En 1990 los investigadores Cohen, Olek y Dolch calcularon que por cada 15% de microsíllice como reemplazo del cemento, hay aproximadamente 2 millones de partículas de microsíllice por cada grano de cemento portland en una mezcla de concreto. No hay por lo tanto demasiada sorpresa que la microsíllices tengan un efecto pronunciado sobre las propiedades del concreto.

En general la resistencia en la zona de transición entre la pasta y las partículas de agregado grueso es menor que la del volumen de pasta. La zona de transición contiene más vacíos debido a la acumulación del agua de exudación y la dificultad de acomodar partículas sólidas cerca a la superficie.

Relativamente más hidróxido de calcio (CH) se forma en esta región que en el resto. Sin la microsilíce los cristales de CH crecen a un tamaño mayor y tienden a estar fuertemente orientados en forma paralela a las partículas de agregado: el CH es más débil que el silicato de calcio hidratado (C.S.H) y cuando los cristales son grandes y están fuertemente orientados en forma paralela a la superficie del agregado, ellos son fácilmente unidos. Una zona de transición débil resulta de la combinación de altos contenidos de vacíos y cristales grandes de CH fuertemente orientados.

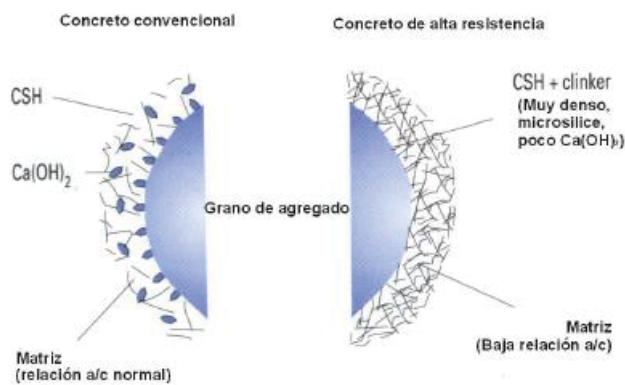


Figura 4. Efecto de la microsilíce en la aureola de transición del agregado, comparación entre un concreto convencional y un concreto con microsilíce. . (Tecnología del Concreto de Alto Desempeño, Pablo Portugal, 2002, pag.81).

De acuerdo a Mindess en 1988, las microsilíce incrementan la resistencia del concreto fuertemente, principalmente debido a su incremento de la resistencia por adherencia entre la pasta y las partículas de agregado. En 1986 Walg, entre otros investigadores, encontró que aún una pequeña adición del 2% al 5% de microsilíce produce una estructura densa en la zona de transición con un consecuente incremento en el micro-endurecimiento y la resistencia a la fractura. Igualmente Detwiler en 1990 encontró que la microsilíce incrementa la resistencia a la fractura de la zona de transición entre la pasta y el acero.



La presencia de la microsilíce en el concreto fresco generalmente da por resultado una reducción en la exudación y mayor cohesividad. Este es un efecto físico como resultado de incorporar partículas extremadamente finas en la mezcla. Como ya indicó Sellevold en 1987 "El incremento en la coherencia (cohesividad) deberá beneficiar la estructura en términos de reducir la segregación y los bolsones de agua debajo de acero de refuerzo y el agregado grueso". Monteiro y Metha en 1986 determinaron que la presencia de la microsilíce reduce el espesor de la zona de transición entre la pasta y las partículas de agregado, dando lugar a la reducción de la exudación.

La presencia de microsilíce acelera la hidratación del cemento durante la etapa inicial. Sellevold. En 1982, encontró que un volumen igual de un relleno inerte (carbonato de calcio) produce el mismo efecto y concluyó que la simple presencia de numerosas partículas finas, sean puzolánicas o no, tiene un efecto catalizador sobre la hidratación del cemento.

La reacción puzolánica brinda mejoras importantes de la resistencia en el tiempo. En concreto endurecido, las partículas de microsilíce incrementan el acomodo del material sólido al llenar los espacios entre los granos de cemento, de la misma manera como el cemento llena los espacios entre las partículas de agregado fino, y éstas llenan los espacios entre las partículas de agregado grueso en el concreto. Esta analogía se aplica únicamente cuando las fuerzas superficiales entre partículas de cemento son despreciables, esto es, cuando existe suficiente aditivo presente para compensar el efecto de las fuerzas superficiales. (Tecnología del Concreto de Alto Desempeño, Pablo Portugal, 2002).

2.5.6 Aditivo súper plastificante.

Los aditivos conocidos como súper plastificantes, o aditivos reductores de agua de alto rango, son químicamente diferentes a los aditivos reductores de agua normales y pueden ser empleados para reducir significativamente el contenido de agua del concreto en valores del orden del 30%, manteniendo una consistencia dada y sin producir efectos no deseados sobre el fraguado. (Naturaleza y Materiales del Concreto, Rivva Lopez, 2000, pág. 365).

Igualmente pueden ser empleados para incrementar el asentamiento significativamente sin necesidad de aumentar el agua de la mezcla original. La importancia de estos aditivos justifica que se efectuó un amplio estudio del mismo. (Naturaleza y Materiales del Concreto, Rivva Lopez, 2000, pág. 365).



2.5.6.1 Clasificación según norma.

Los aditivos plastificantes y súper plastificantes han sido clasificados según la norma ASTM C-494, donde se encuentran combinados con la acción de aditivos reductores y aceleradores de fragua, en la siguiente tabla se muestra los diferentes tipos:

Tabla 4

Tipos de aditivos químicos.

Tipo	Características
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 de alto rango.
G	Actúan como reductores de agua de alto rango y retardadores.

Fuente: Adaptado, norma ASTM C 494.

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

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 inadecuadas propiedades del concreto elaborado con este producto. (Tecnología del Concreto de Alto Desempeño, Pablo Portugal, 2002).



2.6 Influencia de la microsíllice en las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto.

2.6.1 Propiedades en estado fresco.

2.6.1.1 Superficie interna.

Las microsíllices tienen una gran área superficial debido a su muy alta superficie específica. Ello tiene un efecto importante sobre las propiedades al estado no endurecido de los concretos. En una cantidad del 10% de microsíllice en peso del cemento, se añade por cada gramo de cemento 50,000 a 100,000 micros esferas que hacen que la mezcla se sature con material muy fino, y esta adición cause un incremento en la superficie interna de un gran orden de magnitud. (Concretos de Alta Resistencia, Rivva Lopez, 2002, pág. 30)

2.6.1.2 Color.

El concreto con microsíllice tanto al estado fresco como en el endurecido tiene una coloración gris oscuro mayor que la de los concretos sin aditivo, la cual se acentúa con el contenido de aditivo. Esto es especialmente cierto en concretos que incorporan altos porcentajes de microsíllice cuyo porcentaje de carbón es relativamente alto. (Concretos de Alta Resistencia, Rivva Lopez, 2002, pág. 30)

2.6.1.3 Cohesividad.

El concreto con microsíllice es más cohesivo comparado con un concreto estándar, él es menos susceptible a procesos de segregación que los concretos regulares, aun en los concretos fluidos.

La reducción en la tendencia a la segregación es también útil para lechadas altamente fluidas y mezclas a ser bombeadas. La adición de pequeñas cantidades de microsíllice a una mezcla diseñada para bombeo deberá actuar como una ayuda, dando excelentes características de bombeo. (Concretos de Alta Resistencia, Rivva Lopez, 2002, pág. 30)

2.6.1.4 Trabajabilidad.

Este efecto es ventajoso pero igualmente da lugar a que el concreto sea menos trabajable durante la colocación, lo cual obliga a un incremento en el asentamiento para mantener una



trabajabilidad aparente. Esta es una de las más importantes razones por las cuales las microsíllice deben ser empleadas conjuntamente con plastificantes o super plastificantes. (Concretos de Alta Resistencia, Rivva Lopez, 2002, pág. 31).

2.6.1.5 Segregación.

Para un mismo contenido de agua, las mezclas que incorporan microsíllice, por su alta fineza y mayor demanda de agua, son más densas y cohesivas y menos propensas a la segregación. El concreto que incorpora más del 10% de microsíllice tendera a ser más ligante.

Debido a la alta fineza de la misma, cuando se emplea microsíllice, las mezclas tenderán a secarse y ganar consistencia obligando a la utilización de super plastificantes, que permiten obtener mezclas muy fluidas sin modificación en el contenido de agua. (Concretos de Alta Resistencia, Rivva Lopez, 2002, pág. 32).

2.6.1.6 Exudación.

La incorporación de microsíllice a la pasta reduce la exudación debido a cambios en las propiedades reológicas del concreto, las cuales controlan las fuerzas internas causadas por la superficie específica total de la adición, al mismo tiempo que mejoran la capacidad de acomodo de las partículas de agregado. (Concretos de Alta Resistencia, Rivva Lopez, 2002, pág. 32).

Los cambios indicados son debidos a que las microsíllice tienen una alta afinidad por el agua, dando por resultado que queda muy poca libre en la mezcla para exudación. (Concretos de Alta Resistencia, Rivva Lopez, 2002, pág. 32).

2.6.1.7 Fraguado y endurecimiento.

El tiempo de fraguado de los concretos con microsíllice es similar al de los concretos ordinarios. Estando condicionado a las diversas condiciones de trabajo en obra.

Conforme el concreto endurece, la acción química de la microsíllice tiene efecto sobre las propiedades físicas. La microsíllice reacciona con el hidróxido de calcio para producir silicato de calcio hidratado. Así, de esta manera, el volumen de gel ligante se incrementa,



dando lugar al incremento de la resistencia y reducción de la permeabilidad por densificación de la matriz de concreto. (Concretos de Alta Resistencia, Rivva Lopez, 2002, pág. 32).

Conforme la microsíllice reacciona y produce silicato de calcio hidratado, los vacíos y poros en el concreto son llenados con el hidrato y forman uniones entre los granos de cemento y el agregado. La combinación de efectos químicos y físicos da lugar a que los concretos con microsíllice sean muy homogéneos y densos, mejorando en forma significativa la resistencia e impermeabilidad. (Concretos de Alta Resistencia, Rivva Lopez, 2002, pág. 32).

2.6.2 Propiedades en estado endurecido.

2.6.2.1 Resistencia en compresión.

Las resistencia mecánicas del concreto, especialmente la resistencia en compresión, se modifican en forma muy importante si se incorpora microsíllice a la mezcla. La magnitud y porcentaje de incremento de la resistencia depende de numerosos factores, algunos de los cuales son el tipo de mezcla, tipo de cemento, cantidad de microsíllice, empleo de aditivos reductores de agua; propiedades del agregado y régimen de curado. (Concretos de Alta Resistencia, Rivva Lopez, 2002, pág. 34).

Por otra parte la presencia de agregados incide notablemente en la heterogeneidad, debido a la diversidad de tamaños, textura superficial y geometría de las partículas. Todo esto es lo que hace imposible lograr una adherencia perfecta entre la pasta de cemento y cada una de las partículas de agregado, sin embargo la adición de microsíllice en este sistema, incrementa la adherencia en la zona de transición. (Tecnología del Concreto de Alto Desempeño, Pablo Portugal, 2002).

En resumen la resistencia a la compresión del concreto se rige principalmente por la resistencia e interacción de sus fases constituyentes:

- ✓ La resistencia de la pasta hidratada y endurecida (matriz).
- ✓ La resistencia de las partículas del agregado.
- ✓ La resistencia de la interface matriz – agregado.

Los concretos de alto desempeño suelen tener una zona intersticial que varía entre 10 a 50 μm , esta zona contiene una más alta porosidad y un alto volumen de hidróxido de calcio, como se muestra en la figura 5.2., en los concretos sin adiciones minerales esta zona es consecuentemente frágil y más permeable que la pasta fuera de la zona de transición, a pesar de ser esta zona delgada esta suele ser una porción importante que varía entre una cuarta a tercera parte del volumen de pasta en el mortero o concreto. En los concretos con adiciones minerales finas esta zona suele llenarse de estas formando una zona más densa, así mismo la mayor acumulación de los cristales de hidróxido de calcio proporcionan un fuente para la combinación con las puzolanas adicionadas, el uso de microsíllice densifica notablemente esta zona creando los mecanismos de alta adherencia entre los agregados y las pasta. (Tecnología del Concreto de Alto Desempeño, Pablo Portugal, 2002)

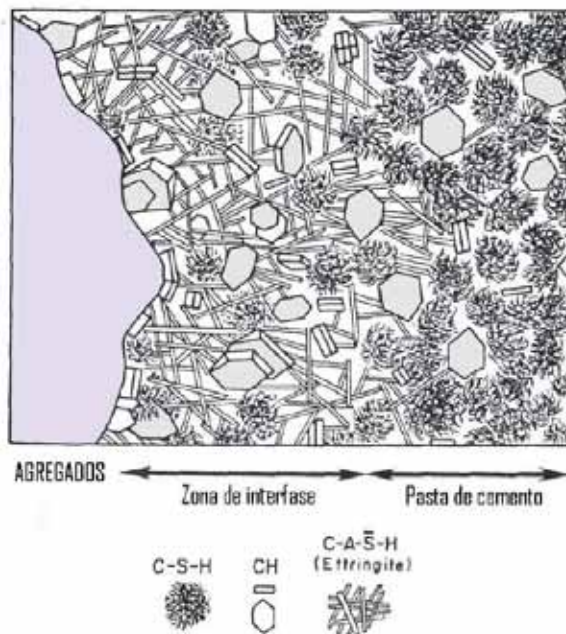


Figura 5. Representación de la zona de interface o transición en un concreto sin adiciones. . (Tecnología del Concreto de Alto Desempeño, Pablo Portugal, 2002, pag.212).

2.6.2.2 Durabilidad.

Según el comité 201 del ACI, la durabilidad del concreto se define como su resistencia a la acción del clima, a los ataques químicos, a la abrasión o cualquier otro proceso de deterioro. De tal manera que un concreto durable debe mantener su forma original, su calidad y sus



propiedades de servicio al estar expuesto a su medio ambiente. Por lo tanto, la durabilidad depende del ambiente al que se exponga el concreto o de causas internas del concreto mismo.

Las causas internas son las reacciones álcali-agregado, los cambios de volumen por diferencias en las propiedades térmicas del agregado y la pasta de cemento y, la permeabilidad del concreto. Esta última determina en gran medida la vulnerabilidad del concreto a los factores extremos, de tal manera que, para ser durable, el concreto tiene que ser relativamente impermeable. (Tecnología del Concreto de Alto Desempeño, Pablo Portugal, 2002).

El principal efecto físico y químico de la adición de micro sílice al concreto es una reducción en los contenidos de los hidróxidos de calcio, potasio, y sodio, y una estructura de poros muy refinada en el concreto endurecido. (Concretos de Alta Resistencia, Rivva Lopez, 2002, pág. 44).

2.6.2.3 Permeabilidad y porosidad.

En relación con su efecto sobre la permeabilidad, estructura de los poros, y durabilidad frente a la acción agresiva de elementos específicos, el empleo de la microsíllice en las mezclas proporciona una porosidad muy baja con un incremento de la impermeabilidad del concreto. (Concretos de Alta Resistencia, Rivva Lopez, 2002, pág. 34).

Ello permite que los concretos a los cuales se ha adicionado microsíllice puedan ser empleados en ambientes agresivos tales como alcantarillas, plantas de tratamiento, obras de irrigación, ambientes industriales, estructuras marinas, así como en elementos estructurales expuestos al ataque de cloruros. (Concretos de Alta Resistencia, Rivva Lopez, 2002, pág. 34)

2.6.2.4 Contracción y expansión.

Si bien la contracción de los concretos con microsíllice es similar a la de los concretos normales, debido a la reducción en el tiempo de secado, la contracción tiene lugar más lentamente en los concretos con microsíllice, lo cual podría dar la idea que la contracción es



menor en los concretos con microsilíce que en los concretos normales. (Concretos de Alta Resistencia, Rivva Lopez, 2002, pág. 35).

2.6.2.5 Adherencia.

Una mejora en la cohesividad debida a la mejor distribución del conjunto de los elementos de los concretos con microsilíce, debido al pequeño tamaño de las partículas de esta, mejora la superficie de contacto y, por consiguiente, la adherencia entre el concreto fresco con microsilíce y aspectos tales como el acero de refuerzo, concreto antiguo, fibras y agregado. (Concretos de Alta Resistencia, Rivva Lopez, 2002, pág. 36).



CAPITULO 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Hipótesis y variables.

3.1.1 Hipótesis general.

HG: Existe alguna cantidad óptima de microsiílice en reemplazo de cemento para la obtención y optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$ sobre sus propiedades mecánicas en la ciudad del Cusco.

3.1.2 Hipótesis específicas.

HE1: Existe alguna cantidad de cemento reemplazado por microsiílice en el diseño de mezclas para la optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$ sobre sus propiedades mecánicas en la ciudad del Cusco.

HE2: Influye la relación agua/cemento (a/c) en la optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$, sobre sus propiedades mecánicas con adición de microsiílice en reemplazo de cemento en la ciudad del cusco.

HE3: Influye de manera directa un 10 % de adición de microsiílice en reemplazo de cemento en la optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$, sobre sus propiedades mecánicas en la ciudad del Cusco.

HE4: Influye de manera directa un 15 % de adición de microsiílice en reemplazo de cemento en la optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$, sobre sus propiedades mecánicas en la ciudad del Cusco.

3.2 Identificación de variables.

La presente investigación, es de carácter correlacional, por lo que se puede identificar de manera marcada, las variables dependientes y las variables independientes.

Para alcanzar los diseños planteados, es necesario modificar el material cementante, dentro de ello se adicionará microsiílice en diferentes porcentajes, hasta alcanzar la cantidad más



óptima. También se variara la relación agua/cemento y la granulometría de los áridos; estos parámetros serán las variables independientes y la resistencia a la compresión, así como la consistencia de la mezcla; que son los resultados a obtener, se les define como las variables dependientes.

3.2.1 Variables Independientes.

- Adición de microsíllice: Será la variable independiente principal, ya que se experimentara con diferentes porcentajes en adición de microsíllice, como 10%, 15% y un x% del peso total del material cementante. Esta variable tiene como indicadores los kg y %.
- Cantidad de cemento reemplazado: La cantidad de cemento reemplazado en cada diseño será diferente y afectará en la resistencia a la compresión, la formación de la pasta y la consistencia de la mezcla. Su indicador o medida será el % o kg.
- Granulometría de los áridos: será variable para cada diseño, y se elegirá la mejor granulometría según la experimentación y observación de la trabajabilidad y resistencia del concreto, ya que influye directamente. El indicador estará dado por el módulo de fineza de los agregados y su cantidad.
- Relación agua – material cementante: es un sub factor, que será variable para cada cantidad de microsíllice, tendrá efecto sobre la trabajabilidad y consistencia de la mezcla. Tiene como medida o indicador una cantidad adimensional.

3.2.2 Variables Dependientes.

- En estado fresco: se tiene la variable, consistencia de mezcla, que dependerá de la relación agua – material cementante y de la granulometría de los áridos; esta variable



se medirá con la prueba de revenimiento, de acuerdo a los procedimientos establecidos en la norma NTP 339.035 y su unidad de medida o indicador será los centímetros.

- En estado endurecido: se reconoce como variable dependiente también a la Resistencia a la compresión simple de los diseños en análisis, esta dependerá de las adiciones de microsiílice que se haga en el material cementante, el procedimiento normalizado de los testigos se realizará de acuerdo a los procedimientos de la norma NTP 339.034 y su unidad de medida o indicador será kg/cm^2 .

3.2.3 Unidad de Análisis: Laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

3.2.4 Ámbito geográfico: Ciudad del Cusco.

3.2.5 Periodo: 2017.



3.3 Operacionalización de variables.

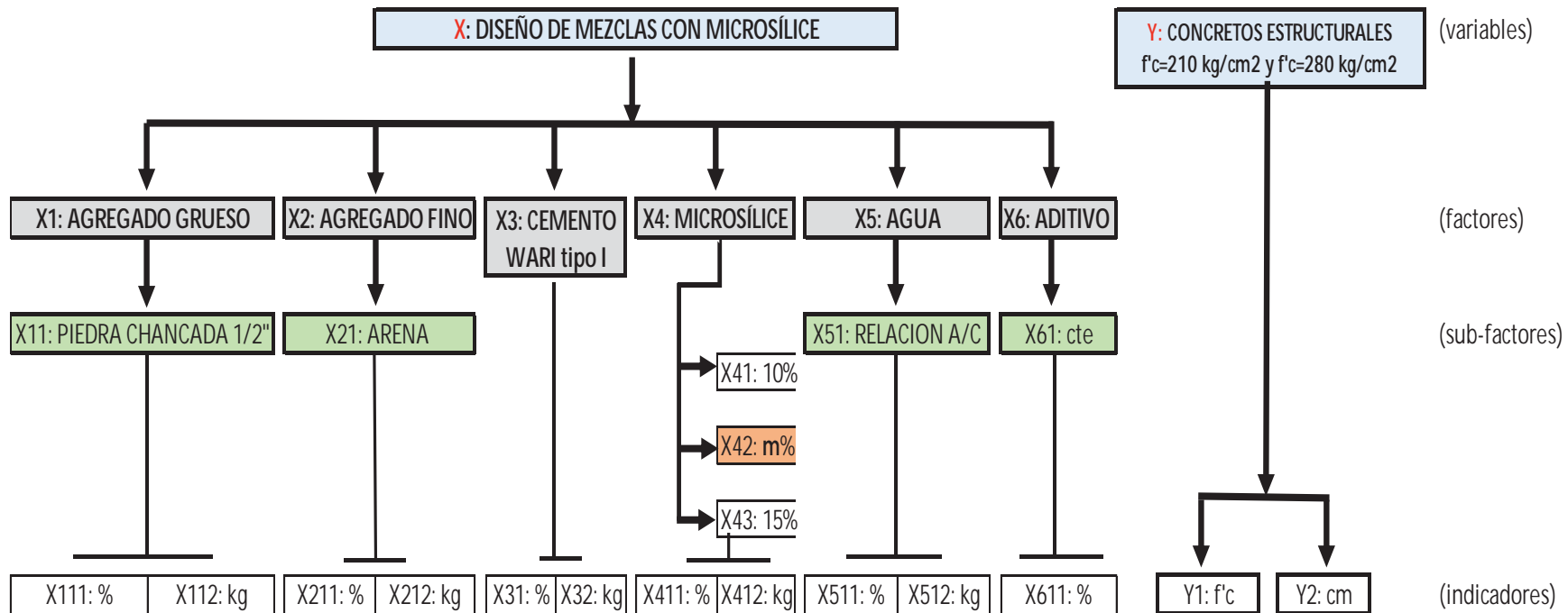


Figura 6. Diagrama de operacionalización de variables.

$$F(X)=y$$

F (Adición de Microsíllice) = Diseño de Mezcla para concretos $f'c=210$ y $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$.



3.4 Matriz de Consistencia.

MATRIZ DE CONSISTENCIA					
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	FACTORES	IND.
PG: ¿Cuál será la cantidad óptima de microsilice en reemplazo de cemento para la obtención y optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$ sobre sus propiedades mecánicas en la ciudad del Cusco?	OG: Determinar la cantidad optima de microsilice en reemplazo de cemento para la obtención y optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$ sobre sus propiedades mecánicas en la ciudad del Cusco.	HG: Existe alguna cantidad optima de microsilice en reemplazo de cemento para la obtención y optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$ sobre sus propiedades mecánicas en la ciudad del Cusco. H0: No existe una cantidad optima. H1: Si existe una cantidad optima.	X: DISEÑO DE MEZCLAS CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE	X4: MICROSÍLICE	X411: % X412: Kg
			Y: CONCRETOS ESTRUCTURALES $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$		Y1: $f'c$
PE1: ¿Cuál será la cantidad de cemento reemplazado por microsilice en el diseño de mezclas para la optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$ sobre sus propiedades mecánicas en la ciudad del Cusco?	OE1: Establecer la cantidad de cemento reemplazado por microsilice en el diseño de mezclas para la optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$ sobre sus propiedades mecánicas en la ciudad del Cusco.	HE1: Existe alguna cantidad de cemento reemplazado por microsilice en el diseño de mezclas para la optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$ sobre sus propiedades mecánicas en la ciudad del Cusco. H0: No existe una cantidad de cemento. H1: Si existe una cantidad de cemento.	X: DISEÑO DE MEZCLAS CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE	X3: cemento portland WARI tipo I	X31: % X32: Kg
			Y: CONCRETOS ESTRUCTURALES $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$		Y1: $f'c$
PE2: ¿Cómo influye la relación agua/cemento (a/c) en la optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$, sobre sus propiedades mecánicas con adición de microsilice en reemplazo de cemento en la ciudad del cusco?	OE2: Determinar la relación agua/cemento (a/c) en la optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$, sobre sus propiedades mecánicas con adición de microsilice en reemplazo de cemento en la ciudad del cusco.	HE2: Influye de manera directa la relacion agua/cemento en la optimización de CONCRETOS ESTRUCTURALES $f'c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$, SOBRE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS con ADICION DE MICROSÍLICE en la Ciudad del Cusco, 2017. H0: No influye de manera directa. H1: Si influye de manera directa.	X: DISEÑO DE MEZCLAS CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE	X51: RELACIÓN AGUA/CEMENTO	X511: %
			Y: CONCRETOS ESTRUCTURALES $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$		Y1: $f'c$
PE3: ¿Cómo influye un 10 % de adición de microsilice en reemplazo de cemento en la optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$, sobre sus propiedades mecánicas en la ciudad del Cusco?	OE3: Determinar la influencia de un 10 % de adición de microsilice en reemplazo de cemento en la optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$, sobre sus propiedades mecánicas en la ciudad del Cusco.	HE3: Influye de manera directa un 10 % de adición de microsilice en reemplazo de cemento en la optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$, sobre sus propiedades mecánicas en la ciudad del Cusco. H0: No influye de manera directa. H1: Si influye de manera directa.	X: DISEÑO DE MEZCLAS CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE	X4: MICROSÍLICE X41: 10%	X411: % X412: Kg
			Y: CONCRETOS ESTRUCTURALES $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$		Y1: $f'c$
PE4: ¿Cómo influye un 15 % de adición de microsilice en reemplazo de cemento en la optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$, sobre sus propiedades mecánicas en la ciudad del Cusco?	OE4: Determinar la influencia de un 15 % de adición de microsilice en reemplazo de cemento en la optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$, sobre sus propiedades mecánicas en la ciudad del Cusco.	HE4: Influye de manera directa un 15 % de adición de microsilice en reemplazo de cemento en la optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$, sobre sus propiedades mecánicas en la ciudad del Cusco. H0: No influye de manera directa. H1: Si influye de manera directa.	X: DISEÑO DE MEZCLAS CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE	X4: MICROSÍLICE X42: 15%	X411: % X412: Kg
			Y: CONCRETOS ESTRUCTURALES $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$		Y1: $f'c$



3.5 Alcances de la investigación.

La limitación general es la resistencia del concreto el cual serán los más comerciales de $f'c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$.

El tipo de concreto a realizar en la investigación es el de resistencia de diseño $f'c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$. El concreto viene a ser una mezcla de agregados pétreos, cemento, agua y no necesariamente aditivos, y se diseña como un material de resistencia a la compresión a 28 días y de peso volumétrico normal. Para nuestra investigación consideraremos constantes la resistencia de los agregados pétreos, las propiedades químicas del agua y su temperatura, siendo nuestra única variación la cantidad de microsíllice.

1. La metodología de ensayo para determinar la evolución de la resistencia del concreto por medio de roturas de briquetas en los tiempos de endurecimiento que establece la norma a los 28 días.

2. La obtención del agregado grueso a utilizar en la elaboración del concreto será procedente de la cantera de Zurite, y esta deberá ser triturado con chancadora y de esta manera establecer su granulometría en cumplimiento a la norma ASTM C-33.

3. La obtención del agregado fino a utilizar en la elaboración del concreto será procedente de la cantera de Cunyac, de esta manera establecer su granulometría en cumplimiento a la norma ASTM C-33.

4. Como aglomerante se usará el cemento SOL tipo I, esto por ser un cemento libre de puzolana y que pueda trabajar a nivel químico con la microsíllice.

5. Dentro de las propiedades mecánicas a evaluar comprenderá; los ensayos de compresión, ensayo para obtener el módulo de rigidez dinámico.

3.6 Importancia de la investigación.

Optimización: Se espera reducir la cantidad de cemento en el diseño de mezclas de los concretos estructurales antes mencionados, y adicionar microsíllice para llegar a la resistencia.



Importancia teórica: La investigación aporta conocimiento al sector de la construcción, básicamente al diseño de concretos de mayor calidad.

3.7 Metodología de la investigación.

3.7.1 Tipo y diseño de investigación.

- **DISEÑO:** experimental longitudinal, porque se analizará las variables intervinientes en laboratorio; El cemento, la microsíllice, el agua y los agregados pétreos. Y longitudinal porque la investigación se realizará mes a mes y no en un tiempo determinado.
- **MÉTODO:** estadístico, porque se tendrá varias muestras sometidas a ensayos y análisis estadísticos y se cuantificará sus porcentajes.
- **NIVEL DE ESTUDIO:** Correlacional, porque se pretende determinar la relación entre el agua, agregados pétreos, el cemento y la microsíllice.
- **TIPO:** cuantitativo, porque se quiere llegar a conocer valores numéricos como la resistencia a la compresión de los testigos.

3.7.2 Unidad de análisis.

- Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

3.7.3 Población de estudio.

- Agregados pétreos de la región Cusco (Huambutio, Pisac)
- Microsíllice, obtenida del desperdicio de hornos de industrias metalúrgicas y comercializadas por la empresa BASF Perú, con planta principal en la ciudad de Lima.
- Cemento WARI tipo I, obtenida de la región de Apurímac ya que en nuestra ciudad no es comercializada.



3.7.4 Elección de la muestra.

- Muestreo simplificado al azar, para los agregados pétreos se zonificará el muestreo en la región del Cusco y para la microsíllice se zonificará el muestreo en los laboratorios más cercanos en actividad y con mayor potencia producida.
- La microsíllice del laboratorio BASF Perú, de la ciudad de Lima y cemento WARI tipo I de la ciudad de Abancay.

3.7.5 Tamaño de la muestra.

Estará constituido por el número máximo de 30 probetas por cada diseño de mezcla (según el R.N.E) de concretos.

- Será una muestra de 3000 kg de arena de Cunyac y 4000 kg de piedra chancada de la cantera de Zurite de la provincia de Anta de la región Cusco. Canteras que se caracteriza por tener agregados de calidad y cercanas al laboratorio donde se estudiará.
- Será una muestra de 2 sacos de microsíllice de 20 kg/saco, que es la presentación mínima de la empresa BASF Perú.
- El tamaño de muestra en kg se realizara considerando todos los ensayos de laboratorio a la que la mezclas serán sometidas, y se tratara de que no exista defecto de muestra, por ello se considera 3000kg de arena, 4000kg de piedra chancada, 10 bls cemento y 40 kg de Microsíllice.
- En el siguiente cuadro se muestra un ejemplo de cómo se variara los componentes de las mezclas en porcentaje a ser sometidas a ensayos.



CAPITULO 4. PLANTEAMIENTO DEL MODELO EXPERIMENTAL

4.1 Introducción.

Con el objetivo de fabricar concretos $f'c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$ optimizados con microsíllice en reemplazo de cemento, se realizaron ensayos para determinar las propiedades física y mecánicas a los diferentes agregados utilizados en la mezcla, así mismo se determinaron valores importantes como el peso específico y módulo de fineza de la microsíllice, cemento y aditivo super plastificante los cuales se obtuvieron de sus fichas técnicas. En lo referente a las propiedades físico-mecánicas del concreto se realizaron ensayos para determinar el flujo de asentamiento y resistencia a la compresión simple.

4.2 Equipos utilizados.

4.2.1 Equipos de Fabricación.

4.2.1.1 Balanzas.

Se utilizó balanzas del laboratorio de la escuela profesional de ingeniería civil, de la UNSAAC; estos equipos cumplen con lo especificado en el Manual de Ensayo de Materiales del MTC, con exactitud de 0.1% del peso de la muestra, y son:

- Balanza electrónica de capacidad 10 kg, con precisión de ± 0.001 kg; equipo para realizar los pesos de aditivos y microsíllice, para los diferentes tipos de diseño de mezclas, así como para determinar la propiedad de peso unitario.
- Balanza electrónica de capacidad 50 kg, con precisión de ± 0.005 kg; equipo para realizar los pesos de agregados, agua y cemento.



Figura 7. (a).- Balanza con capacidad de 10kg y precisión 0.001 kg, (b).- Balanza con capacidad de 50kg y precisión 0.005 kg. Ambas balanzas, propiedad del laboratorio de la EPIC-UNSAAC.

4.2.1.2 Tamices.

Se utilizó tamices del laboratorio de la UNSAAC, para la ejecución de ensayos a los agregados, cumplen con los requisitos de la NTP 350.001.

4.2.1.3 Mezcladora de 11 pie³.

Se utilizó una mezcladora de 11 pie³ de capacidad, 14 HP de potencia y 30rpm de tambor. No se incluye ningún tipo de herramienta para mejorar la energía mecánica del amasado, con la intención de simular un vaciado a pie de obra.

Los vaciados de los especímenes se realizaron en el laboratorio de la escuela profesional de Ingeniería civil de la UNSAAC.



Figura 8. Mezcladora motor honda de 11 p³.

4.2.2 Equipo para ensayos de concreto en estado fresco.

4.2.2.1 Equipo para ensayo de revenimiento o SLUMP.

Se utilizó el equipo de cono de Abrams del laboratorio de la UNSAAC, este equipo cumple con la NTP 339.035 para determinar la consistencia del concreto en estado fresco.



Figura 9. Equipo cono de Abrams, ensayo de revenimiento de concreto.

4.2.3 Equipos para ensayos de concreto en estado endurecido.

4.2.3.1 Poza de curado.

Con el propósito de simular un vaciado, en obra convencional, se utilizó como equipo para curado de concreto, una poza cilíndrica de metal, con capacidad para 30 especímenes y agua potable que cumple con la norma NTP 339.088 sobre requisitos de calidad de agua.



Figura 10. Poza de curado, de material metálico.

4.2.3.2 Máquina de compresión Axial.

Marca Pinzuar, de fabricación norteamericana, para ensayo de especímenes a compresión axial, operación electro-hidráulica, con capacidad de 1000 KN y un bastidor de alta estabilidad.

Es importante mencionar, que los ensayos a compresión axial, se realizaron en el laboratorio privado ZAENZA S.A.C. se adjunta los resultados de los ensayos realizados en los anexos. Además se utilizó la máquina de compresión axial, del laboratorio de la escuela profesional de ingeniería civil; para realizar ensayos de especímenes de prueba.



Figura 11. (a).- Máquina de compresión axial, del laboratorio privado Zaenza, (b).- Máquina de compresión axial, laboratorio Unsaac.

4.3 Materiales componentes para el diseño de mezcla.

4.3.1 Cemento.

El cemento elegido es el cemento portland tipo I producido por **CEMENTOS WARI**. El cual es un cemento de uso general utilizado en obras que no requieren propiedades especiales, así mismo es importante mencionar que este tipo de cemento proporciona mayores resistencias iniciales y menores tiempos de fraguado.



En las tablas siguientes se muestra los requisitos químicos y físicos del cemento portland tipo I WARI de acuerdo a las normas NTP 344.009 y ASTM C-150.

Tabla 5

Requisitos químicos del cemento portland tipo I.

Requerimiento Químico	Wari tipo I	Normas Técnicas ASTM C150/NTP 334.009
Óxido de magnesio, Mg O (%)	0.74	6.00 máx.
Trióxido de azufre, S O ₃ (%)	2.11	3.00 máx.
Pérdida al fuego, P.F. (%)	2.85	3.00 máx.
Residuo insoluble, R.I (%)	0.21	0.75 máx.

Fuente: Adaptado. Ficha técnica, cementos Wari S.A.

Tabla 6

Requisitos Físicos del cemento portland tipo I.

Requerimiento Físico	Wari tipo I	Normas Técnicas ASTM C150/NTP 334.009
Finura, superficie específica, Blaine (cm ² /gr)	3480	2600 mín.
Expansión en autoclave (%)	0.05	0.80 máx.
Tiempo de fraguado inicial, Vicat (min)	157	45 mín.
Contenido de aire del mortero (%)	7.00	12.00 máx.
Resistencia a la compresión, (Mpa)		
- 3días	25.30	12.00 mín.
- 7días	33.70	19.00 mín.
- 28 días	43.30	28.00 mín.

Fuente: Adaptado. Ficha técnica, cementos Wari S.A.

4.3.2 Agregados.

4.3.2.1 Agregado grueso.

Para esta investigación se realizó un estudio preliminar de las características físico mecánicas de los diferentes agregados disponibles en nuestra región, para este fin basamos estos estudios en las diferentes tesis relacionadas a la tecnología del concreto realizadas en la Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

El agregado elegido fue la piedra de ½" producida en las canteras de Huambutio la cual se encuentra ubicada al noroeste del distrito de Caicay, provincia de Paucartambo departamento de Cusco.

Este agregado fue elegido por presentar un módulo de fineza alto comparado con los módulos de fineza recomendados por las tablas de diseño, esta característica es muy importante pues mientras más alto es el módulo de fineza del agregado las cantidades de material cementante requeridas serán menores.



Figura 12. Cuarteo de agregado grueso de Huambutio, cantera Unancha.

4.3.2.2 Agregado fino.

a. Arena gruesa.

Al igual que el agregado grueso para la elección de este agregado se hizo un estudio preliminar de los agregados finos disponibles en la región, para este fin basamos estos estudios en las diferentes tesis relacionadas a la tecnología del concreto realizadas en la Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

El agregado fino elegido al igual que el agregado grueso fue el producido en la cantera de Huambutio, el cual presentara un tamaño máximo nominal de $3/8''$, así mismo el módulo de fineza que presenta este agregado es alto comparado con los agregados estándar utilizados en las tablas de diseño ACI 211.1. Esto resulta muy beneficioso pues la superficie específica de estos agregados será menor y por consiguiente serán necesarias pocas cantidades de material cementante para poder cubrir dicha superficie específica.

Por ultimo para llegar al tamaño deseado de 3/8" se lavó este agregado pues el porcentaje de material fino que pasa el tamiz N° 200 excedía los porcentajes limites estipulados por la norma ASTM, así mismo una vez seco el material se procedió a tamizar.



Figura 13. (a).- Cuarteo de la arena gruesa de Huambutio, (b).- Selección y peso de la arena gruesa.

b. Arena fina.

Para la elección de este agregado se tomaron en cuenta los criterios de módulo de fineza, trabajabilidad y de capilaridad de la pasta de cemento, al contrario de la elección que se tomó para elegir al agregado grueso y la arena gruesa en esta ocasión se eligió un agregado con un módulo de fineza bastante bajo, la cual le conferirá a las mezclas una mayor trabajabilidad y permite que la pasta de cemento pueda ascender hacia la superficie sin ninguna dificultad lo cual asegura un recubrimiento de cada partícula de agregado así como facilita el acabado superficial de las mezclas.

Es importante mencionar que esta área fina se limitó a un porcentaje determinado que oscila entre el 10 % al 20% en función del peso total del agregado fino (arena gruesa + arena fina) para cada tipo de diseño, puesto q cantidades excesivas de arena fina producen una alta superficie especifica en la mezcla lo cual produce una demanda considerable de material cementante lo cual resulta contraproducente para los objetivos de la presente tesis.



Figura 14. Arena gruesa de Huambutio y arena fina de Pisac.

4.3.2.3 Agua.

El agua utilizada en los distintos diseños de mezcla fue captada de fuentes de abastecimiento de agua potable para consumo humano dentro de las instalaciones de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

4.3.2.4 Microsílice.

Para la elección de este componente, el principal criterio que se tomó en cuenta, fue el costo por bolsa, encontrándose en el mercado una amplia variación de precios.

La microsíllice utilizada en esta investigación, fue MasterLife SF100, la cual es una adición mineral en polvo de color gris claro, la cual mejora las características del concreto endurecido en dos formas:

Las resistencias a compresión se pueden lograr cuando la mezcla esta optimizada en relación agua/cemento, agregados y otros actores que afectan la resistencia. De tal manera que incrementa la cantidad de gel de silicatos de calcio, mejorando así la resistencia y reduciendo la permeabilidad del concreto. Como resultado, se obtiene un concreto extremadamente durable. Diseñado para cumplir con los requerimientos de la norma ASTM C-1240. Por último, el peso específico de esta adición mineral es de 2.2.



Figura 15. Cemento Wari tipo I, Microsílice MasterLife SF100 y Aditivo súper plastificante.

4.3.2.5 Aditivo súper plastificante.

El aditivo súper plastificante que se utilizó fue MasterEase 3900, de la empresa BASF Construction Chemicals. El cual es un aditivo basado en la tecnología de polímeros diseñada para la producción de concretos de baja viscosidad incluso con reducidos contenidos de agua debido a su innovadora formulación que permite una adsorción retardada de las partículas de cemento obteniendo una hidratación mucho más eficiente.

Diseñado para mejorar la reología y con ello su trabajabilidad, bombeabilidad y la puesta en obra del concreto fabricado. Permite la fabricación de concretos de elevada fluidez y de alta resistencia, con un buen mantenimiento de consistencia.

Por último el aspecto que presenta es el de un líquido marrón con un peso específico de 1.10.

4.3.3 Procedimientos de los ensayos a los agregados.

4.3.3.1 Ensayos de los agregados gruesos.

Se define como agregado grueso, al material retenido en el tamiz N°4. Los requerimientos mínimos de los agregados gruesos, se encuentran establecidos en la norma NTP 400.037.

El agregado grueso consistirá en grava, piedra chancada, concreto reciclado o la combinación de ellos, conforme a los requisitos de la norma antes mencionada. Los expertos,

recomiendan que el agregado grueso, derive de rocas ígneas trituradas; esto último por obtener mayor adherencia mecánica de las partículas de perfil angular, y producir mayores resistencias. Sin embargo, la angulosidad acentuada deberá ser evitada, por requerir altos contenidos de agua y presentar reducciones en la trabajabilidad.

✓ **Muestreo para agregado grueso.**

Es un ensayo necesario para obtener las muestras de agregados grueso, para este ensayo, fue necesario realizar una investigación de las fuentes de suministros; del cual se eligió al sector de Huambutio, específicamente a la cantera de Unancha.

Es necesario precisar, tal y como indica el manual del MTC E 201-2016; que la selección de la muestra se realizó por métodos al azar, la cantidad se estimó de acuerdo al tipo de ensayos a realizar en la presente investigación.

El procedimiento es como sigue: las muestras para los ensayos de clasificación, se extrajeron de las canteras de agregados gruesos indicadas en el Capítulo IV, sobre metodología, reconociendo el tipo de material que se necesitaba, se hizo la limpieza de 10 cm aproximadamente de la parte superior, se extrajo las muestras de un apilamiento de 45 m³ aproximadamente, los materiales fueron envueltos con plástico y transportados en sacos de arroz, para evitar su pérdida y/o la contaminación de alguna parte de las muestras, las muestras obtenidas fueron de productos terminados, listos para la venta; el transporte fue hecho en una camioneta cerrada y llevados directamente al laboratorio de la EPIC, de la UNSAAC.

Referencias Normativas.

NTP 400.010, ASTM D-75 y MTC E-201-2016.

✓ **Peso Unitario y vacíos de los agregados gruesos.**

Primero se obtuvo la muestra de acuerdo al MTC E-201 y se redujo la muestra por cuarteo, el agregado se llenó en el recipiente, en tres capas de igual volumen aproximadamente, hasta llenarlo. Cada una de las capas se apisonó con 25 golpes de una varilla, distribuidos uniformemente en cada capa, se debe evitar golpear la base del recipiente al momento del varillado de la primera capa, de igual manera en las capas superiores se debe ejercer una fuerza, tal que, solo llegue hasta el fondo de la capa respectiva.



Finalmente se enrazó el recipiente con la varilla, usándola como una regla y se tomó datos del peso del recipiente más el agregado. Estos datos se procesan según la normatividad vigente del MTC E 201. Y se utilizan para convertir cantidades en peso a cantidades en volumen.

Definiciones.

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 se expresa en Kg/m³.

Compacidad (\emptyset): Se define como compacidad del agregado, al volumen de sólidos en un volumen unitario.

$$\emptyset = \frac{\text{Peso Unitario}}{\text{Peso Específico } \gamma}$$

Porosidad (π): Se define porosidad o contenidos de vacíos, al espacio no ocupado por las partículas de agregado en un volumen unitario, la porosidad la podemos calcular con la siguiente expresión:

$$\pi = 1 - \emptyset$$

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

Referencias normativas

NTP 400.017, ASTM C29-C29M y MTC E-203-2016.

✓ Análisis granulométrico del agregado grueso.

Se denomina granulometría a la distribución por tamaños de partículas que constituyen un agregado y se expresa como el porcentaje en peso de cada tamaño con respecto al peso total.

El procedimiento es como sigue y según la normatividad vigente; primero se secó la muestra a temperatura $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, hasta alcanzar peso constante, se seleccionó una serie de tamices, según lo especificado para el agregado a ensayar; acomodar de manera decreciente según la abertura del tamiz, colocar el material en el tamiz superior y efectuar el tamizado de manera manual o con un tamizador mecánico.

Se obtuvo el peso del material retenido en cada tamiz, con una balanza que cumplió con lo especificado en el reglamento, se sumó los pesos y se comparó con el peso original de toda la muestra; Si estos pesos difieren en más de un 0.3%, entonces estos resultados no deben ser usados con fines de aceptación.

Referencias normativas.

NTP 400.012, ASTM C-136, y MTC E-204-2016.

✓ Peso específico y absorción de agregados gruesos.

El peso específico de un agregado es la relación de su peso, al peso de un volumen igual de agua, usaremos este dato para el cálculo y diseño de mezclas.

La absorción es el valor de la humedad del agregado cuando está en la condición de saturado superficialmente seco. Se utilizara en los cálculos de dosificación para elaborar los diferentes concretos.

Procedimiento, La muestra se lavó inicialmente con agua hasta eliminar completamente el polvo u otras sustancias extrañas adheridas a la superficie de las partículas; se secó a continuación a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ y se enfrió al aire por 1 a 3 hrs. Una vez fría se pesó en una balanza, y se saturó la muestra por 24 ± 4 hrs.

Después del período de inmersión, se sacó la muestra del agua y se secó las partículas sobre una tela absorbente de gran tamaño, hasta que se eliminó el agua superficial visible, secando individualmente los fragmentos mayores. A continuación, se determinó el peso de la muestra en el estado de saturada con superficie seca.

Se sumergió en agua hasta saturar la muestra, se secó entonces la muestra, en horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, se enfrió al aire y se determinó su peso hasta que sea constante.

Referencias normativas

NTP 400.021, ASTM C-127 y MTC E-206-2016.

✓ Contenido de Humedad del Agregado Grueso.

El contenido de humedad de una muestra, es la relación dada en porcentaje, del peso de agua en una masa dada de agregado, al peso de las partículas sólidas.



Procedimientos. Se determinó el peso de agua eliminada de una muestra, secando la muestra húmeda hasta un peso constante, en un horno controlado a $110 \pm 5^\circ\text{C}$. El peso de la muestra que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerado como el peso del agua.

Se registró la masa de un contenedor limpio y seco. Luego se colocó la muestra de ensayo húmeda, en el recipiente, y se determinó su peso del recipiente vacío así como de la muestra húmeda.

Luego se secó el material en el horno a temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$., hasta alcanzar masa constante y finalmente se retiró del horno, y se determinó el peso del recipiente y del material seco, en la misma balanza, usada anteriormente.

$$W = \frac{\text{peso del agua}}{\text{peso de la muestra secada al horno}} * 100$$

Es importante mencionar, que este ensayo se debe realizar cada vez que se realice un vaciado, debido a la humedad del medio ambiente que puede variar.

- Los ensayos fueron realizados en el laboratorio de la escuela profesional de Ingeniería Civil de la Unsaac.

Referencias normativas.

ASTM D 2216 y MTC E 108-2016.

4.3.3.2 Propiedades de los agregados finos.

Los agregados finos estudiados están considerados como agregados de peso normal y cumplirán con los requisitos de las Normas NTP 400.037 o ASTM C 33

Estas recomendaciones definen los requerimientos de calidad de los agregados fino a ser utilizados en el concreto.

Estas recomendaciones han sido elaboradas para garantizar materiales satisfactorios para la mayoría de los concretos diseñados.

Estas especificaciones definen la calidad de los agregados a utilizarse en el concreto.

Se debe emplear en obra agregados de la misma o mejor calidad que los presentados en la tesis de investigación para obtener resultados similares o mejores.



Según lo indicado por el ASTM C-33, "las especificaciones estándar de agregados para concreto" indicarán las características físicas, mecánicas y químicas que emplearemos para clasificar las canteras prospectadas.

Para las cuales se realizaron los siguientes ensayos:

✓ **Muestreo para agregado fino.**

Procedimiento idéntico al muestreo para agregado grueso.

✓ **Cantidad de material que pasa el tamiz N°200 por lavado.**

Durante este ensayo se separó de la superficie del agregado, por lavado, las partículas que pasan el tamiz N° 200, tales como arcillas, agregados muy finos y materiales solubles en el agua.

Procedimientos. Se secó y pesó el material, posteriormente se colocó en el recipiente y añadió agua, hasta cubrir la muestra. Se agitó vigorosamente el contenido del recipiente y de inmediato viértase sobre el juego de tamices armado. Procurar usar una cuchara grande para remover la muestra. Lograr separar el total de las partículas finas y provocar la suspensión del material fino, de manera que pueda ser removido por decantación del agua de lavado. Se debe realizar con un mayor cuidado para evitar el arrastre de las partículas gruesas. Repetir esta operación hasta que el agua de lavado salga completamente limpia.

Finalmente devolver todo el material retenido en el juego de tamices a la muestra lavada, secar el agregado a una temperatura que no exceda $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ y pesar con una aproximación de 0.1 % del peso de la muestra.

El porcentaje de material que pasa el tamiz N°200, se calcula de la siguiente manera:

$$A = \frac{B - C}{B} * 100$$

Donde:

A = porcentaje de material fino que pasa el tamiz N°200.

B = peso original de la muestra seca en gr.

C = peso de la muestra seca, después de lavada en gr.

Referencias normativas.

NTP 400.018, ASTM C 117 y MTC E 202-2016.

✓ **Gravedad específica y absorción de agregados finos.**

Para entender mejor el ensayo, es necesario hacer las siguientes definiciones.

- Volúmenes aparentes y nominales. En un sólido permeable, si se incluye en su volumen la parte de vacíos accesible al agua en las condiciones que se establezcan, se define el volumen denominado "aparente", si se excluye este volumen de vacíos, al resultante se denomina "nominal".
- Peso específico aparente y nominal. En estos materiales, se define el peso específico aparente como la relación entre el peso al aire del sólido y el peso de agua correspondiente a su volumen aparente y peso específico nominal a la relación entre el peso al aire del sólido y el peso al agua correspondiente a su volumen nominal.

Procedimientos. Se seca la muestra al horno a 100 – 110°C, se enfría luego al aire a la temperatura ambiente. A continuación se cubre la muestra completamente con agua y se deja sumergida durante 24 ± 4 horas.

Después del periodo de inmersión, se decanta cuidadosamente el agua para evitar la pérdida de finos y se extiende la muestra sobre una bandeja, comenzando la operación de desecar la superficie de las partículas, la desecación debe ser de manera constante y uniforme.

Cuando se empieza a observar visualmente que se está aproximando a esta condición, se sujeta firmemente el molde cónico con su diámetro mayor apoyado sobre una superficie plana no absorbente, se agrega una cantidad de muestra suficiente, que se apisona ligeramente con 25 golpes de la varilla, levantando a continuación, con cuidado, verticalmente el molde. Si la superficie de las partículas conserva aún exceso de humedad, el cono de agregado mantendrá su forma original, por lo que se continuará agitando y secando la muestra, realizando frecuentemente la prueba del cono hasta que se produzca un primer desmoronamiento superficial, indicativo de que finalmente ha alcanzado el agregado la condición de superficie seca.

Inmediatamente, se introducen en el picnómetro previamente tarado, 500 g del agregado fino, preparado como se ha descrito anteriormente, y se le añade agua hasta aproximadamente un 90 % de su capacidad; para eliminar el aire atrapado se rueda el



picnómetro sobre una superficie plana, e incluso agitando o invirtiéndolo si es preciso, para posteriormente enrasar con agua, se seca rápidamente su superficie y se determina su peso total (picnómetro, muestra y agua) con una aproximación de 0.1 gr.

Se saca el agregado fino del matraz y se deseca en el horno a 100 – 110 °C, hasta peso constante, se enfría al aire a temperatura ambiente por 1 hora y se determina finalmente el peso seco.

e. Cálculos.

A = peso al aire de la muestra desecada, en gr.

B = peso del picnómetro aforado lleno de agua, en gr.

C = peso total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua, en gr.

S = peso de la muestra saturada, con la superficie seca, en gr.

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{B + S - C}$$

$$\text{Peso específico aparente (s. s. s.)} = \frac{S}{B + S - C}$$

$$\text{Peso específico nominal} = \frac{A}{B + A - C}$$

$$\text{Absorción} = \frac{S - A}{A} * 100$$

Referencias normativas.

NTP 400.022, ASTM C 128 y MTC E 205-2016.

✓ **Peso Unitario y vacíos de los agregados finos.**

Procedimiento idéntico, descrito en el ítem sobre peso unitario y vacío en el agregado grueso.

✓ **Análisis granulométrico de agregados finos.**

Procedimiento idéntico, descrito en el ítem, sobre el análisis granulométrico de agregado grueso.

✓ **Contenido de Humedad del Agregado Fino.**

Procedimiento idéntico, descrito en el ítem, sobre el contenido de humedad del agregado grueso.



4.4 Diseño de mezclas de concretos optimizados con microsilíce.

Para poder llegar a las proporciones finales de las mezclas optimizadas con microsilíce se partió de un diseño de mezcla convencional obtenida utilizando la normativa ACI 211.1, a partir de la cual se obtuvieron los diseños patrones $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}2$ y $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}2$, los cuales nos proporcionaron las cantidades de cemento, agregado grueso, agregado fino y agua, a las cuales se les adiciono microsilíce y aditivo super plastificante restando cantidades de cemento y agregado para poder conservar el valor de $1\text{m}3$.

A continuación se detalla la metodología ACI 211.1 y la modificación de los diseños para llegar a las proporciones finales de las mezclas optimizadas con microsilíce.

4.4.1 Elaboración de los diseños de mezcla patrón (ACI 211.1).

Para obtener los diseños de mezcla patrón (diseños convencionales) se siguieron los siguientes pasos detallados en las tablas del ACI 211.1 la cual ha desarrollado un método bastante simple que permite calcular valores de los diferentes materiales que integran la mezcla y siempre referenciados a la unidad cubica de concreto.

Paso 1. Selección de la resistencia promedio.

La resistencia promedio de diseño será calculada utilizando la siguiente tabla. Las unidades son $\text{kg}/\text{cm}2$.

Tabla 7

Selección de la resistencia requerida.

$f'c$	$f'cr$
Menos de 210	$f'c + 70$
210 a 350	$f'c + 84$
Sobre 350	$f'c + 98$

Fuente: Adaptado. Confeccionado por el comité 211 del ACI.

- ✓ Diseño patrón $F'c=210\text{ kg}/\text{cm}2$ (**D1-P**): $f'cr = 294\text{ kg}/\text{cm}2$
- ✓ Diseño patrón $F'c=280\text{ kg}/\text{cm}2$ (**D2-P**): $f'cr = 374\text{ kg}/\text{cm}2$

Paso 2. Selección del asentamiento.



Para esta investigación se consideraron los siguientes asentamientos los cuales son recomendados para elementos estructurales no prefabricados tales como columnas, vigas, losas y muros. El asentamiento de diseño, se determina según el tipo de estructura a construir, y el presente método brinda algunas recomendaciones en la tabla 9.

Tabla 8

Revenimientos recomendados por tipo de construcción.

Tipo de construcción	Revenimiento (cm)	
	Máximo*	Mínimo
Muros de sub estructuras sencillos, zapatas, muros y cajones de cimentación.	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados.	10	2.5
Columnas para edificios.	10	2.5
Pavimentos y losas.	7.5	2.5
Concreto masivo	7.5	2.5

Fuente: Adaptado. Confeccionado por el comité 211 del ACI.

(*) Es necesario aclarar, que el revenimiento máximo, puede incrementarse en 2.5cm, cuando los métodos de compactación no sean mediante vibrado.

- ✓ Diseño patrón F'C=210 kg/cm² (**D1-P**): Slump 3" – 4".
- ✓ Diseño patrón F'C=280 kg/cm² (**D2-P**): Slump 3" – 4".

Paso 3. Selección del tamaño máximo nominal.

El tamaño máximo nominal elegido del agregado grueso fue TMN=1/2", se eligió este agregado ya que es el tamaño recomendado de agregado grueso para concreto de alta resistencia, además de ello permite mezclas bombeables.

Paso 4. Determinación de la cantidad de agua de mezclado.

Para determinar este valor se consideró la tabla del ACI 211.1 la cual utiliza como datos de entrada el Slump elegido y el TMN del agregado grueso. Ver tabla 10.

Tabla 9

Volumen de agua, según la consistencia y tamaños máximos de agregados gruesos.

Volumen unitario de agua



Agua en lt/m³, para los tamaños máx. Nominales de agregado grueso y consistencia indicada.

Asentamiento	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	----
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	----

Fuente: Adaptado. Confeccionado por el comité 211 del ACI.

- ✓ Diseño patrón F'C=210 kg/cm² (**D1-P**): según la tabla se ha obtenido 216 lt/m³.
- ✓ Diseño patrón F'C=280 kg/cm² (**D2-P**): según la tabla se ha obtenido 216 lt/m³.

Paso 5. Determinación del contenido de aire atrapado.

En este caso se utilizó la tabla del ACI 211.1, la cual considera el TMN del agregado grueso, además debemos tener en cuenta que no se incluirá aire a la mezcla.

Tabla 10

Contenido de aire atrapado, según el T.M.N. del agregado grueso.

Contenido de aire atrapado	
T.M.N. del agregado grueso	Aire atrapado
3/8"	3.0 %
1/2"	2.5 %
3/4"	2.0 %
1"	1.5 %
1 1/2"	1.0 %
2"	0.5 %
3"	0.3 %
4"	0.2 %

Fuente: Adaptado. Confeccionado por el comité 211 del ACI.

- ✓ Diseño patrón F'C=210 kg/cm² (**D1-P**): 2.5% de aire atrapado.
- ✓ Diseño patrón F'C=280 kg/cm² (**D2-P**): 2.5% de aire atrapado.

Paso 6. Selección de la relación agua-cemento.



La relación agua-cemento se obtuvo mediante la utilización de la tabla 12, confeccionado por el ACI 211.1, la cual necesita como dato la resistencia de diseño requerida.

Tabla 11
Relación agua/cemento por resistencia.

Relación agua/cemento por Resistencia		
f'c (Kg/cm2)	Relación agua/cemento en peso	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	
450	0.38	

Fuente: Adaptado. Confeccionado por el comité 211 del ACI.

- ✓ Diseño patrón F'C=210 kg/cm2 (**D1-P**): 0.56 como relación agua-cemento.
- ✓ Diseño patrón F'C=280 kg/cm2 (**D2-P**): 0.68 como relación agua-cemento.

Paso 7. Cantidad de cemento.

Para determinar este valor se utilizó la siguiente relación, que utiliza como dato de entrada la relación agua- cemento.

$$C = \frac{A}{a/c}$$

Donde:

C = cantidad de cemento por m3 de concreto.

A = cantidad de agua por m3 de concreto.

A/c = relación agua-cemento.

- ✓ Diseño patrón F'C=210 kg/cm2 (**D1-P**): 300 kg/m3 de mezcla.
- ✓ Diseño patrón F'C=280 kg/cm2 (**D2-P**): 400 kg/m3 de mezcla.



Paso 8. Determinación de la cantidad de agregado grueso.

Para determinar el volumen de agregado grueso se utilizó la tabla 13, confeccionado por el ACI211.1 la cual proporciona el volumen de agregado grueso en función del TMN y del módulo de fineza del agregado.

Tabla 12

Peso del agregado grueso por unidad de volumen.

Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de fineza del fino ($\frac{b}{b_0}$)				
T.M.N. del agregado grueso	2.4	2.6	2.8	3.0
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Adaptado. Confeccionado por el comité 211 del ACI.

- ✓ Diseño patrón F'C=210 kg/cm2 (**D1-P**): 0.44 m3 de agregado grueso.
- ✓ Diseño patrón F'C=280 kg/cm2 (**D2-P**): 0.6 m3 de agregado grueso.

Estos datos obtenidos deben de ser convertidos en peso mediante la siguiente formula:

$$AG = V * PU$$

Donde:

AG = Peso del agregado grueso kg/m3.

V = Volumen de agregado grueso.

PU = Peso unitario compactado del agregado grueso.

Valores en peso del agregado grueso:

- ✓ Diseño patrón F'C=210 kg/cm² (D1-P):
- ✓ Diseño patrón F'C=280 kg/cm² (D2-P):

Paso 9. Determinación del contenido de agregado fino.

Para determinar la cantidad de agregado fino requerido se utilizara el método de volúmenes desplazados, en el cual el volumen total desplazado por los componentes ya conocidos (cemento, agua, aire y agregado grueso) se resta del volumen unitario del concreto (1 m³), la diferencia es el volumen de agregado fino necesario, el cual debe ser convertido a peso en estado seco mediante la siguiente formula:

$$\text{Peso agregado fino (seco)} = V * PE * 1000$$

Donde:

V = Volumen de agregado grueso.

PE = Peso específico agregado fino.

Valores en peso del agregado fino:

- ✓ Diseño patrón F'C=210 kg/cm² (D1-P):
- ✓ Diseño patrón F'C=280 kg/cm² (D2-P):

Paso 10. Corrección por humedad del agregado.

Es la cantidad de agua que se adiciona o resta a la mezcla dependiendo de la cantidad de agua superficial retenida en un determinado momento por el agregado grueso y fino.

Los pasos a seguir son los siguientes:

- ✓ Determinando el peso húmedo del agregado.

$$A = \text{peso agregado} (1 + \text{contenido de Humedad \%}/100)$$

Donde:

A = Peso húmedo del agregado grueso o fino (kg).

- ✓ Determinando la humedad superficial del agregado.

$$B = (\text{contenido de humedad\%} - \text{absorcion\%})$$

Donde:

B = Humedad del agregado grueso o fino (%).

- ✓ Determinando el aporte de humedad del agregado.



$$X = \text{peso agregado humedo} * B$$

Donde:

X = aporte de agua al diseño (lt/m³).

✓ Agua efectiva para el diseño.

El agua efectiva, es el agua que se considera en el diseño final de la mezcla

$$\text{Agua efectiva} = \text{Agua calculada} \pm X$$

4.4.2 Elaboración de los diseños de mezcla optimizados con microsiílice.

Para desarrollar los diseños de mezcla optimizados con microsiílice se tomó como base los resultados proporcionados por el diseño convencional de mezclas explicado anteriormente, a partir del cual se introdujo la cantidad de microsiílice y aditivo como componentes adicionales para el diseño, además de ello se consideró un tercer agregado (arena fina de Pisac), el cual desempeña una función muy importante para darle trabajabilidad y el efecto de capilaridad a la mezcla.

A continuación se detalla los pasos para incluir microsiílice y aditivo super plastificante a la mezcla.

Paso 1. Asumiendo pasos base del diseño convencional.

Los pasos del 1 al 8 se conservan, pues en base a ellos incluiremos la microsiílice y el aditivo, así mismo se introducirá un tercer agregado (arena fina).

Paso 2. Reducir la cantidad de cemento.

La cantidad de cemento proporcionada por el diseño convencional debe ser reducida a valores que se crea proporcionen resultados óptimos, se debe de tener en cuenta la cantidad de pasta de cemento debe cubrir todas las partículas de agregados existente en la mezcla.

Paso 3. Adición de microsiílice.

La microsiílice se adicionara a los componentes de la mezcla antes de realizar el cálculo de la cantidad de agregado fino.



La cantidad de microsilíce utilizada estará en función de un porcentaje fijo establecido (X %) la cual se calculara en función del peso del cemento total utilizado en la mezcla, la forma más sencilla de calcularlo es mediante la siguiente relación:

$$\text{Microsilice (peso)} = \frac{\text{peso cemento} * X\%}{100\%}$$

Donde:

X% = Porcentaje de microsilíce a emplear.

Paso 4. Corrección de nuevos volúmenes en la mezcla.

Una vez reducida la cantidad de cemento y adicionada una cantidad X% de microsilíce los volúmenes absolutos del material cementante habrá disminuido ocasionando que se deba reajustar los volúmenes de los componentes existentes hasta el momento (cemento, microsilíce, agua, agregado grueso, aire), estos volúmenes serán hallados con la siguiente formula:

$$\text{Volumen (componente)} = \frac{\text{peso componente}}{PE * 1000}$$

Donde:

PE = Peso específico componente.

Una vez calculados los volúmenes estos deberán ser sumados para poder determinar el volumen total que ocupan los componentes existentes hasta el momento, los cuales siempre darán valores menores a 1m³.

Paso 5. Determinación de la cantidad de agregado fino.

La cantidad de agregado fino (arena gruesa y arena fina) será determinada exactamente igual al "paso 9", vale decir el volumen de agregado fino se hallara restando al volumen total de la mezcla (1m³) el volumen ocupado por los componentes (cemento, microsilíce, agua, agregado grueso, aire).

$$\text{Volumen agregado fino} = 1 - \text{Volumen componentes existentes}$$



Una vez calculado el volumen del agregado fino este deberá ser convertido a peso mediante la siguiente formula:

$$\text{Peso agregado fino (seco)} = V * PE * 1000$$

Donde:

V = Volumen de agregado grueso.

PE = Peso específico agregado.

Paso 6. Cantidad de aditivo super plastificante a utilizar.

La cantidad de aditivo se calculara en función del peso total del material cementante (cemento más microsíllice), el cual según especificación técnica del proveedor recomienda utilizar entre 650ml y 1500ml por cada 100 kg de material cementante, se recomienda utilizar la siguiente formula:

$$\text{Aditivo (ml)} = \frac{\text{peso material cementante(kg)} * X(\text{ml})}{100 \text{ kg de material cementante}}$$

Donde:

X = mililitros de aditivo a usar (usar entre $650 \leq X \leq 1500$).

El resultado de la formula anterior dará una cantidad de aditivo en ml, valor que convertiremos a peso mediante la siguiente formula:

$$\text{Aditivo en peso (kg)} = \text{aditivo (ml)} * PE * 1000$$

Donde:

PE = Peso específico del aditivo super plastificante.

Paso Adicional. Inclusión de un tercer agregado.

Si se desea trabajar con un tercer agregado como se realizó en esta investigación, se deberá considerar como dato de entrada el volumen general de agregado fino proporcionado por el "paso 4" el cual representa el 100%, a partir de este dato se deberá escoger porcentajes

apropiados de arena gruesa y arena fina que proporcionen las mejores propiedades a la mezcla, las cuales deberán sumar el 100% inicial.

$$V \text{ (agf)} = \text{VOLUMEN (agregado)} \begin{cases} \rightarrow A\% \text{ de arena} \\ \rightarrow B\% \text{ de arena fina} \end{cases}$$

Una vez calculados los volúmenes de arena gruesa y arena fina estos deberán ser convertidos a valores en peso de cada uno de estos agregados respectivamente como se muestra a continuación:

$$\text{Peso arena gruesa (kg)} = A * PE * 1000$$

$$\text{Peso arena fina (kg)} = B * PE * 1000$$

Donde:

A = Volumen estimado de arena gruesa.

B = Volumen estimado de arena fina.

PE = Peso específico agregado.

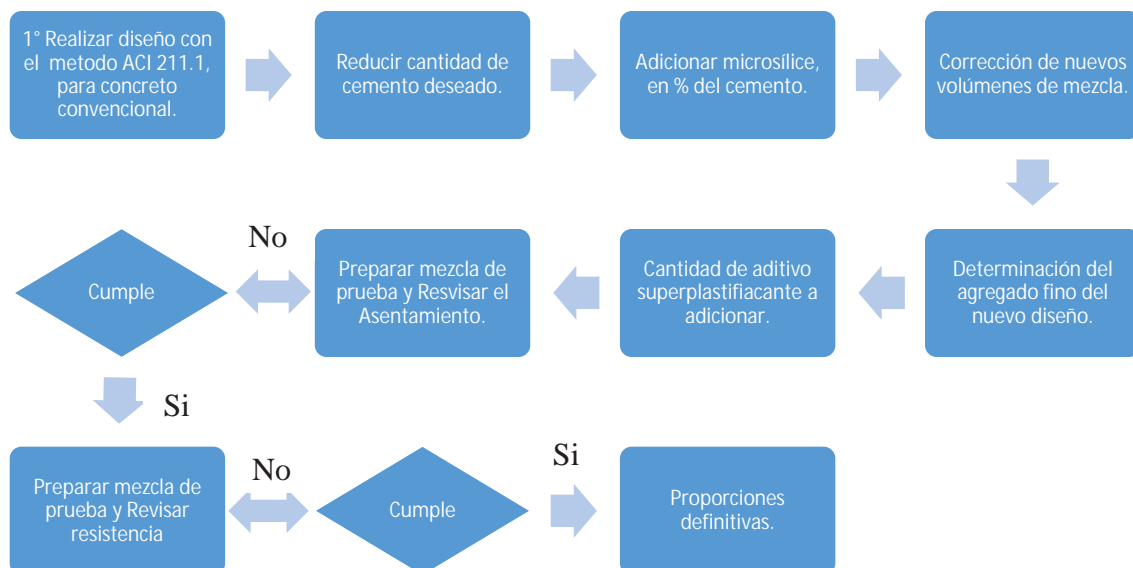


Figura 16. Proceso de obtención del diseño con microsíllice. Método empírico (Elaboración propia).

4.4.3 Diseños con adición de microsíllice obtenidos en la investigación.

A continuación se detallan las proporciones de los diferentes diseños optimizados con microsíllice elaborados en la investigación:

4.4.3.1 Diseño de mezcla D1-15%M (85%H+15%P).

Este diseño es para un concreto $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$, el cual presenta $204\text{ kg}/\text{m}^3$ de cemento ($4.8\text{ bolsas}/\text{m}^3$), 15% de microsíllice en adición de peso del cemento ($30.6\text{ kg}/\text{m}^3$) y una cantidad de super plastificante de 1030ml por cada 100kg de material cementante lo cual hace $2.72\text{ kg}/\text{m}^3$ de aditivo, además la proporción de agregados fino está compuesta por un 85% de arena gruesa y un 15% de arena fina, la cantidad de agua utilizada fue de 143lt lo cual nos da una relación agua-material cementante de $a/mc=0.60$.

4.4.3.2 Diseño de mezcla D1-10%M (85%H+15%P).

Este diseño es para un concreto $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$, el cual presenta $204\text{ kg}/\text{m}^3$ de cemento ($4.8\text{ bolsas}/\text{m}^3$), 10% de microsíllice en adición de peso del cemento ($20.4\text{ kg}/\text{m}^3$) y una cantidad de super plastificante de 810ml por cada 100kg de material cementante lo cual hace $2\text{ kg}/\text{m}^3$ de aditivo, además la proporción de agregados fino está compuesta por un 85% de arena gruesa y un 15% de arena fina, la cantidad de agua utilizada fue de 143lt lo cual nos da una relación agua-material cementante de $a/mc=0.64$.

4.4.3.3 Diseño de mezcla D1-7%M (85%H+15%P).

Este diseño es para un concreto $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$, el cual presenta $204\text{ kg}/\text{m}^3$ de cemento ($4.8\text{ bolsas}/\text{m}^3$), 7% de microsíllice en adición de peso del cemento ($14.28\text{ kg}/\text{m}^3$) y una cantidad de super plastificante de 833ml por cada 100kg de material cementante lo cual hace $2\text{ kg}/\text{m}^3$ de aditivo, además la proporción de agregados fino está compuesta por un 85% de arena gruesa y un 15% de arena fina, la cantidad de agua utilizada fue de 143lt lo cual nos da una relación agua-material cementante de $a/mc=0.66$.



4.4.3.4 Diseño de mezcla D2-15%M (83%H+17%P).

Este diseño es para un concreto $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$, el cual presenta $247\text{ kg}/\text{m}^3$ de cemento ($5.8\text{ bolsas}/\text{m}^3$), 15% de microsíllice en adición de peso del cemento ($37.05\text{ kg}/\text{m}^3$) y una cantidad de super plastificante de 870ml por cada 100kg de material cementante lo cual hace $2.72\text{ kg}/\text{m}^3$ de aditivo, además la proporción de agregados fino está compuesta por un 83% de arena gruesa y un 17% de arena fina, la cantidad de agua utilizada fue de 173lt lo cual nos da una relación agua-material cementante de $a/mc=0.61$.

4.4.3.5 Diseño de mezcla D2-10%M (83%H+17%P).

Este diseño es para un concreto $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$, el cual presenta $247\text{ kg}/\text{m}^3$ de cemento ($5.8\text{ bolsas}/\text{m}^3$), 10% de microsíllice en adición de peso del cemento ($24.7\text{ kg}/\text{m}^3$) y una cantidad de super plastificante de 910ml por cada 100kg de material cementante lo cual hace $2.72\text{ kg}/\text{m}^3$ de aditivo, además la proporción de agregados fino está compuesta por un 83% de arena gruesa y un 17% de arena fina, la cantidad de agua utilizada fue de 173lt lo cual nos da una relación agua-material cementante de $a/mc=0.64$.

4.4.3.6 Diseño de mezcla D2-7%M (83%H+17%P).

Este diseño es para un concreto $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$, el cual presenta $247\text{ kg}/\text{m}^3$ de cemento ($5.8\text{ bolsas}/\text{m}^3$), 10% de microsíllice en adición de peso del cemento ($17.29\text{ kg}/\text{m}^3$) y una cantidad de super plastificante de 910ml por cada 100kg de material cementante lo cual hace $2.72\text{ kg}/\text{m}^3$ de aditivo, además la proporción de agregados fino está compuesta por un 83% de arena gruesa y un 17% de arena fina, la cantidad de agua utilizada fue de 173lt lo cual nos da una relación agua-material cementante de $a/mc=0.65$.

4.5 Elaboración del concreto.

Para poder llegar a las proporciones finales de los diferentes diseños de mezcla en esta investigación, se realizaron ensayos de prueba de aproximadamente un volumen equivalente a seis briquetas, en las cuales se vio el comportamiento de los diferentes componentes del concreto en especial la interacción entre los agregados pétreos y la cantidad de material



cementante la cual debía cubrir toda la superficie específica de los distintos agregado utilizados en la mezcla, así mismo se hicieron pruebas con diferentes cantidades de agua y aditivo super plastificante con el fin de obtener una buena trabajabilidad y poder determinar la relación agua/material cementante, en cuanto al acabado superficial de la mezcla de determino la cantidad necesaria de arena fina que permita una ascensión del material cementante hacia la superficie la cual permita obtener mezclas con una distribución homogénea de la pasta en todo el cilindro de concreto además de ello que permita acabados buenos y rápidos sin mucho esfuerzo.

Para poder determinar unos de los valores más importantes en esta investigación (resistencia a la compresión) se ensayaron las muestras obtenidas de los distintos ensayos de prueba a los 3, 7 y 14 días respectivamente.

4.5.1 Procedimiento de fabricación.

Para realizar el vaciado de las 30 briquetas por cada diseño respectivamente se siguieron las siguientes fases:

- ✓ **Fase - 01:** Mojar superficialmente el tambor a utilizar, pues de no realizar este paso la superficie quitará agua de diseño a la mezcla.
- ✓ **Fase - 02:** Introducir los agregados pétreos (agregado grueso, arena gruesa y arena fina) en estado seco a la mezcladora y proceder al mezclado.
- ✓ **Fase - 03:** Adicionar el material cementante (cemento más microsíllice), esta puede estar previamente mezclada o en su defecto mezclarlas ya en el tambor de la mezcladora. la mezcladora.
- ✓ **Fase - 04:** Una vez mezclados los componentes en las fase 01, 02 y 03 se procede a incrementar el agua de diseño la cual será colocada en dos etapas, la primera en la cual solo se adiciona aproximadamente el 70% de agua solamente y una segunda etapa en la cual se adiciona el agua restante junto con el aditivo.
- ✓ **Fase - 05:** Tal como se explicó en la fase anterior se debe adicionar a la mezcla el agua restante (aproximadamente 30%) junto con el aditivo super plastificante el cual se deberá diluir junto con esta agua para poder recién ser adicionado a la mezcla.

4.5.2 Fabricación de testigos de concreto.

Para la fabricación de los cilindros de concreto se utilizaron moldes de plástico de 8 pulgadas de altura por 4 pulgadas de diámetro según lo especificado en las normas ASTM C-192 y MTC E 702 la cual rige este tipo de ensayos.

Antes de realizar el vaciado de los distintos tipos de mezcla se procedió a lubricar la superficie interior de las briquetas con aceite de cocina, esto con el fin de que la mezcla no se pegue a la superficie de las briquetetas o moldes, además de ello el efecto de lubricación que le confiere el aceite permite un fácil desmoldado de las muestras de concreto.

Una vez hecho lo descrito anteriormente se procedió a vaciar la mezcla de concreto a los moldes en dos capas respectivamente las cuales fueron varilladas con 25 golpes cada una como lo especifica la norma ASTM C-192.

Pasados unos minutos se realizó el acabado superficial de cada briketa utilizando una espátula o raspín, este paso es importante pues permitirá tener superficies horizontales adecuadas para realizar la rotura de las muestras en la máquina de compresión simple.

Es importante mencionar que el desencofrado fue realizado utilizando agua caliente aproximadamente a las 24 horas después de realizado el vaciado.



Figura 17. (a).- Fabricación de testigos de concreto en la EPIC, (b).- Desencofrado de testigos de concreto en el laboratorio de la EPIC.

4.5.3 Curado de las muestras de concreto.

Una vez que ya se tienen las muestras de concreto desmoldadas se procede a realizar el curado de las mismas en las pozas de curado de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, las

cuales se encuentran a temperatura ambiente, es importante indicar que no se tomaron cuidados especiales en el curado de las muestras con el fin de simular condiciones de trabajo real.



Figura 18. Curado de los testigos de concreto, en el laboratorio de la EPIC.

4.6 Concreto en estado fresco.

Se describirán los ensayos realizados al concreto en estado fresco con los diferentes porcentajes de microsíllice descritos anteriormente, es importante mencionar que se utilizaron métodos empíricos así como métodos normados tal como se describe en el cuadro siguiente:

Tabla 13

Ensayos realizados al concreto fresco.

Nombre de ensayo	Norma
Cantidad Adecuada de Pasta	Método Empírico
Ascensión Superficial de la Pasta	Método Empírico.
Asentamiento del Concreto (Slump)	ASTM C 143 – MTC E 705

Fuente: ASTM C143.

4.6.1 Cantidad adecuada de pasta.

Una de las dificultades de esta investigación es encontrar la cantidad adecuada de material cementante que recubra cada una de las partículas de agregado utilizados en la mezcla, esto debido a que la cantidad de cemento fue reducida a valores inferiores a 5 bolsas/m³ lo cual produce un incremento en las cantidades de agregados gruesos y finos con el fin de



compensar el déficit de volumen que se genera al quitar cemento, el efecto principal de ello es que al no tener la pasta suficiente se producen espacios vacíos de dimensiones considerables produciéndose concretos con poros lo cual es muy desfavorable para la resistencia a compresión.

Procedimiento: Este ensayo se realizó de forma empírica, en la cual se tomaron partes de la mezcla y se determinó a simple vista si la cantidad de material cementante recubre por completo a los distintos agregados componente de la mezcla, si se apreciaba que la pasta era insuficiente se aumentaba cantidades pequeñas de cemento hasta encontrar el recubrimiento de las partículas del árido, así mismo se realizaba el vaciado de una briqueta la cual era varillada con 25 golpes por capa para luego ser desmoldada instantáneamente, la muestra en estado fresco era partida por la mitad para poder ver la distribución y el recubrimiento de la pasta hacia el agregado fino y grueso, las nuevas cantidades de cemento adicionados eran medidos para posteriormente realizar una compensación del diseño de mezcla inicial.

Tabla 14
Herramientas utilizadas en el método empírico.

Equipo	Especificaciones	Tolerancias ASTM C143
Cono de Abrams		
Barra compactadora	Barra de acero liso con punta semiesférica	Ø 5/8" (16 mm) x 24" (600 mm)
Instrumento de medida	Regla de metal rígido (flexómetro)	Long ≥ 12 ", divisiones de 1/4" (5 mm)
Herramientas pequeñas	Cucharon pequeño, Placa para prueba de revenimiento (50 cm x 50cm)	

Fuente: ASTM C143.



Figura 19. Desencofrado con deficiencia de pasta entre agregados.



Figura 20. Corrección de la cantidad de pasta; se observa que los agregaos son cubiertos por la pasta.

4.6.2 Ascensión superficial de la pasta.

Al utilizarse el agregado grueso y la arena gruesa con módulos de fineza altos (lo que indica que los agregados tienden a ser más gruesos), se produce un déficit de partículas finas la cual produce una pérdida relativa de la compacidad, generándose espacios vacíos grandes entre agregados las cuales deben de ser cubiertas por la pasta, la cual debe ascender entre partículas para poder recubrirlas por completo proceso que se dificulta si los espacios vacíos



entre agregados son considerables, impidiendo que la pasta suba hacia la superficie y permita una distribución homogénea de la misma en toda la muestra de concreto.

Para poder reducir los espacios vacíos entre agregados se optó por usar un tercer agregado en ciertos porcentajes el cual tenga un módulo de fineza bajo que permita compensar el déficit de partículas finas en la mezcla y permita la ascensión de la pasta hacia la superficie.

Procedimiento: Este ensayo de desarrollo de forma empírica, la cual consistía en vaciar la mezcla inicial en una briqueta y varillarla con 25 golpes por cada capa, una vez hecho lo anterior se dotaba de energía mecánica a la muestra mediante golpes ligeros a la briquetera con una comba de goma y se apreciaba de forma visual si la pasta de concreto ascendía hacia la superficie para poder recubrir las partículas de agregado ubicadas en dicha zona, si la pasta no ascendía hacia la superficie se procedía a devolver la mezcla al trompo y a aumentar arena fina en pequeñas cantidades y se volvía a desarrollar el proceso descrito anteriormente hasta lograr la ascensión de la pasta de forma sencilla con la menor cantidad de energía mecánica dotada a la muestra, las cantidades de arena fina eran pesadas para posteriormente realizar la corrección en gabinete de las proporciones de mezcla dotadas por el diseño.

Tabla 15

Equipo utilizado para el método empírico de ascensión de la pasta.

Equipo	Especificaciones
Balanza	Exactitud 45 g. o dentro del 3% de prueba.
Recipiente cilíndrico	Capacidad de acuerdo a TM
Placa de Enrasado	Espesor $\geq \frac{1}{4}$ " (6mm), Largo y ancho \varnothing recipiente + 2"
Mazo de goma	

Fuente: ASTM C143.



Figura 21. (a).- Poca trabajabilidad, déficit de finos, (b).- Ascensión rápida de la pasta, buena presencia de finos.

4.6.3 Asentamiento del concreto (SLUMP).

Este ensayo se utiliza para poder determinar el asentamiento del concreto en estado fresco, para este ensayo se utilizaron las siguientes normativas:

- ASTM C 143: Método de ensayo normalizado para asentamiento de concreto cemento hidráulico.
- MTC E 705: Asentamiento del concreto (Slump).

Procedimiento: Este ensayo se realizó sobre una superficie metálica no adsorbente la cual fue humedecida previamente junto con el cono de Abrams, se coloca el cono de Abrams en posición vertical con el diámetro más grande en contacto con la placa y se pisa firmemente el molde para evitar cualquier tipo de movimiento, se llena el cono con concreto en tres capas las cuales fueron varilladas con 25 golpes respectivamente en forma de espiral, una vez que la última capa ha sido compactada se procede a quitar el concreto excedente enrazando la parte superior del cono, inmediatamente después el cono es alzado rápidamente en dirección vertical y se procede a medir el asentamiento producido en la mezcla de concreto

determinando la altura entre el molde y la parte superior de la mezcla asentada, para este efecto se utilizó un metro o regla flexible.

Tabla 16

Equipo normalizado para el ensayo de revenimiento.

Equipo	Especificaciones	Tolerancias ASTM C143
Cono de Abrams	Ø inferior	200 mm
	Ø superior	100 mm
	Altura	300mm
	Tolerancia	±3 mm
Barra compactadora	Espesor mínimo	1.5 mm, 1.15 mm repujado
	Barra de acero liso con punta semiesférica	Ø 5/8" (16 mm) x 24" (600 mm)
Instrumento de medida	Regla de metal rígido (flexómetro)	Long ≥ 12 “, divisiones de 1/4” (5 mm)
Herramientas pequeñas	Cucharón pequeño, Placa para prueba de revenimiento (50 cm x 50cm)	

Fuente: ASTM C143.



Figura 22. Varillado del concreto en el cono de Abrams, método normado.



Figura 23. Medición del revenimiento de concreto, método normado.

4.7 Concreto en estado endurecido.

En este apartado se explicara el ensayo utilizado para poder determinar la resistencia a compresión simple de las distintas muestras de concreto optimizadas con microsíllice en estado endurecido.

4.7.1 Resistencia a compresión de las muestras de concreto.

Este ensayo es utilizado para determinar la resistencia a compresión de los especímenes cilíndricos de concreto de 10cm de diámetro por 20cm de altura, es importante mencionar que la rotura de las muestras se llevó a cabo en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil y en un laboratorio externo.

Para la realización de este ensayo se utilizaron las siguientes normativas:

- ASTM C 39 – 39M: Standard Test Method compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- MTC E 704: Resistencia a la compresión testigos cilíndricos.

Procedimiento: Las muestras ensayadas fueron retiradas y trasladadas de las pozas de curado hacia las máquinas de compresión unas horas antes de realizar el ensayo, se utilizaron cabezales de metal que contenían un material elástico con el fin de uniformizar los esfuerzos en las probetas, las muestras junto a los cabezales fueron alineadas cuidadosamente con el

centro de presiones de bloque rotulado de la máquina, una vez hecho lo anterior de aplico la carga hasta fallar la muestra, la capacidad a compresión de las muestras fueron tomadas así como el tipo de falla de cada una, la edad a la cual fueron ensayadas la muestras fue de 28 días.



Figura 24. Preparado y codificación de testigos, para su ensayo de resistencia.



Figura 25. Recolección y observación del tipo de falla de los testigos.



CAPITULO 5. RESULTADOS

5.1 Introducción.

En este capítulo se detallaran los resultados obtenidos de realizar los distintos ensayos correspondientes tanto a los agregados que componen el diseño de mezcla como los ensayos hechos a las probetas de concreto en estado fresco y endurecido.

En el ítem 5.2 se detallan los resultados obtenidos de realizar los ensayos correspondientes a los distintos agregados (agregado grueso, arena gruesa y arena fina) componentes de las mezclas, con los cuales se determinaron las propiedades físicas y mecánicas, con estas propiedades se estimaron los efectos que producen dichos agregados en las propiedades mecánicas de los distintos concretos elaborados.

En el ítem 5.3 se muestran los diferentes diseños de mezcla finales utilizados en los vaciados, también se muestran los resultados de las propiedades mecánicas del concreto en estado fresco y endurecido correspondiente a los ensayos de resistencia mecánica hechas a las probetas de concreto.

5.2 Características de los agregados pétreos.

Para obtener los distintos diseños de mezcla se utilizaron tres tipos de agregados a los cuales se les realizaron los ensayos determinados según el Manual de Ensayos de Materiales hecho por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú y las normas ASTM a continuación se resumen los resultados obtenidos de realizar los ensayos: cantidad de material fino que pasa el tamiz n° 200, análisis granulométrico, peso específico, capacidad de absorción, peso unitario suelto, peso unitario compactado y contenido de humedad.

Todos los valores obtenidos de los diferentes ensayos en laboratorio se muestran detalladamente en el **Anexo A**.

5.2.1 Agregado grueso.

El agregado grueso utilizado en la presente investigación fue el producido en las canteras de Huambutio la cual se encuentra ubicada al noroeste del distrito de Caicay, provincia de Paucartambo departamento de Cusco, este agregado presenta un tamaño máximo absoluto de $\frac{3}{4}$ ", es importante mencionar que el tamaño máximo nominal utilizado en esta



investigación fue de $\frac{1}{2}$ ", por lo cual el agregado grueso fue tamizado previamente para poder obtener dicho tamaño máximo de partículas, la elección de este tamaño fue realizado en función al tipo de elemento estructural (columnas y vigas) para los cuales se hicieron los diseños de mezcla, a continuación se resumen los valores de las principales características de este árido.

Tabla 17

Principales características físico-mecánicas del agregado grueso.

Agregado	Grueso
Cantera	Huambutio
Tipo de Agregado	Piedra chancada
Contenido de Humedad	0.64%
Material que pasa la malla N° 200	1.20%
Módulo de Fineza	6.26
Peso Específico	2.63 gr/cm ³
Capacidad de absorción	0.74%
Peso Unitario Suelto	1470.99 Kg/m ³
Peso unitario Compactado	1620.63 Kg/m ³

Fuente: Elaboración propia.

Es importante tener en cuenta que el análisis granulométrico de este agregado da como resultado un módulo de fineza de 6.26, el cual nos indica que existe un contenido elevado de partículas grandes en comparación con las partículas pequeñas, esta característica es en especial útil para los fines de esta investigación pues al tenerse una mayor cantidad de partículas grandes el contenido de material cementante (pasta) deberá ser menor por la poca superficie específica que presenta este agregado.



Figura 26. Curva granulométrica del agregado grueso (Elaboración propia).

En el grafica anterior se puede apreciar que la curva granulométrica del agregado grueso no entra dentro de los parámetros establecidos por la norma ASTM, lo cual no tiene una influencia apreciable en el diseño de mezclas elaboradas para esta investigación.



Figura 27. Selección de la muestra del agregado grueso, por cuarteo.



Figura 28. Material retenido del agregado grueso.

5.2.2 Arena gruesa.

La arena gruesa al igual que el agregado grueso proviene de la cantera de Huambutio la cual se encuentra ubicada al noroeste del distrito de Caicay, provincia de Paucartambo departamento de Cusco, una de las características principales de este agregado es que presenta un alto contenido de material fino (limos) con un valor aproximado de 8.16% el cual fue obtenido mediante el análisis de cantidad de material fino que pasa el tamiz N° 200.

Al tener una gran cantidad de finos que pasan el tamiz N°200 se deberá utilizar una gran cantidad de material cementante la cual pueda cubrir la extensa superficie específica que presentara este agregado, entonces para evitar la ocurrencia de este fenómeno se tuvo que lavar la arena gruesa para poder eliminar el material limoso el cual resulta perjudicial para los diferentes tipos de concretos sean convencionales o no.

A continuación se muestra el resumen de los resultados de los diferentes ensayos hechos a la arena gruesa después de haber realizado el lavado de dicho agregado.

Tabla 18

Principales características físico-mecánicas de la arena gruesa.

Agregado	Fino
Cantera	Huambutio
Tipo de Agregado	Arena Gruesa
Contenido de Humedad	0.80%

Material que pasa la malla N° 200	1.34%
Módulo de Fineza	3.6
Peso Específico	2.64 gr/cm ³
Capacidad de absorción	1.73%
Peso Unitario Suelto	1344.5 Kg/m ³
Peso unitario Compactado	1523.5 Kg/m ³

Fuente: Elaboración propia.

Según la granulometría esta arena presenta un módulo de fineza de 3.6 el cual se encuentra por encima de los valores recomendados de módulos de fineza para agregados finos los cuales varían entre 2.3 y 3, al igual que el agregado grueso este valor del módulo de fineza se interpreta que estamos frente a un agregado que presenta mayor cantidad de partículas gruesas en comparación con las partículas finas, esta propiedad resulta muy ventajosa pues nos permite tener un control integro de la compacidad de las mezclas las cuales serán controladas con un tercer agregado el cual deberá presentar características opuestas a las características de los dos agregados estudiados hasta el momento.

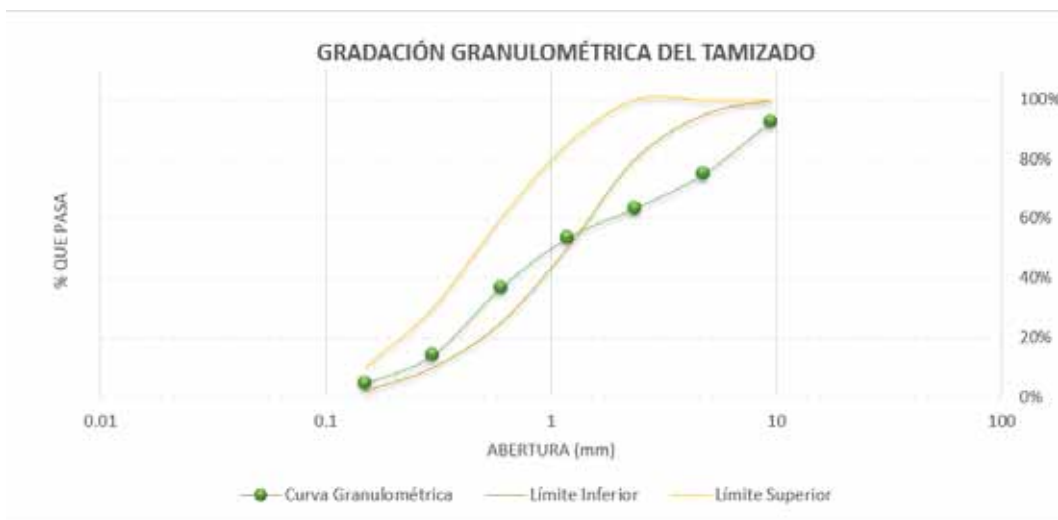


Figura 29. Curva Granulométrica de la arena gruesa.

En la gráfica anterior al igual que en el agregado grueso la curva granulométrica de la arena gruesa no entra dentro de los parámetros establecidos por las normativas ASTM, lo cual no tiene una influencia apreciable en el diseño de mezclas elaboradas para esta investigación.



Figura 30. Material retenido en ensayo de granulometría de la arena gruesa,

5.2.3 Arena fina.

La arena fina seleccionada es la proveniente de la cantera de Pisac, la cual presenta un módulo de fineza igual a 1.21 el cual es bastante bajo, este valor nos da a entender que estamos frente a un agregado que contienen una gran cantidad de partículas finas, esta característica es en especial importante, pues con este agregado compensaremos la falta de finos en los diseños de mezcla pero de una manera controlada evitando el uso excesivo de finos y por consiguiente un aumento de la cantidad de material cementante, la cantidad de arena fina se limitó entre el 10% y el 20% en peso del agregado fino total, así mismo gracias a este agregado podremos mejorar la falta de trabajabilidad y generaremos el efecto de capilaridad en las mezclas de diseño haciendo que la pasta de concreto pueda cubrir todas las partículas de agregados que componen la mezcla y generándose un efecto de ascensión de la pasta hacia la parte superficial del concreto en los diferentes moldes o encofrados sobre los cuales se vació la mezcla haciendo que el acabado de la superficie sea sencillo.

A continuación se muestran las principales características de la arena fina de Pisac.

Tabla 19

Principales características físico-mecánicas de la arena fina de Pisac.

Agregado	Fino
Cantera	Pisac
Tipo de Agregado	Arena Fina
Contenido de Humedad	0.41 %

Material que pasa la malla N° 200	2.1 %
Módulo de Fineza	1.61
Peso Específico	2.65 gr/cm ³
Capacidad de absorción	3.75 %
Peso Unitario Suelto	1375.6 Kg/m ³
Peso unitario Compactado	1586.2 Kg/m ³

Fuente: Elaboración propia.

Es importante conocer que la cantidad de material limoso en este agregado se encuentra dentro de los valores normales teniéndose un valor de 2.7% obtenido según el ensayo de cantidad de material que pasa el tamiz N° 200, este agregado es bastante limpio por lo cual no se procedió a lavar el agregado.

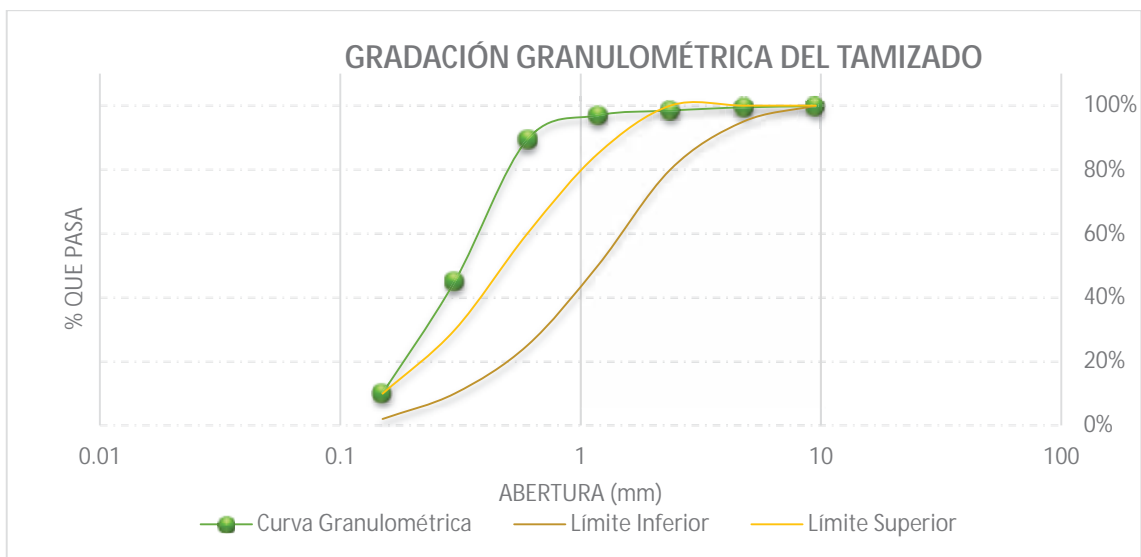


Figura 31. Curva granulométrica de la arena fina de Pisac (Elaboración propia).

Al igual que los dos agregados anteriores esta arena no se ajusta a los límites granulométricos recomendados por la normativa ASTM.



Figura 32. Arena fina de Pisac.

5.3 Elaboración de los diseños de mezcla.

En la tabla 21, se define con una nomenclatura a los diseños de mezcla patrones y las mezclas con adición de microsíllice elaborados en la investigación. Esta nomenclatura se usará en la presentación de diferentes datos y resultados durante la investigación.

Tabla 20

Nomenclatura de los diseños en análisis.

Nomenclatura	Características
D1-P	Diseño patrón $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$
D2-P	Diseño patrón $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$
D1-15%M (85%H+15%P)	Diseño con microsíllice al 15% $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$
D1-10%M (85%H+15%P)	Diseño con microsíllice al 10% $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$
D1-7%M (85%H+15%P)	Diseño con microsíllice al 7% $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$
D2-15%M (83%H+17%P)	Diseño con microsíllice al 15% $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$
D2-10%M (83%H+17%P)	Diseño con microsíllice al 10% $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$
D2-7%M (83%H+17%P)	Diseño con microsíllice al 7% $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$

Fuente: Elaboración propia.

5.3.1 Diseños de mezcla.

En este ítem se detallaran las cantidades en peso de los distintos agregados que componen las mezclas detalladas en el cuadro anterior, los diseños de mezcla patrones están basados



según los criterios del ítem **4.4.1** el cual se basa en el diseño ACI, los diseños de mezcla que contienen microsilíce en diferentes porcentajes se basaron en los criterios del ítem **4.4.2**.

Los valores mostrados son los valores finales ya corregidos por el contenido de humedad de los agregados, si se desea mayor detalle revisar los Anexos donde se muestran los pesos en seco y húmedo de los componentes de las mezclas.

5.3.1.1 Diseño patrón $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ (d1-p).

El diseño patrón para un concreto $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ se obtuvo mediante la metodología del ACI-211.1, en dicho diseño se utilizó una cantidad de bolsas de cemento similar a las utilizadas en los diseños de mezcla cotidianos de las distintas obras de la región la cual es 9.5 bolsas/m³, la cantidad de agua mostrado en el diseño final es la corregida por humedad y absorción de los agregados.

A continuación se muestran las proporciones del diseño de mezcla.

Tabla 21
Proporciones D1 - P.

Materiales componentes	Proporciones para 1m ³	
	Cantidades	
Cemento Wari tipo 1	386 kg.	
Agua	230.23 lt.	
Piedra chancada ½"	714.78 kg.	
Arena	970.87 kg.	
Aire	2.50 %	

Fuente: Elaboración propia.

5.3.1.2 Diseño patrón $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$ (d2-p)

El diseño patrón para un concreto $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$ se obtuvo mediante la metodología del ACI-211.1, en dicho diseño se utilizó una cantidad de bolsas de cemento similar a las utilizadas en los diseños de mezcla cotidianos de las distintas obras de la región la cual es 12 bolsas/m³, la cantidad de agua mostrado en el diseño final es la corregida por humedad y absorción de los agregados.

A continuación se muestran las proporciones del diseño de mezcla.



Tabla 22
Proporciones D2 - P.

Proporciones para 1m ³	
Materiales componentes	Cantidades
Cemento Wari tipo 1	510 kg.
Agua	251.92 lt.
Piedra chancada ½"	746.86 kg.
Arena	768.29 kg.
Aire	2.50 %

Fuente: Elaboración propia.

5.3.1.3 Diseño con microsilice $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}2$ (D1-15%*m* (85%*H*+15%*P*))

Este diseño presenta 15% de microsilice y una cantidad de cemento equivalente a 4.8 bolsas/m³, las proporciones de agregado fino utilizadas fueron 85% de arena gruesa de Huambutio y 15% de arena fina de Pisac, la cantidad de agua mostrada en el diseño final es la corregida por humedad y absorción de los agregados.

A continuación se muestran las proporciones del diseño de mezcla.

Tabla 23
Proporciones D1 - 15%M (85%H + 15%P).

Para 1m ³	
Materiales componentes	Cantidades
Cemento Wari tipo 1	204 kg.
Microsilice	30.6 kg.
Agua	162.22 lt.
Piedra chancada ½"	1117.79 kg.
Arena Gruesa	726.89 kg.
Arena Fina	127.64 kg.
Súper plastificante	2.72 kg.
Aire	2.50 %

Fuente: Elaboración propia.

5.3.1.4 Diseño con microsilice $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}2$ (D1-10%*m* (85%*H*+15%*P*))

Este diseño presenta 10% de microsilice y una cantidad de cemento equivalente a 4.8 bolsas/m³, las proporciones de agregado fino utilizadas fueron 85% de arena gruesa de



Huambutio y 15% de arena fina de Pisac, la cantidad de agua mostrada en el diseño final es la corregida por humedad y absorción de los agregados.

A continuación se muestran las proporciones del diseño de mezcla.

Tabla 24

Proporciones D1 - 10%M (85%H + 15%P).

Materiales componentes	Proporciones para 1m ³	
	Cantidades	
Cemento Wari tipo 1	204 kg.	
Microsílice	20.4 kg.	
Agua	162.68 lt.	
Piedra chancada ½"	1117.79 kg.	
Arena Gruesa	736.94 kg.	
Arena Fina	137.69 kg.	
Súper plastificante	2.0 kg.	
Aire	2.50 %	

Fuente: Elaboración propia.

5.3.1.5 Diseño con microsílice $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ (D1-7%*m* (85%*H*+15%*P*))

Este diseño presenta 7% de microsílice y una cantidad de cemento equivalente a 4.8 bolsas/m³, las proporciones de agregado fino utilizadas fueron 85% de arena gruesa de Huambutio y 15% de arena fina de Pisac, la cantidad de agua mostrada en el diseño final es la corregida por humedad y absorción de los agregados.

A continuación se muestran las proporciones del diseño de mezcla.

Tabla 25

Proporciones D1 - 7%M (85%H + 15%P).

Materiales componentes	Proporciones para 1m ³	
	Cantidades	
Cemento Wari tipo 1	204 kg.	
Microsílice	14.28 kg.	
Agua	162.64 lt.	
Piedra chancada ½"	1116.79 kg.	
Arena Gruesa	738.11 kg.	
Arena Fina	137.54 kg.	



Súper plastificante	2.0 kg.
Aire	2.50 %

Fuente: Elaboración propia.

5.3.1.6 Diseño con microsilice $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$ (D2-15%*m* (83%*H*+17%*P*))

Este diseño presenta 15% de microsilice y una cantidad de cemento equivalente a 5.8 bolsas/m³, las proporciones de agregado fino utilizadas fueron 83% de arena gruesa de Huambutio y 17% de arena fina de Pisac, la cantidad de agua mostrada en el diseño final es la corregida por humedad y absorción de los agregados.

A continuación se muestran las proporciones del diseño de mezcla.

Tabla 26

Proporciones D2 - 15%M (83%H + 17%P).

Materiales componentes	Proporciones para 1m ³	
	Cantidades	
Cemento Wari tipo 1	247 kg.	
Microsilice	37.05 kg.	
Agua	193.51 lt.	
Piedra chancada ½"	916.56 kg.	
Arena Gruesa	778.41 kg.	
Arena Fina	158.63 kg.	
Súper plastificante	2.72 kg.	
Aire	2.50 %	

Fuente: Elaboración propia.

5.3.1.7 Diseño con microsilice $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$ (d2-10%*m* (83%*h*+17%*p*))

Este diseño presenta 10% de microsilice y una cantidad de cemento equivalente a 5.8 bolsas/m³, las proporciones de agregado fino utilizadas fueron 83% de arena gruesa de Huambutio y 17% de arena fina de Pisac, la cantidad de agua mostrada en el diseño final es la corregida por humedad y absorción de los agregados.

A continuación se muestran las proporciones del diseño de mezcla.



Tabla 27

Proporciones D2 - 10%M (83%H + 17%P).

Proporciones para 1m ³	
Materiales componentes	Cantidades
Cemento Wari tipo 1	247 kg.
Microsílice	24.7 kg.
Agua	193.79 lt.
Piedra chancada ½"	918.75 kg.
Arena Gruesa	791.19 kg.
Arena Fina	158.63 kg.
Súper plastificante	2.72 kg.
Aire	2.50 %

Fuente: Elaboración propia.

5.3.1.7 Diseño con microsílice $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$ (D2-7%m (83%H+17%P)).

Este diseño presenta 7% de microsílice y una cantidad de cemento equivalente a 5.8 bolsas/m³, las proporciones de agregado fino utilizadas fueron 83% de arena gruesa de Huambutio y 17% de arena fina de Pisac, la cantidad de agua mostrada en el diseño final es la corregida por humedad y absorción de los agregados.

A continuación se muestran las proporciones del diseño de mezcla.

Tabla 28

Proporciones D2 - 7%M (83%H + 17%P).

Proporciones para 1m ³	
Materiales componentes	Cantidades
Cemento Wari tipo 1	247 kg.
Microsílice	17.29 kg.
Agua	194.13 lt.
Piedra chancada ½"	918.75 kg.
Arena Gruesa	791.19 kg.
Arena Fina	168.67 kg.
Súper plastificante	2.72 kg.
Aire	2.50 %

Fuente: Elaboración propia.

5.3.2. Relación agua/cemento y agua/material cementante de los diseños.

La relación agua/cemento es la relación que divide la cantidad de agua entre la cantidad de cemento en estado seco de los componentes de la mezcla (sin que afecte la humedad de los agregados), este valor nos indica la cantidad de agua que contiene la mezcla, es decir para valores que se acerquen a una relación agua/cemento de 0.80 existe una poca cantidad de cemento y una alta cantidad de agua, para valores pequeños de se acerquen a una relación agua/cemento de 0.30 existe una alta cantidad de cemento y una baja cantidad de agua, todo esto es aplicable para concretos convencionales.

Según la tabla 12, confeccionada por el comité 211 del ACI, la relación agua/cemento en peso, indica que, para valores de resistencia del concreto $f'c$ bajos la relación agua/cemento crece, mientras que para concretos de resistencias grandes que se aproximen a $450\text{kg}/\text{cm}^2$ esta relación decrece considerablemente.

Para concretos que contengan microsilíce se debe de hablar en términos de (agua/material cementante), debido a la adición de la microsilíce la cual se debe sumar a la cantidad de cemento existente en el diseño.

A continuación se muestra un cuadro resumen de la relación agua/cemento y la relación agua/material cementante, de los diseños propuestos en esta investigación:

Tabla 29
Relación agua/material cementante de los diseños en análisis.

Materiales componentes	a/c	a/mc
D1-P	0.56	
D2-P	0.47	
D1 – 15% M (85% H+15% P)		0.61
D1 – 10% M (85% H+15% P)		0.64
D1 – 7% M (85% H+15% P)		0.66
D2 – 15% M (83% H+17% P)		0.61
D2 – 10% M (83% H+17% P)		0.64
D2 – 7% M (83% H+17% P)		0.65

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se muestran graficas comparativas entre la relación agua/cemento de los diseños patrones versus la relación agua/material cementante de los diseños con microsíllice.

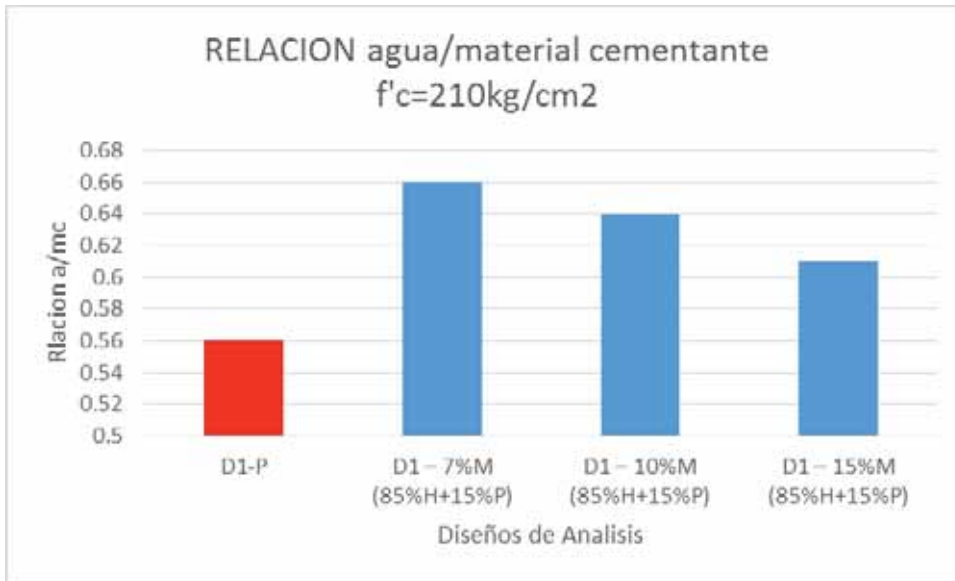


Figura 33. Diagrama comparativo entre la relación a/mc de los diseños $f'c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ (Elaboración propia).

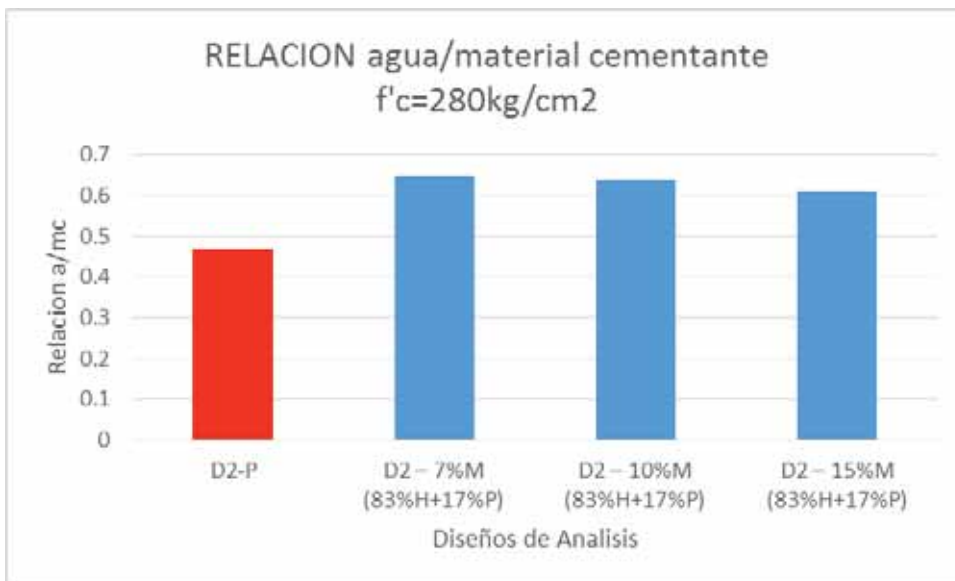


Figura 34. Diagrama comparativo entre la relación a/mc de los diseños $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$ (Elaboración propia).

5.3.3. Determinación de la resistencia a compresión simple.

El método consiste en aplicar una carga de compresión axial a los cilindros moldeados o extracciones diamantinas a una velocidad normalizada en un rango prescrito mientras ocurre la falla. La resistencia a la compresión de la probeta es calculada por división de la carga máxima alcanzada durante el ensayo, entre el área de la sección recta de la probeta. (NTP 339.034).

Respecto al tipo de concreto convencionales, la evolución de la resistencia de los cilindros, depende de la edad del concreto, y los porcentajes de evolución se obtuvieron de investigaciones anteriores y recomendaciones del ACI.

Tabla 30

Evolución de la resistencia a la compresión, según la edad del concreto.

Edad	% Esperado de resistencia
7 día	70.00%
14 días	85.00%
28 días	100.00%

Fuente: Adaptado, Tópicos de Tecnología del concreto en el Perú, Pasquel Enrique, fig. 3.6.

Para la mejor comprensión de la presentación de resultados, en la tabla 32, se muestran los diferentes diseños con una nomenclatura y su respectivo porcentaje de microsiílice y cemento portland Wari tipo I, del material cementante total considerado en cada mezcla. Así en todos los resultados de la resistencia a compresión de la presente investigación, se indicara los resultados con su nomenclatura.

Tabla 31

Diseño de mezclas de análisis y porcentaje de microsiílice en el material cementante.

Mezcla	Resistencia kg/cm ²	Porcentaje de Cemento	Porcentaje de microsiílice	Símbolo
Microsiílice		0	100	M
Mezcla 1	210	100	0	D1 - P
Mezcla 2	280	100	0	D2 - P
Mezcla 3	210	85	15	D1 – 15%M (85%H+15%P)
Mezcla 4	210	90	10	D1 – 10%M (85%H+15%P)
Mezcla 5	210	93	7	D1 – 7%M (85%H+15%P)



Mezcla 6	280	85	15	D2 – 15%M (83%H+17%P)
Mezcla 7	280	90	10	D2 – 10%M (83%H+17%P)
Mezcla 8	280	93	7	D2 – 7%M (83%H+17%P)

Fuente: Elaboración propia.

5.4 Concreto en estado fresco.

5.4.1 Resultado de la determinación de la prueba de revenimiento.

Las pruebas de revenimiento se realizaron, al finalizar el vaciado de cada mezcla; es necesario precisar que se hicieron según los procedimientos descritos en la normatividad vigente NTP 339.035, descrita en el capítulo sobre el marco teórico. Además se calculó como el promedio de dos pruebas de la misma tanda de vaciado, para cada diseño de mezclas.

Los diseños de mezclas en análisis, se plantearon para su aplicación en estructuras como vigas y columnas.

Tabla 32

Resultados de pruebas en estado fresco (Revenimiento).

Mezcla	Revenimiento		
	Dato 1	Dato 2	Promedio
D1/P	7.9 cm	8.3 cm	8.1 cm
D2/P	11.8 cm	11.8 cm	11.8 cm
D1 – 15% M (85% H+15% P)	9.9 cm	10.1 cm	10.0 cm
D1 – 10% M (85% H+15% P)	8.2 cm	8.2 cm	8.2 cm
D1 – 7% M (85% H+15% P)	5.0 cm	5.6 cm	5.3 cm
D2 – 15% M (83% H+17% P)	11.7 cm	12.1 cm	11.9 cm
D2 – 10% M (83% H+17% P)	7.9 cm	8.1 cm	8.0 cm
D2 – 7% M (83% H+17% P)	14.1 cm	13.3 cm	13.7 cm

Fuente: Elaboración propia.

5.5 Concreto en estado Endurecido.

En esta sección se muestran los resultados obtenidos de los ensayos al concreto en estado endurecido. Esto debe hacerse siguiendo el procedimiento de ensayo que establece la ASTM C 39 "Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto".



5.5.1 Resultados de la resistencia a la compresión de los diseños con Micro sílice.

Es necesario indicar que los ensayos y cálculos, fueron realizados según los procedimientos descritos en el ASTM C – 39; los resultados a compresión de todos los especímenes, así como su tipo de falla, se muestran a detalle en los anexos.

En la tabla 34, se muestran los promedios, de la resistencia a la compresión simple (f'_c), de cada diseño de mezclas, planteadas en la investigación. Se fallaron 30 muestras a los 28 días, en el caso de los diseños patrones y 30 muestras a los 28 días, en el caso de los diseños con micro sílice.

Tabla 33

Resultados de la resistencia a compresión simple de los diseños en análisis.

Diseño de mezclas	Valor mínimo (Kg/cm ²)	Valor máximo (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)	Resistencia de Diseño (Kg/cm ²)
D1 - P	227.94	414.95	307.33	210
D2 - P	331.96	397.9	367.47	280
D1 – 15%M	317.92	360.78	339.49	210
D1 – 10%M	270.80	359.28	321.10	210
D1 – 7%M	271.03	390.89	317.03	210
D2 – 15%M	352.94	419.00	382.78	280
D2 – 10%M	337.86	401.62	375.14	280
D2 – 7%M	335.18	422.07	374.08	280

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de todas las roturas se encuentran en los anexos.

En la figura 49 y 50, se muestran curvas de valores comparativos, entre los diseños con diferentes cantidades de micro sílice y los diseños patrones.

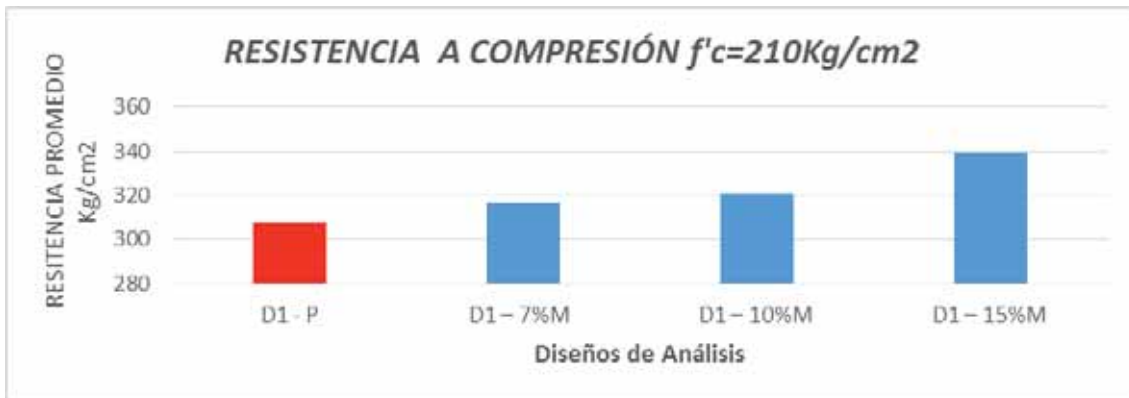


Figura 35. Gráfica comparativa de la resistencia a la compresión para $f'c=210\text{Kg/cm}^2$ (Elaboración propia).

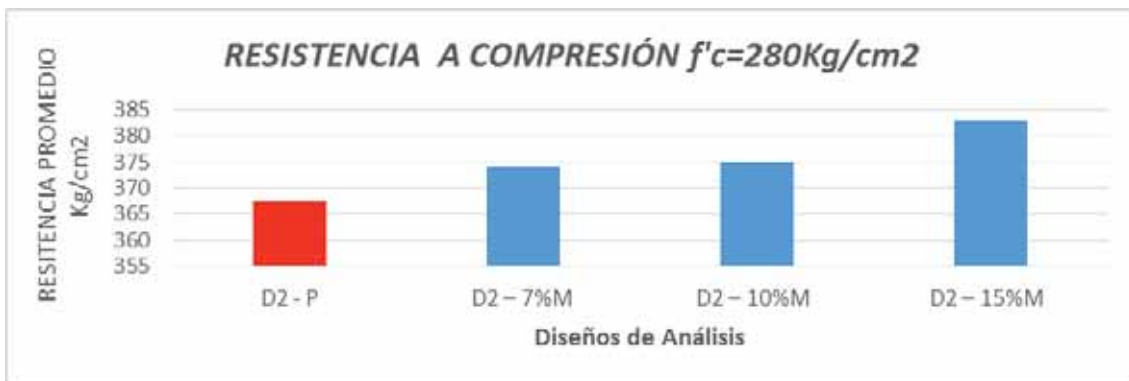


Figura 36. Gráfica comparativa de la resistencia a la compresión para $f'c=280\text{Kg/cm}^2$ (Elaboración propia).

CAPITULO 6 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Introducción.

En este capítulo se analizarán los valores más influyentes e incidentes y el impacto que estos producen en esta investigación como son el módulo de fineza en el caso de los agregados, la cantidad de cemento optimizada entre los diseños patrones y los diseños con microsíllice, las resistencias alcanzadas para los diseños con microsíllice y los diseños que si contiene microsíllice en diferentes porcentajes, etc.

Así mismo se muestran graficas comparativas para los valores obtenidos.

6.1.1 De los agregados.

Como se puede apreciar en las tablas 17, 18 y 19 la característica más influyente para fabricar un concreto con microsíllice y reduciendo la cantidad de cemento por metro cubico de mezcla, es el módulo de fineza obtenido a partir del ensayo de análisis granulométrico, este módulo debe de ser alto en comparación con los valores recomendados por el comité ACI 211.1 los cuales oscilan entre 2.3 y 3.

Tabla 34

Módulos de fineza para los tres agregados utilizados en la investigación.

AGREGADO	MODULO DE FINEZA
A. Grueso	6.26
Arena Gruesa	3.6
Arena Fina	1.61

Fuente: Elaboración Propia.

Cuando el módulo de fineza es alto estamos frente a agregados que presentan una gran cantidad de partículas gruesas o grandes en comparación con las partículas de menor tamaño o pequeñas, lo cual es muy favorable para los fines de esta investigación pues las partículas grandes presentan una menor superficie específica en comparación con la superficie específica que presentan las partículas pequeñas, por consiguiente el material cementante (cemento y microsíllice) deberá adaptarse de acuerdo a este valor, necesitándose poco material cementante si los módulos de fineza son grandes y una mayor cantidad de material cementante si los módulos de fineza son pequeños, todo esto con el fin de que las partículas

del agregado sean cubiertas (rodeadas) íntegramente por la pasta. Al tenerse una gran cantidad de agregados grandes en la mezcla produce que se generen espacios vacíos entre partículas debido a la falta de finos presentes en el agregado lo cual genera concreto poroso, para evitar ese fenómeno se optó por usar un tercer agregado el cual tenga características contrarias a las ya mencionadas, es decir que presente un módulo de fineza muy bajo lo cual nos permitirá compensar la falta de finos (de manera controlada) y por consiguiente evitar que se generen espacio vacíos en las probetas de concreto, además este tercer agregado nos brindara mayor trabajabilidad y el efecto de poros, haciendo que la pasta suba hacia la superficie de las probetas o encofrados permitiendo un adecuado recubrimiento de las partículas y un acabado rápido de la superficie del elemento vaciado, el agregado elegido fue la arena fina de Pisac.

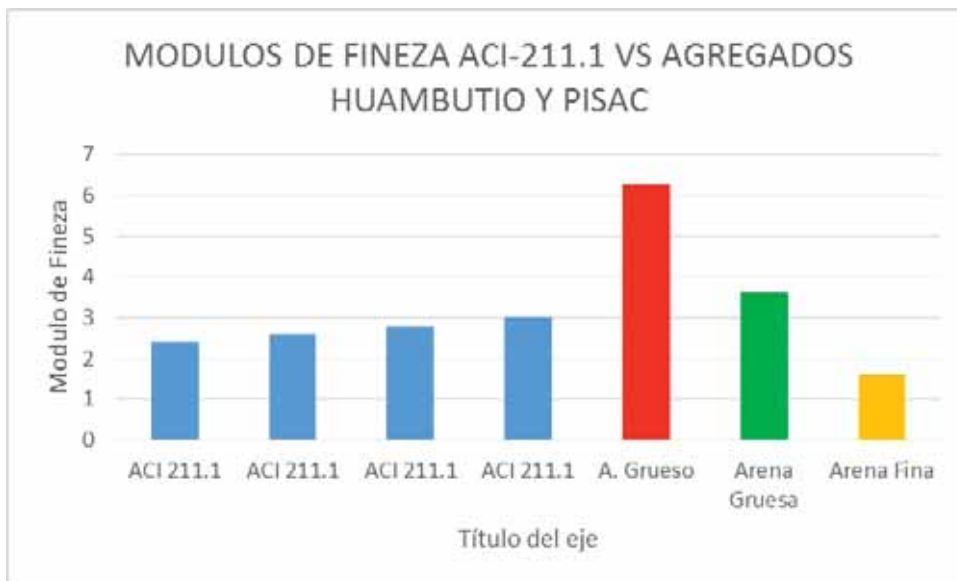


Figura 37. Diagrama comparativo entre Módulos de Fineza (Elaboración propia).

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente y habiendo realizado múltiples pruebas se llegó a una cantidad de material cementante óptima para cada diseño, la cual garantiza el recubrimiento de las partículas de los agregados, se reduce los espacios vacíos y le confiere a las mezclas una buena trabajabilidad sin que las resistencias de diseño a compresión axial $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$ se vean afectadas.



6.1.2 De los diseños de mezcla.

Una vez determinadas las cantidades exactas de los componentes tanto para los diseños patrones y para los diseños con microsilíce como se muestra en el apartado 5.3, podemos ver según las tablas (21 a la 29) para los diseños con microsilíce, que las cantidades de agua, agregados grueso y finos y super plastificante se mantienen casi constantes para cada tipo de diseño, variando la cantidad de cemento y microsilíce tanto para los diseños con microsilíce como los diseños patrones.

A continuación se muestran tablas comparativas de la variación en la cantidad de cemento para cada tipo de diseño:

- Para el diseño $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ se detalla la siguiente tabla la cual muestra la variación de cemento entre el diseño patrón y los diseños con microsilíce en diferentes porcentajes:

Tabla 35
Variación de cemento para el diseño $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$.

Diseño	Microsilíce (kg)	Cemento (kg)	Cemento (bolsas)
D1-P	--	386	9.08
D1 – 15% M (85% H+15% P)	30.6	204	4.8
D1 – 10% M (85% H+15% P)	20.4	204	4.8
D1 – 7% M (85% H+15% P)	14.28	204	4.8

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla anterior, en los diseños de mezcla que incluyen microsilíce solo se utilizó una cantidad de 4.8 bolsas/ m^3 para cada diseño generado una disminución de 4.28 bolsas/ m^3 comparada con un diseño normal utilizado en nuestro medio, a continuación se aprecia una figura comparativa.

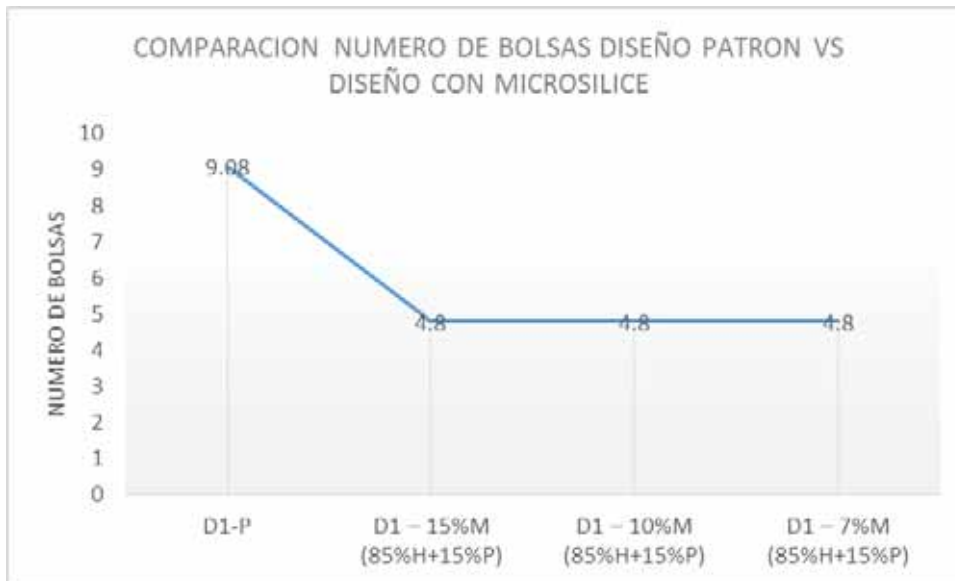


Figura 38. Diagrama comparativo número de bolsas para el diseño $f'c=210\text{kg}/\text{cm}2$ patrón y con microsilíce (Elaboración propia).

- Para el diseño $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}2$ se muestra la siguiente tabla la cual muestra la variación de cemento entre el diseño patrón y los diseños con microsilíce en diferentes porcentajes:

Tabla 36

Variación de cemento para el diseño $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}2$.

DISEÑO	Microsilíce (kg)	Cemento (kg)	Cemento (bolsas)
D2-P	--	510	12
D2 - 15%M (83%H+17%P)	37.05	247	5.8
D2 - 10%M (83%H+17%P)	24.7	247	5.8
D2 - 7%M (83%H+17%P)	17.29	247	5.8

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla anterior, en los diseños de mezcla que incluyen microsilíce solo se utilizó una cantidad de 5.8 bolsas/ $\text{m}3$ para cada diseño generado una disminución de 6.19 bolsas/ $\text{m}3$ comparada con un diseño normal utilizado en nuestro medio, a continuación se aprecia una figura comparativa.



Figura 39. Diagrama comparativo número de bolsas para el diseño $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$ patrón y con microsilíce (Elaboración propia).

6.1.3 De la relación agua/cemento y agua/material cementante.

Según la tabla 38, podemos ver que la relación agua/material cementante (a/cm) para todos los diseños que incluyen microsilíce presentan valores superiores a las relaciones agua/cemento (a/c) de los diseños patrones que no incluyen microsilíce, aparentemente estos valores contradicen la teoría expuesta que dice que para obtener concretos con resistencias mayores se debe utilizar relaciones agua/cemento bajas.

Lo anterior ocurre debido a que se está reduciendo la cantidad de cemento considerablemente y la cantidad de agua si bien es cierto también se redujo pero en menor proporción debido a que se utilizó una mayor cantidad de agregados en los diseños que incluyen microsilíce y estos exigen una mayor cantidad de agua que nos permita tener a los agregados en un estado saturado superficialmente seco (S.S.S), entonces al tener una poca cantidad de material cementante y una cantidad relativamente elevada de agua por los motivos explicados nos proporcionan valores altos como los mostrados en la tabla.



Tabla 37

Relación agua/cemento y agua/material cementante de los diseños en análisis.

Materiales componentes	Proporciones para 1 M3	
	a/c	a/mc
D1-P	0.56	
D2-P	0.47	
D1 – 15%M (85%H+15%P)		0.61
D1 – 10%M (85%H+15%P)		0.64
D1 – 7%M (85%H+15%P)		0.66
D2 – 15%M (83%H+17%P)		0.61
D2 – 10%M (83%H+17%P)		0.64
D2 – 7%M (83%H+17%P)		0.65

Fuente: Elaboración propia.

6.1.4 Del asentamiento.

La consistencia de la mezcla se determinó mediante el ensayo del cono de Abrams para cada muestra como se aprecia en la tabla 33 del ítem 5.4.1, a continuación se detalla el asentamiento promedio para cada tipo de diseño:

- Para el diseño $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$, se obtuvieron los siguientes asentamientos promedio.

Tabla 38

Resultados promedio de asentamientos, diseño $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$.

Mezcla	Revenimiento
	Promedio
D1/P	8.1 cm
D1 – 15%M (85%H+15%P)	10.0 cm
D1 – 10%M (85%H+15%P)	8.2 cm
D1 – 7%M (85%H+15%P)	5.3 cm

Fuente: Elaboración propia.

En la figura se puede ver que los asentamientos alcanzados por el 15% y el 10% de microsíllice, superan al asentamiento obtenido por el diseño patrón sin microsíllice, el diseño al 7% de microsíllice solo llega a un valor de 5.3cm equivalente a 2", si bien este valor no supera el asentamiento obtenido por el diseño patrón, este valor de 2" es aceptable para poder

utilizarlo en el vaciado de elementos estructurales como columnas y vigas ya que sobrepasamos los mínimos requeridos por el ACI 211.1 según la Tabla 9 presentada en esta investigación la cual requiere un asentamiento mínimo para dichos elementos estructurales de 1" y un máximo de 4".

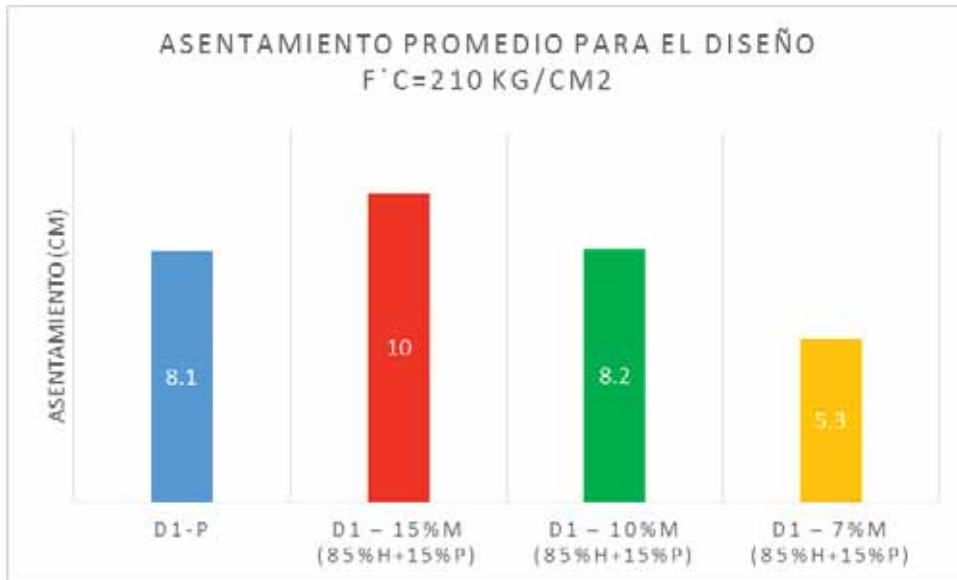


Figura 40. Diagrama comparativo de asentamientos $f'c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ patrón y con microfílice (Elaboración propia).

- Para el diseño $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$, se obtuvieron los siguientes asentamientos promedio.

Tabla 39

Resultados promedio de asentamientos, diseño $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$.

Mezcla	Revenimiento
	Promedio
D2/P	11.8 cm
D2 - 15% M (83% H + 17% P)	11.9 cm
D2 - 10% M (83% H + 17% P)	8.0 cm
D2 - 7% M (83% H + 17% P)	13.7 cm

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso del diseño $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$ se puede apreciar en la figura adjunta que el asentamiento máximo obtenido corresponde al diseño con 7% de microfílice el cual supera al asentamiento alcanzado por el diseño patrón, los diseños con 15% y 10% de microfílice se

mantienen cercanos a los valores obtenidos en el diseño patrón, es importante recalcar que los asentamientos producto de los diseños con microfílice superan los mínimos requeridos por el comité ACI 211.1 según la Tabla 9 presentada en esta investigación.

Para el caso del diseño con 7% de microfílice este presenta un asentamiento que supera el valor de 5", lo cual hace que este concreto sea catalogado como una mezcla fluida, siendo las mezclas fluidas según Riva Lopez 2002, aquellas cuyo asentamiento esta entre cinco o más pulgadas.

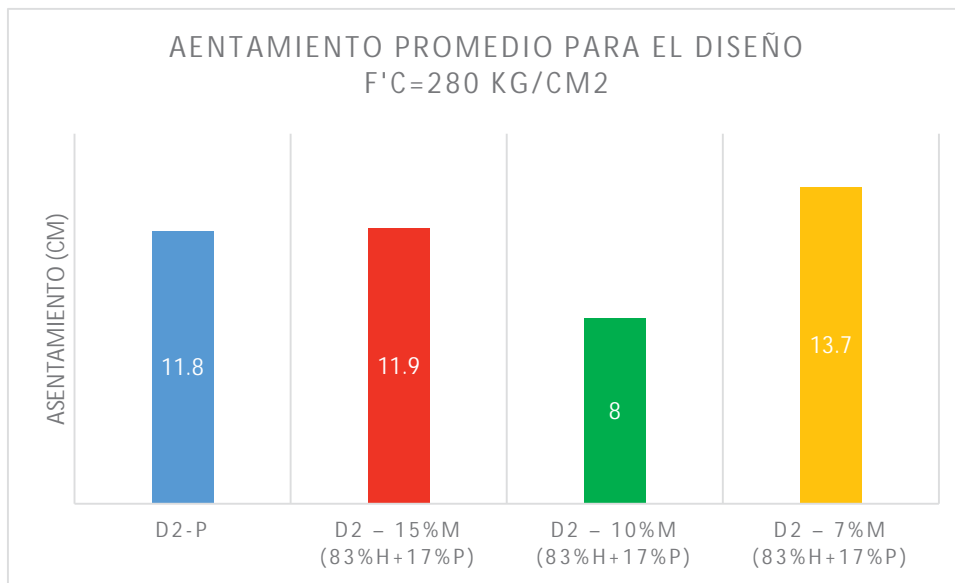


Figura 41. Diagrama comparativo de asentamientos $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$ patrón y con microfílice (Elaboración propia).

6.1.5 De la resistencia a compresión simple.

Como se explicó anteriormente en esta investigación se optimizo la cantidad de cemento sin que las resistencias de diseño mínimas planteadas $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$ se vean afectadas, adicionando para dicho propósito microfílice a la mezcla en diferentes porcentajes obteniéndose resultados a compresión simple mostrados en la tabla 34 contenida en el ítem 5.4.1, la cual muestra una tabla general de las resistencias máximas, mínimas y promedio alcanzadas para los diferentes porcentajes de microfílice utilizadas en esta investigación.

A continuación se muestra una tabla comparativa entre la cantidad de microfílice en kg utilizada en las mezclas y la resistencia promedio alcanzada para cada diseño.

- Para el diseño $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ se detalla la siguiente tabla la cual muestra la cantidad de microsiílice, cemento y la resistencia promedio alcanzada por el diseño patrón sin microsiílice y los diseño con microsiílice al 15, 10 y 7%.

Tabla 40

Cantidad de microsiílice, cemento y resistencias alcanzadas, diseño $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$.

Diseño	Microsiílice (kg)	Cemento (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
D1-P	--	386	307.33
D1 – 15% M (85% H+15% P)	30.6	204	339.49
D1 – 10% M (85% H+15% P)	20.4	204	321.10
D1 – 7% M (85% H+15% P)	14.28	204	317.03

Fuente: Elaboración propia.

De la figura siguiente podemos notar que los tres diseños con microsiílice superan la resistencia alcanzada por el diseño patrón, utilizando solo 204 kg de cemento lo que equivale a 4.8 bolsas/m³ y microsiílice en los porcentajes de 7, 10 y 15%.

Además podemos ver que la máxima resistencia alcanzada fue con el 15 % de microsiílice obteniéndose una resistencia promedio de 339.49 kg/cm² y la mínima resistencia fue de 317.03 kg/cm² correspondiente al 7% de microsiílice.



Figura 42. Diagrama comparativo cantidad de microsiílice y resistencias alcanzadas $f'c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ (Elaboración propia).

- Para el diseño $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$ se detalla la siguiente tabla la cual muestra la cantidad de microsiílice, cemento y la resistencia promedio alcanzada por el diseño patrón sin microsiílice y los diseño con microsiílice al 15, 10 y 7%.

Tabla 41

Cantidad de microsiílice, cemento y resistencias alcanzadas, diseño $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$.

DISEÑO	Microsiílice (kg)	Cemento (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
D2-P	--	510	367.47
D2 – 15% M (83% H+17% P)	37.05	247	382.78
D2 – 10% M (83% H+17% P)	24.7	247	375.14
D2 – 7% M (83% H+17% P)	17.29	247	374.08

Fuente: Elaboración propia.

De la figura siguiente podemos notar al igual que en el diseño $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ que los tres diseños con microsiílice superan la resistencia alcanzada por el diseño patrón, utilizando solo 247 kg de cemento lo que equivale a 5.8 bolsas/m³ y microsiílice en los porcentajes de 7, 10 y 15%. Además podemos ver que la máxima resistencia alcanzada fue con el 15% de microsiílice obteniéndose una resistencia promedio de 382.78 kg/cm² y la mínima resistencia fue de 374.08 kg/cm² correspondiente al 7% de microsiílice.



Figura 43. Diagrama comparativo cantidad de microsiílice y resistencias alcanzadas $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$ (Elaboración propia).



CAPITULO 7. ANÁLISIS DE COSTOS

El objetivo de la tesis no es optimizar el costo de producción por metro cubico de los concretos $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ y $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$, si no de llegar con el uso de la microsíllice a los mejores resultados posibles y mejorar la calidad del concreto; sin embargo es necesario presentar el siguiente análisis de costos.

El análisis de costos se realizó para la producción de un metro cubico de concreto, de cada diseño planteado, sin y con microsíllice.

7.1 Diseño patrón $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ (D1 - P).

TESIS: "OPTIMIZACIÓN DE CONCRETOS ESTRUCTURALES F'C=210 kg/cm2 Y F'C=280 kg/cm2, SOBRE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2017"

Partida 01.01.01 CONCRETO PATRÓN F'C=210 KG/CM2 (D1 - P)							
Rendimiento	m3/día		MO. 10.0000	EQ. 10.0000	Costo unitario por: m3		369.84
Código	Descripción de recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra							
147010026	OPERARIO		hh	2.0000	1.6000	11.80	18.88
147010027	OFICIAL		hh	4.0000	1.6000	10.12	16.19
147010028	PEON		hh	8.0000	6.4000	9.10	58.24
							93.31
Materiales							
2050000003	PIEDRA CHANCADA DE 1/2"		m3		0.2718	70.00	19.03
2050000004	ARENA GRUESA		m3		0.3678	70.00	25.75
2050000005	CEMENTO PORTLAND TIPO I		BLS		9.0800	23.50	213.38
2050000006	GASOLINA 84 OCTANOS		gln		0.0500	12.00	0.60
2050000007	AGUA		m3		0.2300	2.50	0.58
							259.33
Equipos							
337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.0000	2.80	2.80
337010002	MEZCLADORA DE CONCRETO 9-11P3		hm	1.0000	0.8000	10.00	8.00
337010003	VIBRADOR DE CONCRETO 4HP		hm	1.0000	0.8000	8.00	6.40
							17.20



7.2 Diseño patrón f'c=218 Kg/cm2 (D2 - P).

TESIS: "OPTIMIZACIÓN DE CONCRETOS ESTRUCTURALES F'C=210 kg/cm2 Y F'C=280 kg/cm2, SOBRE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2017"

Partida 01.01.02 CONCRETO PATRÓN F'C=280 KG/CM2 (D2 - P)

Rendimiento	m3/día	MO. 10.0000	EQ. 10.0000	Costo unitario por: m3		433.99
Código	Descripción de recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra						
147010026	OPERARIO	hh	2.0000	1.6000	11.80	18.88
147010027	OFICIAL	hh	4.0000	1.6000	10.12	16.19
147010028	PEON	hh	8.0000	6.4000	9.10	58.24
						93.31
Materiales						
2050000003	PIEDRA CHANCADA DE 1/2"	m3		0.2840	70.00	19.88
2050000004	ARENA GRUESA	m3		0.2910	70.00	20.37
2050000005	CEMENTO PORTLAND TIPO I	BLS		12.0000	23.50	282.00
2050000006	GASOLINA 84 OCTANOS	gln		0.0500	12.00	0.60
2050000007	AGUA	m3		0.2519	2.50	0.63
						323.48
Equipos						
337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	2.80	2.80
337010002	MEZCLADORA DE CONCRETO 9-11P3	hm	1.0000	0.8000	10.00	8.00
337010003	VIBRADOR DE CONCRETO 4HP	hm	1.0000	0.8000	8.00	6.40
						17.20

7.3 Diseño con Microsilice f'c=210 Kg/cm2 (D1 – 15%M).

TESIS: "OPTIMIZACIÓN DE CONCRETOS ESTRUCTURALES F'C=210 kg/cm2 Y F'C=280 kg/cm2, SOBRE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2017"

Partida 01.01.03 CONCRETO CON MICROSÍLICE F'C=210 KG/CM2 (D1 - 15%M)

Rendimiento	m3/día	MO. 10.0000	EQ. 10.0000	Costo unitario por: m3		429.12
Código	Descripción de recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra						
147010026	OPERARIO	hh	2.0000	1.6000	11.80	18.88
147010027	OFICIAL	hh	4.0000	1.6000	10.12	16.19
147010028	PEON	hh	8.0000	6.4000	9.10	58.24
						93.31
Materiales						
2050000002	ARENA FINA	m3		0.0483	120.00	5.80
2050000003	PIEDRA CHANCADA DE 1/2"	m3		0.4250	70.00	29.75
2050000004	ARENA GRUESA	m3		0.2753	70.00	19.27
2050000005	CEMENTO PORTLAND TIPO I	BLS		4.8000	23.50	112.80
2050000006	MICROSÍLICE SF100	BLS		1.8000	70.00	126.00
2050000006	ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE	kg		2.7200	8.82	23.99
2050000006	GASOLINA 84 OCTANOS	gln		0.0500	12.00	0.60
2050000007	AGUA	m3		0.1622	2.50	0.41
						318.61
Equipos						
337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	2.80	2.80
337010002	MEZCLADORA DE CONCRETO 9-11P3	hm	1.0000	0.8000	10.00	8.00
337010003	VIBRADOR DE CONCRETO 4HP	hm	1.0000	0.8000	8.00	6.40
						17.20



7.4 Diseño con Microsílice f'c=210 Kg/cm2 (D1 – 10%M).

TESIS: "OPTIMIZACIÓN DE CONCRETOS ESTRUCTURALES F'C=210 kg/cm2 Y F'C=280 kg/cm2, SOBRE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2017"

Partida 01.01.04 CONCRETO CON MICROSÍLICE F'C=210 KG/CM2 (D1 - 10%M)

Rendimiento	m3/día	MO. 10.0000	EQ. 10.0000	Costo unitario por: m3		372.30
Código	Descripción de recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra						
147010026	OPERARIO	hh	2.0000	1.6000	11.80	18.88
147010027	OFICIAL	hh	4.0000	1.6000	10.12	16.19
147010028	PEON	hh	8.0000	6.4000	9.10	58.24
						93.31
Materiales						
2050000002	ARENA FINA	m3		0.0522	120.00	6.26
2050000003	PIEDRA CHANCADA DE 1/2"	m3		0.4250	70.00	29.75
2050000004	ARENA GRUESA	m3		0.2753	70.00	19.27
2050000005	CEMENTO PORTLAND TIPO I	BLS		4.8000	23.50	112.80
2050000006	MICROSÍLICE SF100	BLS		1.0200	70.00	71.40
2050000006	ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE	kg		2.0000	8.82	17.64
2050000006	GASOLINA 84 OCTANOS	gln		0.0500	12.00	0.60
2050000007	AGUA	m3		1.6268	2.50	4.07
						261.79
Equipos						
337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	2.80	2.80
337010002	MEZCLADORA DE CONCRETO 9-11P3	hm	1.0000	0.8000	10.00	8.00
337010003	VIBRADOR DE CONCRETO 4HP	hm	1.0000	0.8000	8.00	6.40
						17.20

7.5 Diseño con Microsílice f'c=210 Kg/cm2 (D1 – 7%M).

TESIS: "OPTIMIZACIÓN DE CONCRETOS ESTRUCTURALES F'C=210 kg/cm2 Y F'C=280 kg/cm2, SOBRE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2017"

Partida 01.01.05 CONCRETO CON MICROSÍLICE F'C=210 KG/CM2 (D1 - 7%M)

Rendimiento	m3/día	MO. 10.0000	EQ. 10.0000	Costo unitario por: m3		347.51
Código	Descripción de recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra						
147010026	OPERARIO	hh	2.0000	1.6000	11.80	18.88
147010027	OFICIAL	hh	4.0000	1.6000	10.12	16.19
147010028	PEON	hh	8.0000	6.4000	9.10	58.24
						93.31
Materiales						
2050000002	ARENA FINA	m3		0.0521	120.00	6.25
2050000003	PIEDRA CHANCADA DE 1/2"	m3		0.4246	70.00	29.72
2050000004	ARENA GRUESA	m3		0.2800	70.00	19.60
2050000005	CEMENTO PORTLAND TIPO I	BLS		4.8000	23.50	112.80
2050000006	MICROSÍLICE SF100	BLS		0.7140	70.00	49.98
2050000006	ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE	kg		2.0000	8.82	17.64
2050000006	GASOLINA 84 OCTANOS	gln		0.0500	12.00	0.60
2050000007	AGUA	m3		0.1627	2.50	0.41
						237.00
Equipos						
337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	2.80	2.80
337010002	MEZCLADORA DE CONCRETO 9-11P3	hm	1.0000	0.8000	10.00	8.00
337010003	VIBRADOR DE CONCRETO 4HP	hm	1.0000	0.8000	8.00	6.40
						17.20



7.6 Diseño con Microsílice f'c=280 Kg/cm2 (D2 – 15%M).

TESIS: "OPTIMIZACIÓN DE CONCRETOS ESTRUCTURALES F'C=210 kg/cm2 Y F'C=280 kg/cm2, SOBRE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2017"

Partida 01.01.06 CONCRETO CON MICROSÍLICE F'C=280 KG/CM2 (D2 - 15%M)							
Rendimiento	m3/día		MO. 10.0000	EQ. 10.0000	Costo unitario por: m3		454.09
Código	Descripción de recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra							
147010026	OPERARIO		hh	2.0000	1.6000	11.80	18.88
147010027	OFICIAL		hh	4.0000	1.6000	10.12	16.19
147010028	PEON		hh	8.0000	6.4000	9.10	58.24
							93.31
Materiales							
2050000002	ARENA FINA		m3		0.0601	120.00	7.21
2050000003	PIEDRA CHANCADA DE 1/2"		m3		0.3485	70.00	24.40
2050000004	ARENA GRUESA		m3		0.2949	70.00	20.64
2050000005	CEMENTO PORTLAND TIPO I		BLS		5.8117	23.50	136.57
2050000006	MICROSÍLICE SF100		BLS		1.8525	70.00	129.68
2050000006	ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE		kg		2.7200	8.82	23.99
2050000006	GASOLINA 84 OCTANOS		gln		0.0500	12.00	0.60
2050000007	AGUA		m3		0.1935	2.50	0.48
							343.57
Equipos							
337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.0000	2.80	2.80
337010002	MEZCLADORA DE CONCRETO 9-11P3		hm	1.0000	0.8000	10.00	8.00
337010003	VIBRADOR DE CONCRETO 4HP		hm	1.0000	0.8000	8.00	6.40
							17.20

7.7 Diseño con Microsílice f'c=280 Kg/cm2 (D2 – 10%M).

TESIS: "OPTIMIZACIÓN DE CONCRETOS ESTRUCTURALES F'C=210 kg/cm2 Y F'C=280 kg/cm2, SOBRE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2017"

Partida 01.01.07 CONCRETO CON MICROSÍLICE F'C=280 KG/CM2 (D2 - 10%M)							
Rendimiento	m3/día		MO. 10.0000	EQ. 10.0000	Costo unitario por: m3		411.25
Código	Descripción de recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra							
147010026	OPERARIO		hh	2.0000	1.6000	11.80	18.88
147010027	OFICIAL		hh	4.0000	1.6000	10.12	16.19
147010028	PEON		hh	8.0000	6.4000	9.10	58.24
							93.31
Materiales							
2050000002	ARENA FINA		m3		0.0601	120.00	7.21
2050000003	PIEDRA CHANCADA DE 1/2"		m3		0.3493	70.00	24.45
2050000004	ARENA GRUESA		m3		0.2997	70.00	20.98
2050000005	CEMENTO PORTLAND TIPO I		BLS		5.8117	23.50	136.57
2050000006	MICROSÍLICE SF100		BLS		1.2350	70.00	86.45
2050000006	ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE		kg		2.7200	8.82	23.99
2050000006	GASOLINA 84 OCTANOS		gln		0.0500	12.00	0.60
2050000007	AGUA		m3		0.1938	2.50	0.48
							300.74
Equipos							
337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.0000	2.80	2.80
337010002	MEZCLADORA DE CONCRETO 9-11P3		hm	1.0000	0.8000	10.00	8.00
337010003	VIBRADOR DE CONCRETO 4HP		hm	1.0000	0.8000	8.00	6.40
							17.20



7.8 Diseño con Microsílice $f'c=280\text{ Kg}/\text{cm}^2$ (D2 – 7%M).

TESIS: "OPTIMIZACIÓN DE CONCRETOS ESTRUCTURALES $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ Y $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$, SOBRE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2017"

Partida 01.01.08 CONCRETO CON MICROSÍLICE $f'c=280\text{ KG}/\text{CM}^2$ (D2 - 7%M)

Rendimiento	m3/día	MO. 10.0000	EQ. 10.0000	Costo unitario por: m3	386.48	
Código	Descripción de recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra						
147010026	OPERARIO	hh	2.0000	1.6000	11.80	18.88
147010027	OFICIAL	hh	4.0000	1.6000	10.12	16.19
147010028	PEON	hh	8.0000	6.4000	9.10	58.24
						93.31
Materiales						
2050000002	ARENA FINA	m3		0.0639	120.00	7.67
2050000003	PIEDRA CHANCADA DE 1/2"	m3		0.3493	70.00	24.45
2050000004	ARENA GRUESA	m3		0.2997	70.00	20.98
2050000005	CEMENTO PORTLAND TIPO I	BLS		5.8117	23.50	136.57
2050000006	MICROSÍLICE SF100	BLS		0.8645	70.00	60.52
2050000006	ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE	kg		2.8000	8.82	24.70
2050000006	GASOLINA 84 OCTANOS	gln		0.0500	12.00	0.60
2050000007	AGUA	m3		0.1941	2.50	0.49
						275.97
Equipos						
337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	2.80	2.80
337010002	MEZCLADORA DE CONCRETO 9-11P3	hm	1.0000	0.8000	10.00	8.00
337010003	VIBRADOR DE CONCRETO 4HP	hm	1.0000	0.8000	8.00	6.40
						17.20

Es necesario precisar, que los costos unitarios de los insumos mostrados, se adoptaron de la región, para obtener un costo unitario por producción de metro cubico de concreto, más ajustado a la realidad de la zona. Además los rendimientos se consideraron de acuerdo al manual de Capecco.

Las cantidades de los insumos que se consideran en los APUS, corresponden a los diseños de análisis, expuestos líneas arriba.

7.9 Resumen comparativo de Costos.

Costos para un metro cubico de concreto estructural, de una resistencia a la compresión de $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$.

Tabla 42

Costo de producción de 1m^3 , $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$.

$f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$	
Mezclas de Análisis	Costo en soles para 1 m3
D1 – P	S/. 369.84
D1 – 15% M (85%P+15%H)	S/. 429.12
D1 – 10% M (85%P+15%H)	S/. 372.30

D1 – 7%M (85%P+15%H)

S/. 347.51

Fuente: Elaboración propia.

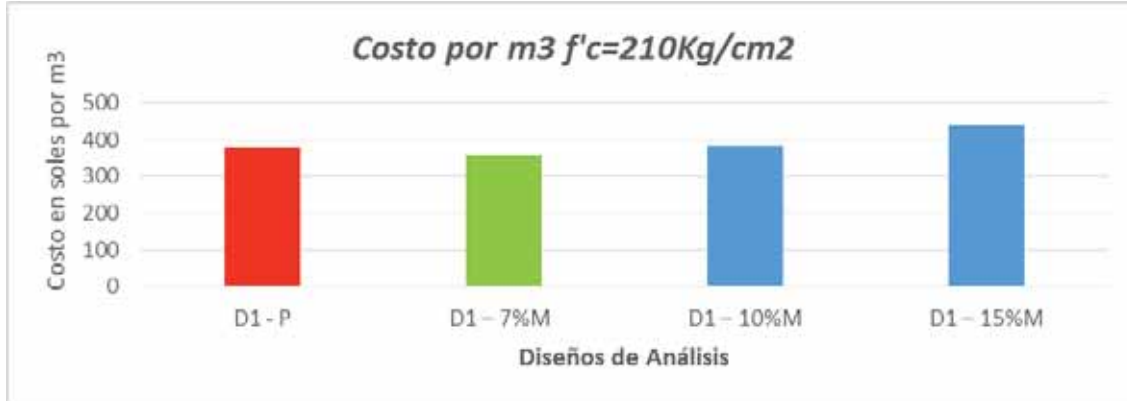


Figura 44. Diagrama comparativo de costos de producción $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}2$.

Costos para un metro cubico de concreto estructural, de una resistencia a la compresión de $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}2$.

Tabla 43

Costo de producción de $1\text{m}3$, $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}2$.

$f'c=280\text{ kg}/\text{cm}2$	
Mezclas de Análisis	Costo en soles para 1 m3
D2 – P	S/. 433.99
D2 – 15%M (83%P+17%H)	S/. 454.09
D2 – 10%M (83%P+17%H)	S/. 411.21
D2 – 7%M (83%P+17%H)	S/. 386.48

Fuente: Elaboración propia.

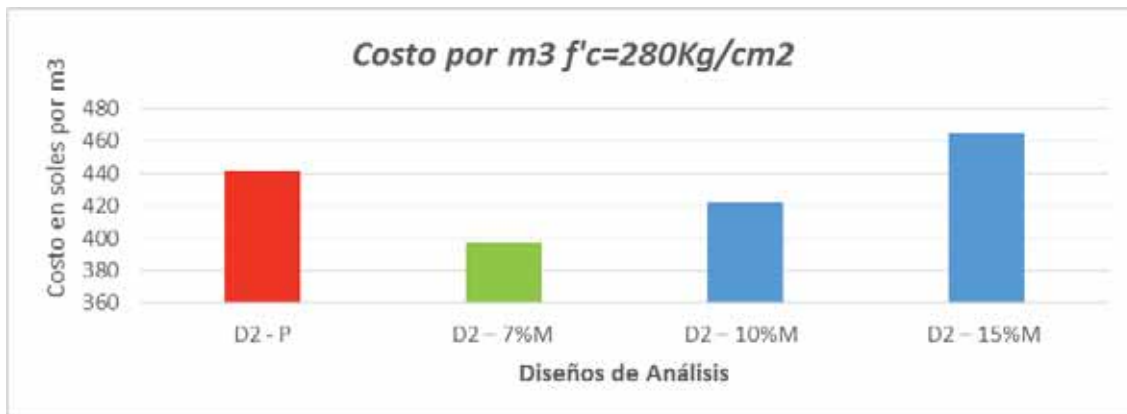


Figura 45. Diagrama comparativo de costos de producción $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}2$.



CAPITULO 8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez realizados todos los ensayos correspondientes a los agregados que componen los diferentes diseños de mezcla expuestos en esta investigación y habiendo realizado los ensayos mecánicos a los testigos cilíndricos de concreto optimizados con adición de microsíllice se concluye:

8.1 Conclusión General.

La cantidad optima necesaria de microsíllice en reemplazo de cemento para obtener un concreto $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ es del 7% en peso de la cantidad de cemento que componen el diseño de mezcla, presentando un valor de revenimiento de (5.3cm) y un valor de resistencia a la compresión axial simple (317.03 kg/cm^2), así mismo la cantidad de microsíllice para un diseño $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$ es también del 7% en peso del cemento, presentando un valor de revenimiento de (13.7cm) y un valor de resistencia a la compresión axial simple (374.08 kg/cm^2), es importante mencionar que ambos diseños superan el valor de resistencia promedio de diseño $f'cr$.

8.2 Conclusiones Específicas.

1. Teniendo en cuenta que la cantidad de microsíllice optima en reemplazo de cemento es del 7% para ambos diseños, la cantidad de cemento reemplazada por microsíllice para el diseño $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ es de 182 kg/m^3 lo que equivale a reducir 4.28 bolsas de cemento al diseño de mezcla de los concretos utilizados en nuestra región, así mismo la cantidad de cemento reemplazada por microsíllice para un diseño $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$ es de 263 kg/m^3 lo que equivale a reducir 6.19 bolsas de cemento.

2. La relación agua/cemento y la relación agua/material cementante, para los diseños con microsíllice no siguen los criterios de la tabla 12 del comité 211.1 del ACI, debido a que las resistencias alcanzadas son considerablemente grandes en comparación con las obtenidas por los diseños patrones y las relaciones agua/ material cementante son elevadas, por consiguiente no se deberá asumir este dato como un indicador importante ya que su valor dependerá en gran medida de la cantidad de cemento que se desee reducir, obteniéndose para reducciones de cemento pequeñas, valores de relación agua/material cementante próximos a los valores



recomendados por las tablas del ACI. Mientras que si efectuaran reducciones de cemento grandes ocurría lo contrario obteniéndose valores de relación agua/material cementante bastante alejados de los criterios establecidos por las tablas del ACI.

3. La adición de microsilíce al 10% en reemplazo de cemento tiene un impacto beneficioso para la resistencia mecánica de los concretos $f'c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$, debido a que dicha cantidad permite sobrepasar las resistencias de diseño estipuladas, alcanzándose resistencias a compresión simple de $321.10\text{ kg}/\text{cm}^2$ y $375.14\text{ kg}/\text{cm}^2$ respectivamente, así mismo los revenimientos obtenidos 8.2cm y 8cm respectivamente con dicho porcentaje superan los mínimos requeridos para mezclas plásticas ($3''$) para columnas y vigas, dicho porcentaje permite una reducción de cemento de 4.28 y 6.19 bolsas de cemento para cada caso.

4. Con el 15% de microsilíce en reemplazo de cemento se pudo alcanzar las mayores resistencias a compresión simple para cada diseño $f'c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{kg}/\text{cm}^2$, alcanzándose resistencias de $339.49\text{ kg}/\text{cm}^2$ y $382.78\text{ kg}/\text{cm}^2$ respectivamente, los revenimientos obtenidos fueron 10cm y 11.9cm para cada caso, superando los mínimos requeridos para mezclas plásticas ($3''$), la recaudación de cemento para cada caso es la misma obtenida que en los diseños con porcentajes de microsilíce de 7% y 10%.

8.3 Desventajas del uso de la microsilíce.

- ✓ Al reducirse la cantidad de pasta en el diseño de estos concretos se debe cuidar que los agregados utilizados en la mezcla estén limpios de impurezas y de limos, pues la presencia de dichas impurezas y limos, hacen que se requiera una mayor cantidad de pasta para satisfacer la superficie específica de dichas partículas.
- ✓ La cantidad de agregado grueso utilizado en la mezcla es aproximadamente un 80% a 85% del volumen total de los agregados pétreos, lo cual genera que el peso unitario de dichos concreto se incremente.
- ✓ La utilización de una gran cantidad de agregado grueso en la mezcla dificulta el vibrado en la colocación de estos concretos.



- ✓ Al ser un material más reactivo que el cemento, requiere mano calificada para la elaboración de los concretos en análisis.

8.4 Recomendaciones.

- ✓ Se recomienda el buen almacenamiento de los agregados, para no alterar su contenido de humedad, se deberá procurar mantener el contenido de humedad del diseño, esta influye en la cantidad de agua que se agregara a la mezcla, y por tanto en las características de trabajabilidad.
- ✓ De la investigación y de la bibliografía existente, se recomienda trabajar con cemento portland tipo I, para los diseños en análisis que contengan microsíllice; el cemento portland es más puro que un cemento puzolánico, y se asegura de mejor manera la ración química cemento – microsíllice.
- ✓ La microsíllice es un compuesto altamente reactivo, por lo que se recomienda su uso, con las medidas de protección adecuadas como el uso de Epp's, para el personal que va a manipular.
- ✓ Se recomienda el uso de todos los agregados usados en la investigación, que a pesar que sus curvas granulométricas no están dentro de los límites, con ellas se alcanzan resistencias deseadas. Tal y como indica la norma, que se permite el uso siempre y cuando existan investigaciones que aseguren que el material producirá resistencias a satisfacción de las partes.
- ✓ De los agregados, tales como las arenas, se recomienda usarlas limpias de impurezas y limos, deben cumplir con lo establecido en el ensayo, sobre cantidad de finos que pasan el tamiz n°200. Deberán tener resultados de este ensayo, menores al 3%.



CAPITULO 9. IMPLICANCIAS PARA FUTURAS INVESTIGACIONES

En cuanto al uso de la microsílice es la primera vez que se le da un enfoque distinto a la utilización de esta adición mineral, debido a lo cual esta forma de utilizarla abre la posibilidad de realizar futuras investigaciones relacionadas con el tema y que permitan darle una mayor aplicabilidad al uso de estos concretos.

1. Determinar el calor de hidratación para mezclas optimizadas con microsílice en diferentes porcentajes y q contengan menor cantidad de bolsas de cemento.
2. Determinación del módulo de elasticidad para mezclas optimizadas con microsílice en diferentes porcentajes.
3. Determinar el coeficiente de Poisson para mezclas optimizadas con microsílice en diferentes porcentajes.
4. Determinar el fisuramiento en losas de entrepiso vaciadas con mezclas optimizadas con microsílice en diferentes porcentajes.
5. Realizar investigaciones sobre la influencia económica de este material en la aplicación a obras reales.
6. Determinar la influencia en el flujo plástico en elementos estructurales.
7. Estudios sobre la reducción significativa de la permeabilidad con estos concretos, si reducen la contaminación con agentes químicos como cloruros, sulfatos que corroen el acero de refuerzo.
8. Al alcanzar resistencias altas con la adición de microsílice, podría evaluarse la reducción de la sección y esbeltez de los elementos estructurales.
9. Variación de la resistencia a la flexión y su influencia en la aplicación de pavimentos, ya que estos elementos estructurales trabajan a flexión.



GLOSARIO DE TÉRMINOS

- ✓ Optimización – *optimization*, *buscar la mejor de realizar una actividad.*
- ✓ Concreto – *concrete*, *material compuesto que consiste esencialmente en un medio ligante dentro del cual hay partículas de agregados, generalmente una combinación de agregado grueso y fino, el ligante es una mezcla de cemento portland y agua. En su estado endurecido presenta buenas propiedades aislantes y de resistencia.*
- ✓ Aditivo – *addition* también *additive*, material que se mezcla con el concreto en cantidades limitadas, ya sea como aditivo de procesamiento, para facilitar la fabricación o manipuleo o como aditivo funcional, para modificar las propiedades del material resultante.
- ✓ Aditivo Super Plastificante, es un aditivo que, sin modificar la consistencia, permite reducir fuertemente el contenido en agua de un determinado hormigón, o que, sin modificar el contenido en agua, aumenta considerablemente el asiento, o ambos efectos a la vez.
- ✓ Agregado bien graduado – *well graded aggregate*, agregado cuya distribución de partículas produce una densidad máxima, reduce los vacíos.
- ✓ Asentamiento – *Slump*, medida de la consistencia del concreto en estado fresco, con el uso del cono de Abrams.
- ✓ Cemento portland tipo I – *ordinary portland cement*, es un cemento de uso general en la construcción, que se emplea en obras que no requieren propiedades especiales. El cemento portland Tipo I se fabrica mediante la molienda conjunta de Clinker Tipo I y yeso, que brindan mayor resistencia inicial y menores tiempos de fraguado.



- ✓ Contenido de pasta – *paste content*, volumen proporcional de pasta cementicia en un mortero, hormigón o mezcla similar, expresado en porcentaje o volumen.
- ✓ Control de calidad – *quality control*, acciones que toma un fabricante o contratista para implementar un control sobre lo que se fabrica de manera de seguir las normas.
- ✓ Curado – *curing*, mantenimiento d un contenido de humedad y una temperatura satisfactorios en el hormigón, durante sus edades tempranas, de manera que se puedan desarrollar sus propiedades deseadas.
- ✓ Superficie específica – *specific surface*, área superficial de las partículas o de los vacíos de aire contenido en una masa unitaria o volumen unitario de hormigón.
- ✓ Módulo de fineza – *fineness modulus*, factor que se obtiene sumando los pesos retenidos totales, de la muestra en los tamices descritos en la norma.
- ✓ Exudación – *exudation*, *flujo autógeno de agua de amasado dentro del hormigón fresco, es provocado por la sedimentación de los materiales solidos dentro de la masa.*

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI 211.1. (1997). *Standar practice for selecting proportions for normal heavyweight and mass concrete*. USA.
- ACI 216. (2015). *Terminología del cemento y el hormigón*. USA.
- Agramonte y Ttito. (2018). *Obtención de las propiedades físicas y mecánicas de un concreto de ultra alto desempeño, reforzado con fibras de acero (UHPFRC) para diseño estructural, elaborado y ensayado con medios y materiales del Cusco-2017*. Cusco.
- ASTM C 1240. (2007). *Standard especification for silica fume used in cimentitious mixtures*. USA.
- ASTM C 143. (2007). *Standard test method for slump of hydraulic-cement concrete* . USA.
- ASTM C 150. (2007). *Standard especification for portland cement*. USA.
- ASTM C 192. (2007). *Standard practice for Making and curing concrete test specimens in the laboratory*. USA.
- ASTM C 33. (1994). *Standard especification for concrete aggregates*. USA.
- ASTM C 39/C 39M. (2007). *Standard test method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. USA.
- MTC E - 201. (2006). *Muestreo para materiales de construcción*. Lima: Estado Peruano.
- MTC E - 202. (2006). *Cantidad de material fino que pasa el tamiz N°200 por lavado*. Lima: Estado Peruano.
- MTC E - 203. (2006). *Peso Unitario y vacio de los agregados*. Lima: Estado Peruano.
- MTC E - 204. (2006). *Análisis granulometrico de agregados gruesos y finos* . Lima: Estado Peruano.
- MTC E - 205. (2006). *Gravedad específica y Absorción de agregados finos*. Lima: Estado Peruano.



MTC E - 206. (2006). *Peso específico y Absorción de agregados gruesos*. Lima: Estado Peruano.

MTC E - 702. (2006). *Elaboración y curado de especímenes de hormigón (concreto) en el laboratorio*. Lima: Estado Peruano.

MTC E - 705. (2006). *Asentamiento del concreto (Slump)*. Lima: Estado Peruano.

MTC E . 704. (2006). *Resistencia a la compresión de testigos cilindricos* . Lima: Estado Peruano.

NTP 344.009. (2005). *cemento portland. Requisitos*. Lima: INDECOPI.

Palma y Rosas. (2012). *Diseño de mezclas con los diferentes agregados utilizados en la ciudad del Cusco*. Cusco.

Pasquel, E. (1992 - 1993). *Tópicos de tecnología del concreto*. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú.

Pérez y Romero. (s.f.). *Diseño de mezclas de concretos de alta resistencia*. Cusco.

Portugal, P. (2007). *Tecnología del concreto de alto desempeño - High performance concrete*

Riva, E. (2000). *Naturaleza y materiales del concreto*. Lima.

Rivva, E. (2002). *Concretos de alta resistencia*. Lima: Instituto de la construcción y gerencia.

Torre, A. (2004). *Curso básico de tecnología del concreto*. Lima.



ANEXO A: RESULTADOS DE ENSAYOS A LOS ÁRIDOS

ANEXO A.1: Ensayos al agregado grueso.

A.1.1. Contenido de humedad.

Proyecto:	"TESIS OPTIMIZACION DE CONCRETO CON MICROSILICE"		
Ubicación:	UNSAAC		
Solicita:	UNSAAC	Agregado:	Grueso
Fecha:	martes, 13 de marzo de 2018	Cantera:	Huambutio
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO			
MTC E 108 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-2216			
Descripción	Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N° 03
Peso de Capsula (gr)	306.16	306.16	306.16
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	806.66	806.66	806.66
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	803.46	803.46	803.46
Peso del Agua (gr)	3.20	3.20	3.20
Peso de la Muestra Seca (gr)	497.30	497.30	497.30
Contenido de Humedad	0.64%	0.64%	0.64%
<p style="text-align: center;">CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO</p> <p style="text-align: center;">CONTENIDO DE HUMEDAD</p> <p style="text-align: center;">MUESTRAS</p> <p style="text-align: center;">Muestra N° 01 Muestra N° 02 Muestra N° 03 PROMEDIO</p>			
CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 0.64%			



A.1.2. Cantidad de material fino que pasa el tamiz n° 200.

Proyecto:	"TESIS OPTIMIZACION DE CONCRETO CON MICROSILICE"		
Ubicación:	UNSAAC		
Solicita:	UNSAAC	Agregado:	Grueso
Fecha:	martes, 13 de marzo de 2018	Cantera:	Huambutio
CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ N° 200			
MTC E 202 - 2000, Basado en la Norma ASTM C-117 y AASHTO T-11			
DATOS DEL LAVADO DE LA MUESTRA			
Peso de la Muestra Seca Antes del Lavado (gr) =		4771.0	
Peso de la Muestra Seca Después del Lavado (gr) =		4713.72	
Peso del Residuo Filtrado Seco (gr) =		57.3	
MATERIAL MAS FINO QUE EL TAMIZ N° 200			
Material que pasa el tamiz N° 200 (gr) =		57.28	
Porcentaje de material fino que pasa el tamiz N° 200 =		1.20%	
Fracciones Gruesa y Fina de la Muestra			
Fracción Fina (Pasa el Tamiz N° 200) =		1.20%	
Fracción Gruesa (Retiene el Tamiz N° 200) =		98.80%	
Total:		100.00%	
<p>CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ N° 200</p>			
MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ N° 200 = 1.20%			



A.1.3. Análisis granulométrico.

Proyecto:	"TESIS OPTIMIZACION DE CONCRETO CON MICROSILICE"						
Ubicación:	UNSAAC						
Solicita:	UNSAAC					Agregado:	Grueso
Fecha:	martes, 13 de marzo de 2018					Cantera:	Huambutu final
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO							
MTC E 204 - 2000, Basado en la Norma ASTM C-136 y AASHTO T-27							
Datos del lavado de la Muestra							
Antes del Lavado - Peso de la Muestra Seca = 1123.67 gr						Cumple Máx.0.30 % Si	
Después del Lavado - Peso de la Muestra Seca = 1123.67 gr							
Cálculo del % de Error en Peso = 0.06%							
Tamiz N°	Abertura del Tamiz (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% que pasa	Huso Granulométrico	
						Limite Inferior	Limite Superior
4"	100	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
3½"	90	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
3"	75	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
2½"	63	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
2"	50	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
1½"	37.5	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
1"	25	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
¾"	19	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	90%	100%
½"	12.5	469.71	41.80%	41.80%	58.20%	20%	55%
3/8"	9.5	173.36	15.43%	57.23%	42.77%	0%	15%
N° 4	4.75	358.48	31.90%	89.13%	10.87%	0%	5%
N° 8	2.36	52.66	4.69%	93.82%	6.18%		
N° 16	1.18	13.73	1.22%	95.04%	4.96%		
N° 50	0.30	13.10	1.17%	96.21%	3.79%		
Bandeja		42.00	3.74%	99.94%			
acción Retenida en Lavado =		1123.04	99.94%				
Fraciones de Grava, Arena y Finos de la Muestra							
% de grava (Retiene Tamiz N° 4) = 89.13%							
% de arena (Pasa N° 4 y Ret. N° 200) = 10.81%							
% de finos (Pasa Tamiz N° 200) = 1.20%						Huso Granulométrico:	
Total: 101.20%						6	
CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO							
$MF = \sum \% \text{ RETENIDO ACUMULADO } (3", 1\frac{1}{2}", 3/4", 3/8", N^{\circ} 4, N^{\circ} 8, N^{\circ} 16, N^{\circ} 30, N^{\circ} 50, N^{\circ} 100)$							
MÓDULO DE FINEZA = 6.26							
Tamaño Máximo Absoluto = ¾"				Tamaño Máximo Nominal = ½"			



A.1.4. Peso específico.

Proyecto: "TESIS OPTIMIZACION DE CONCRETO CON MICROSILICE"			
Ubicación: UNSAAC			
Solicita: UNSAAC		Agregado: Grueso	
Fecha: martes, 13 de marzo de 2018		Cantera: Huambutio	
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO			
MTC E 206 - 2000, Basado en la Norma ASTM C-127 y AASHTO T-85			
Descripción		Muestra N° 01	Muestra N° 02
Peso en el aire de la Muestra Seca (gr)		526.78	526.78
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca (gr)		530.70	530.70
Peso de la Muestra Sumergida en la Balanza de Flotabilidad (gr)		329.18	329.18
Peso del Agua Absorbida (gr)		3.92	3.92
Peso Específico Aparente (gr/cm ³)		2.614	2.614
Peso Específico Aparente Saturado con superficie seca (gr/cm ³)		2.633	2.633
Peso Específico Nominal (gr/cm ³)		2.666	2.666
Cálculo del % de Error		%	Cumple máx. 2 %
Cálculo del % de Error		0.00%	SI!
PESO ESPECÍFICO APARENTE SSS = 2.63 gr/cm³			



A.1.5. Capacidad de absorción.

Proyecto:	"TESIS OPTIMIZACION DE CONCRETO CON MICROSLICE"		
Ubicación:	UNSAAC		
Solicita:	UNSAAC	Agregado:	Grueso
Fecha:	martes, 13 de marzo de 2018	Cantera:	Ayrampu Chupa M
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO			
MTC E 205 - 2000, Basado en la Norma ASTM C-128 y AASHTO T-84			
DATOS DEL ENSAYO		MUESTRA 01	MUESTRA 02
Número de la Probeta		1	2
Volumen del Probeta (ml)		500	500
Peso de la Probeta (gr)		656.1	656.1
Peso de la Muestra Seca (gr)		526.78	526.78
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca		530.70	530.70
Peso del Agua Absorbida (gr)		3.92	3.92
Capacidad de Absorción		0.74%	0.74%
Cálculo del % de Error		%	Cumple máx. 3 %
Absorción		0.0%	Si!
<p style="text-align: center;">CAPACIDAD DE ABSORCIÓN</p> <p style="text-align: center;">MUESTRAS</p>			
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN = 0.74%			



A.1.6. Peso unitario suelto.

Proyecto:	"TESIS OPTIMIZACION DE CONCRETO CON MICROSILICE"		
Ubicación:	UNSAAC		
Solicita:	UNSAAC	Agregado:	Grueso
Fecha:	martes, 13 de marzo de 2018	Cantera:	Huambutio
PESO UNITARIO Y VACÍOS DEL AGREGADO GRUESO			
MTC E 203 - 2000, Basado en la Norma ASTM C-29			
Descripción	Muestra N° 01	Muestra N° 02	
Número de Molde	B-1	B-1	
Peso del Molde (gr)	6560.00	6560.00	
Peso del Molde + Muestra Suelta (gr)	9624.00	9630.00	
Peso de la Muestra Suelta (gr)	3064.00	3070.00	
Volumen del Molde (cm3)	2084.99	2084.99	
Peso Unitario Suelto (gr/cm3)	1.470	1.472	
Peso Especifico Aparente (kg/m3)	2595.17	2595.17	
Peso Unitario Suelto (kg/m3)	1469.55	1472.43	
Porcentaje de Vacios	43.37%	43.26%	
Cálculo del % de Error		%	Cumple máx. 2 %
Peso Unitario Suelto		0.20%	Si!
Porcentaje de Vacios		0.26%	Si!
<p>PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO</p>			
<p>PORCENTAJE DE VACIOS DEL AGREGADO GRUESO</p>			
<p>PESO UNITARIO SUELTO = 1470.99 kg/m3 PORCENTAJE DE VACIOS = 43.32%</p>			



A.1.7. Peso unitario compactado.

Proyecto:	"TESIS OPTIMIZACION DE CONCRETO CON MICROSILICE"										
Ubicación:	UNSAAC										
Solicita:	UNSAAC	Agregado:	Grueso								
Fecha:	martes, 13 de marzo de 2018	Cantera:	Huambutio								
PESO UNITARIO VARILLADO Y VACÍOS DEL AGREGADO GRUESO											
MTC E 203 - 2000, Basado en la Norma ASTM C-29											
DATOS DEL ENSAYO		MUESTRA 01	MUESTRA 02								
Número de Capas		3	3								
Número de Golpes		25	25								
Número de Molde		P-6	P-6								
Peso del Molde (gr)		6560.00	6560.00								
Peso del Molde + Muestra Varillada (gr)		9930.00	9948.00								
Peso de la Muestra Varillada (gr)		3370.00	3388.00								
Volumen del Molde (cm ³)		2084.99	2084.99								
Peso Unitario Varillado (gr/cm ³)		1.616	1.625								
Peso Especifico Aparente (kg/m ³)		2595.17	2595.17								
Peso Unitario Varillado (kg/m ³)		1616.31	1624.95								
Porcentaje de Vacios		37.72%	37.39%								
Cálculo del % de Error		%	Cumple máx. 2 %								
Peso Unitario Varillado		0.53%	Si!								
Porcentaje de Vacios		0.89%	Si!								
PESO UNITARIO VARILLADO DEL AGREGADO GRUESO											
<table border="1"> <caption>Peso Unitario Varillado del Agregado Grueso</caption> <thead> <tr> <th>Muestra</th> <th>Peso Unitario (gr/cm³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MUESTRA 01</td> <td>1616.31</td> </tr> <tr> <td>MUESTRA 02</td> <td>1624.95</td> </tr> <tr> <td>PROMEDIO</td> <td>1620.63</td> </tr> </tbody> </table>				Muestra	Peso Unitario (gr/cm ³)	MUESTRA 01	1616.31	MUESTRA 02	1624.95	PROMEDIO	1620.63
Muestra	Peso Unitario (gr/cm ³)										
MUESTRA 01	1616.31										
MUESTRA 02	1624.95										
PROMEDIO	1620.63										
PORCENTAJE DE VACIOS DEL AGREGADO GRUESO											
<table border="1"> <caption>Porcentaje de Vacios del Agregado Grueso</caption> <thead> <tr> <th>Muestra</th> <th>Porcentaje de Vacios</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MUESTRA 01</td> <td>37.72%</td> </tr> <tr> <td>MUESTRA 02</td> <td>37.39%</td> </tr> <tr> <td>PROMEDIO</td> <td>37.55%</td> </tr> </tbody> </table>				Muestra	Porcentaje de Vacios	MUESTRA 01	37.72%	MUESTRA 02	37.39%	PROMEDIO	37.55%
Muestra	Porcentaje de Vacios										
MUESTRA 01	37.72%										
MUESTRA 02	37.39%										
PROMEDIO	37.55%										
PESO UNITARIO VARILLADO = 1620.63 kg/m³											
PORCENTAJE DE VACIOS = 37.55%											



ANEXO A.2: Ensayos a la arena gruesa.

A.2.1. Contenido de humedad.

Proyecto:	"TESIS OPTIMIZACION DE CONCRETO CON MICROSILICE"		
Ubicación:	UNSAAC		
Solicita:	UNSAAC	Agregado:	Fino
Fecha:	martes, 13 de marzo de 2018		Cantera:
			Huambutio
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA ARENA GRUESA			
MTC E 108 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-2216			
Descripción	Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N° 03
Peso de Capsula (gr)	353.90	353.90	353.90
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	854.73	854.73	854.73
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	850.74	850.74	850.74
Peso del Agua (gr)	3.99	3.99	3.99
Peso de la Muestra Seca (gr)	496.84	496.84	496.84
Contenido de Humedad	0.80%	0.80%	0.80%
<p style="text-align: center;">CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO FINO</p> <p style="text-align: center;">CONTENIDO DE HUMEDAD</p> <p style="text-align: center;">MUESTRAS</p>			
CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 0.80%			



A.2.2. Cantidad de material fino que pasa el tamiz n° 200.

Proyecto:	"TESIS OPTIMIZACION DE CONCRETO CON MICROSIlice"		
Ubicación:	UNSAAC		
Solicita:	UNSAAC	Agregado:	Fino
Fecha:	martes, 13 de marzo de 2018	Cantera:	Huambutio
CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ N° 200			
MTC E 202 - 2000, Basado en la Norma ASTM C-117 y AASHTO T-11			
DATOS DEL LAVADO DE LA MUESTRA			
Peso de la Muestra Seca Antes del Lavado (gr) =		1273.00	
Peso de la Muestra Seca Después del Lavado (gr) =		1256.00	
Peso del Residuo Filtrado Seco (gr) =		17.00	
MATERIAL MAS FINO QUE EL TAMIZ N° 200			
Material que pasa el tamiz N° 200 (gr) =		17.00	
Porcentaje de material fino que pasa el tamiz N° 200 =		1.34%	
Fracciones Gruesa y Fina de la Muestra			
Fracción Fina (Pasa el Tamiz N° 200) =		1.34%	
Fracción Gruesa (Retiene el Tamiz N° 200) =		98.66%	
Total:		100.00%	
<p>CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ N° 200</p>			
MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ N° 200 = 1.34%			



A.2.3. Análisis granulométrico.

Proyecto:	"TESIS OPTIMIZACION DE CONCRETO CON MICROSILICE"						
Ubicación:	UNSAAC						
Solicita:	UNSAAC				Agregado:	Fino	
Fecha:	martes, 22 de mayo del 2018				Cantera:	Huambutio Final	
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA ARENA GRUESA							
MTC E 204 - 2000, Basado en la Norma ASIM C-136 y AASHTO T-27							
Datos del lavado de la Muestra							
Antes del Lavado - Peso de la Muestra Seca = 1334.57 gr							
Después del Lavado - Peso de la Muestra Seca = 1334.57 gr							
Cálculo del % de Error en Peso = 0.10%							
Cumple Máx. 0.30 % Si							
Granulometría de la Muestra							
Tamiz N°	Abertura del Tamiz (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% que pasa	Huso Granulométrico	
						Limite Inferior	Limite Superior
3/8"	9.5	97.22	7.29%	7.29%	92.71%	100%	100%
N° 4	4.75	236.8	17.76%	25.05%	74.95%	95%	100%
N° 8	2.36	153.3	11.50%	36.55%	63.45%	80%	100%
N° 16	1.18	132.8	9.96%	46.51%	53.49%	50%	85%
N° 30	0.600	223.8	16.78%	63.29%	36.71%	25%	60%
N° 50	0.300	302.2	22.66%	85.95%	14.05%	10%	30%
N° 100	0.150	126.8	9.51%	95.46%	4.54%	2%	10%
Bandeja		60.5	4.54%	100.00%			
Total de la muestra retenida =		1333.3	100.00%				
Fracciones de Grava, Arena y Finos de la Muestra							
% de grava (Retenido en el Tamiz N° 4) = 25.05%							
% de arena (Pasa el tamiz N° 4 y Ret. N° 100) = 70.41%							
% de finos (Pasa el Tamiz N° 100) = 5.87%							
Total: 101.4%							
GRADACIÓN GRANULOMÉTRICA ARENA GRUESA							
$MF = \sum \% \text{ RETENIDO ACUMULADO (3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100)}$							
MÓDULO DE FINURA = 3.60							
Observaciones: Es una ARENA GRUESA, por lo que debe ser mezclada con una ARENA FINA							
El Módulo de Fineza recomendable estará entre 2.3 y 3.1							



A.2.4. Peso específico.

# ¿NOMBRE?			
Proyecto:	"TESIS OPTIMIZACION DE CONCRETO CON MICROSIlice"		
Ubicación:	UNSAAC		
Solicita:	UNSAAC	Agregado:	Fino
Fecha:	martes, 13 de marzo de 2018	Cantera:	Ayrampu Chupa Molino Pampa
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LA ARENA GRUESA			
MTC E 205 - 2000, Basado en la Norma ASTM C-128 y AASHTO T-84			
Descripción	Muestra N° 01	Muestra N° 02	
Recipiente de Saturación	3	4	
Volumen del Recipiente (ml)	500	500	
Peso del Recipiente (gr)	186.8	186.8	
Peso en el aire de la Muestra Seca (gr)	246.51	246.51	
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca (gr)	250.78	250.78	
Peso del picnómetro o matraz aforado lleno de agua (gr)	685.80	685.80	
Peso total del picnómetro o matraz aforado con la muestra y lleno de agua	841.75	841.75	
Peso del Agua Absorbida (gr)	4.27	4.27	
Peso Especifico Aparente (gr/cm3)	2.599	2.599	
Peso Especifico Aparente Saturado con superficie seca (gr/cm3)	2.645	2.645	
Peso Especifico Nominal (gr/cm3)	2.722	2.722	
Cálculo del % de Error		%	Cumple máx. 2 %
Peso Especifico		0.00%	SI!
PESO ESPECÍFICO APARENTE SSS = 2.64 gr/cm3			



A.2.5. Capacidad de absorción.

Proyecto:	"TESIS OPTIMIZACION DE CONCRETO CON MICROSILICE"		
Ubicación:	UNSAAC		
Solicita:	UNSAAC	Agregado:	Fino
Fecha:	martes, 13 de marzo de 2018	Cantera:	Huambutio
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN			
MTC E 205 - 2000, Basado en la Norma ASTM C-128 y AASHTO T-84			
DATOS DEL ENSAYO		MUESTRA 01	MUESTRA 02
Número de Picnómetro		1	2
Volumen del Picnómetro (ml)		500	500
Peso del Picnómetro (gr)		186.8	186.8
Peso de la Muestra Seca (gr)		246.51	246.51
Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca (gr)		250.78	250.78
Peso del Agua Absorbida (gr)		4.27	4.27
Capacidad de Absorción		1.73%	1.73%
Cálculo del % de Error		%	Cumple máx. 2 %
Peso Especifico		0.00%	Si!
<p style="text-align: center;">CAPACIDAD DE ABSORCIÓN</p> <p style="text-align: center;">CAPACIDAD DE ABSORCIÓN</p> <p style="text-align: center;">4.00%</p> <p style="text-align: center;">3.50%</p> <p style="text-align: center;">3.00%</p> <p style="text-align: center;">2.50%</p> <p style="text-align: center;">2.00%</p> <p style="text-align: center;">1.73%</p> <p style="text-align: center;">1.73%</p> <p style="text-align: center;">1.73%</p> <p style="text-align: center;">MUESTRA 01 MUESTRA 02 PROMEDIO</p> <p style="text-align: center;">MUESTRAS</p>			
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN = 1.73%			



A.2.6. Peso unitario suelto.

Proyecto:	"TESIS OPTIMIZACION DE CONCRETO CON MICROSILICE"		
Ubicación:	UNSAAC		
Solicita:	UNSAAC	Agregado:	Fino
Fecha:	martes, 13 de marzo de 2018		Cantera:
			HUAMBUTIO
PESO UNITARIO Y VACÍOS DE LA ARENA GRUESA			
MTC E 203 - 2000, Basado en la Norma ASTM C-29			
Descripción	Muestra N° 01	Muestra N° 02	
Número de Molde	P-1	P-1	
Peso del Molde (gr)	5600.00	5600.00	
Peso del Molde + Muestra Suelta (gr)	8525.00	8569.00	
Peso de la Muestra Suelta (gr)	2925.00	2969.00	
Volumen del Molde (cm ³)	2191.85	2191.85	
Peso Unitario Suelto (gr/cm ³)	1.334	1.355	
Peso Especifico Aparente (kg/m ³)	2605.5	2605.5	
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1334.5	1354.6	
Porcentaje de Vacios	48.78%	48.01%	
Cálculo del % de Error		%	Cumple máx. 2 %
Peso Unitario Suelto		1.50%	Si!
Porcentaje de Vacios		1.60%	Si!
<p>PESO UNITARIO SUELTO DE LA ARENA GRUESA</p>			
<p>PORCENTAJE DE VACIOS DE LA ARENA GRUESA</p>			
<p>PESO UNITARIO SUELTO = 1344.5 kg/m³ PORCENTAJE DE VACIOS = 48.40%</p>			



A.2.7. Peso unitario compactado.

Proyecto:	"TESIS OPTIMIZACION DE CONCRETO CON MICROSILICE"		
Ubicación:	UNSAAC		
Solicita:	UNSAAC	Agregado:	Fino
Fecha:	martes, 13 de marzo de 2018	Cantera:	HUAMBUTIO
PESO UNITARIO VARILLADO Y VACÍOS DE LA ARENA GRUESA			
MIC E 203 - 2000, Basado en la Norma ASTM C-29			
DATOS DEL ENSAYO		MUESTRA 01	MUESTRA 02
Número de Capas		3	3
Número de Golpes		25	25
Número de Molde		P-1	P-1
Peso del Molde (gr)		6991.00	6991.00
Peso del Molde + Muestra Varillada (gr)		11604.00	11660.00
Peso de la Muestra Varillada (gr)		4613.00	4669.00
Volumen del Molde (cm3)		3046.33	3046.33
Peso Unitario Varillado (gr/cm3)		1.514	1.533
Peso Específico Aparente (kg/m3)		2605.5	2605.5
Peso Unitario Varillado (kg/m3)		1514.3	1532.7
Porcentaje de Vacíos		41.88%	41.18%
Cálculo del % de Error		%	Cumple máx. 2 %
Peso Unitario Varillado		1.21%	Si!
Porcentaje de Vacíos		1.71%	Si!
PESO UNITARIO VARILLADO DE LA ARENA GRUESA			
<p>Detailed description: A 3D bar chart titled 'PESO UNITARIO VARILLADO DE LA ARENA GRUESA'. The vertical axis is labeled 'PESO UNITARIO (gr/cm3)' and ranges from 1200 to 1800 in increments of 100. The horizontal axis is labeled 'MUESTRAS' and has three categories: 'MUESTRA 01', 'MUESTRA 02', and 'PROMEDIO'. The bars are colored orange for the individual samples and blue for the average. The values are: MUESTRA 01 = 1514.3, MUESTRA 02 = 1532.7, and PROMEDIO = 1523.47.</p>			
PORCENTAJE DE VACIOS DE LA ARENA GRUESA			
<p>Detailed description: A 3D bar chart titled 'PORCENTAJE DE VACIOS DE LA ARENA GRUESA'. The vertical axis is labeled 'PORCENTAJE DE VACIOS' and ranges from 28.0% to 43.0% in increments of 5.0%. The horizontal axis is labeled 'MUESTRAS' and has three categories: 'MUESTRA 01', 'MUESTRA 02', and 'PROMEDIO'. The bars are colored orange for the individual samples and blue for the average. The values are: MUESTRA 01 = 41.88%, MUESTRA 02 = 41.18%, and PROMEDIO = 41.53%.</p>			
PESO UNITARIO VARILLADO = 1523.5 kg/m3			
PORCENTAJE DE VACIOS = 41.53%			



ANEXO A.3: Ensayos arena fina.

A.3.1. Contenido de humedad.

Proyecto:	"TESIS OPTIMIZACION DE CONCRETO CON MICROSILICE"		
Ubicación:	UNSAAC		
Solicita:	UNSAAC	Agregado:	Fino
Fecha:	martes, 13 de marzo de 2018		Cantera:
			PISAC
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA ARENA FINA			
MTC E 108 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-2216			
Descripción	Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N° 03
Peso de Capsula (gr)	323.90	323.90	323.90
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	754.73	754.73	754.73
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	752.95	752.95	752.95
Peso del Agua (gr)	1.78	1.78	1.78
Peso de la Muestra Seca (gr)	429.05	429.05	429.05
Contenido de Humedad	0.41%	0.41%	0.41%
<p style="text-align: center;">CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO FINO</p> <p style="text-align: center;">CONTENIDO DE HUMEDAD</p> <p style="text-align: center;">8.0% 7.0% 6.0% 5.0% 4.0% 3.0% 2.0% 1.0% 0.0%</p> <p style="text-align: center;">0.41% 0.41% 0.41% 0.41%</p> <p style="text-align: center;">Muestra N° 01 Muestra N° 02 Muestra N° 03 PROMEDIO</p> <p style="text-align: center;">MUESTRAS</p>			
CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 0.41%			



A.3.2. Cantidad de material fino que pasa el tamiz n° 200.

Proyecto:	"TESIS OPTIMIZACION DE CONCRETO CON MICROSILICE"		
Ubicación:	UNSAAC		
Solicita:	UNSAAC	Agregado:	Fino
Fecha:	martes, 13 de marzo de 2018	Cantera:	PISAC
CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ N° 200			
MTC E 202 - 2000, Basado en la Norma ASTM C-117 y AASHTO T-11			
DATOS DEL LAVADO DE LA MUESTRA			
Peso de la Muestra Seca Antes del Lavado (gr) =		1473.00	
Peso de la Muestra Seca Después del Lavado (gr) =		1442.00	
Peso del Residuo Filtrado Seco (gr) =		31.00	
MATERIAL MAS FINO QUE EL TAMIZ N° 200			
Material que pasa el tamiz N° 200 (gr) =		31.00	
Porcentaje de material fino que pasa el tamiz N° 200 =		2.10%	
Fracciones Gruesa y Fina de la Muestra			
Fracción Fina (Pasa el Tamiz N° 200) =		2.10%	
Fracción Gruesa (Retiene el Tamiz N° 200) =		97.90%	
Total:		100.00%	
<p>CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ N° 200</p>			
MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ N° 200 = 2.10%			



A.3.3. Análisis granulométrico.

Proyecto:	"TESIS OPTIMIZACION DE CONCRETO CON MICROSILICE"						
Ubicación:	UNSAAC						
Solicita:	UNSAAC					Agregado:	Fino
Fecha:	martes 24 de abril del 2018					Cantera:	PISAC
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO							
MTC E 204 - 2000, Basado en la Norma ASTM C-136 y AASHTO T-27							
Datos del lavado de la Muestra							
Antes del Lavado - Peso de la Muestra Seca = 800.53 gr							
Después del Lavado - Peso de la Muestra Seca = 800.53 gr							
Cálculo del % de Error en Peso = 0.24%							
Cumple Máx.0.30 %							
Si							
Granulometría de la Muestra							
Tamiz N°	Abertura del Tamiz (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% que pasa	Huso Granulométrico	
						Limite Inferior	Limite Superior
3/8"	9.5	1.55	0.19%	0.19%	99.81%	100%	100%
N° 4	4.75	2.7	0.33%	0.53%	99.47%	95%	100%
N° 8	2.36	8.1	1.02%	1.54%	98.46%	80%	100%
N° 16	1.18	11.9	1.49%	3.04%	96.96%	50%	85%
N° 30	0.600	60.4	7.56%	10.60%	89.40%	25%	60%
N° 50	0.300	353.1	44.21%	54.81%	45.19%	10%	30%
N° 100	0.150	279.8	35.03%	89.84%	10.16%	2%	10%
Bandeja		81.2	10.16%	100.00%			
Total de la muestra retenida =		798.6	100.00%				
Fraciones de Grava, Arena y Finos de la Muestra							
% de grava (Retenido en el Tamiz N° 4) = 0.53%							
% de arena (Pasa el tamiz N° 4 y Ret. N° 100) = 89.31%							
% de finos (Pasa el Tamiz N° 100) = 11.50%							
Total: 101.6%							
GRADACIÓN GRANULOMÉTRICA DEL TAMIZADO							
$MF = \sum \% \text{ RETENIDO ACUMULADO (3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100)}$							
MÓDULO DE FINURA = 1.61							
Observaciones: Es una ARENA FINA, por lo que debe ser mezclada con una ARENA GRUESA							
El Módulo de Fineza recomendable estará entre 2.3 y 3.1							



A.3.4. Peso específico.

Proyecto:	"TESIS OPTIMIZACION DE CONCRETO CON MICROSIlice"		
Ubicación:	UNSAAC		
Solicita:	UNSAAC	Agregado:	Fino
Fecha:	martes, 13 de marzo de 2018	Cantera:	PISAC
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LA ARENA FINO			
MTC E 205 - 2000, Basado en la Norma ASTM C-128 y AASHTO T-84			
Descripción	Muestra N° 01	Muestra N° 02	
Recipiente de Saturación	3	4	
Volumen del Recipiente (ml)	500	500	
Peso del Recipiente (gr)	167.7	167.7	
Peso en el aire de la Muestra Seca (gr)	192.81	192.81	
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca (gr)	200.05	200.05	
Peso del picnómetro o matraz aforado lleno de agua (gr)	685.61	685.61	
Peso total del picnómetro o matraz aforado con la muestra y lleno de agua	810.03	810.03	
Peso del Agua Absorbida (gr)	7.24	7.24	
Peso Específico Aparente (gr/cm3)	2.549	2.549	
Peso Específico Aparente Saturado con superficie seca (gr/cm3)	2.645	2.645	
Peso Específico Nominal (gr/cm3)	2.819	2.819	
Cálculo del % de Error		%	Cumple máx. 2 %
Peso Específico		0.00%	SI!
<p style="text-align: center;">PESO ESPECÍFICO DE LA ARENA FINA</p> <p style="text-align: center;">MUESTRAS</p>			
PESO ESPECÍFICO APARENTE SSS = 2.65 gr/cm3			



A.3.5. Capacidad de absorción.

Proyecto:	"TESIS OPTIMIZACION DE CONCRETO CON MICROSILICE"		
Ubicación:	UNSAAC		
Solicita:	UNSAAC	Agregado:	Fino
Fecha:	martes, 13 de marzo de 2018	Cantera:	PISAC
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN			
MTC E 205 - 2000, Basado en la Norma ASTM C-128 y AASHTO T-84			
DATOS DEL ENSAYO		MUESTRA 01	MUESTRA 02
Número de Picnómetro		1	2
Volumen del Picnómetro (ml)		500	500
Peso del Picnómetro (gr)		186.8	186.8
Peso de la Muestra Seca (gr)		192.81	192.81
Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca (gr)		200.05	200.05
Peso del Agua Absorbida (gr)		7.24	7.24
Capacidad de Absorción		3.75%	3.75%
Cálculo del % de Error		%	Cumple máx. 2 %
Peso Específico		0.00%	Si!
<p style="text-align: center;">CAPACIDAD DE ABSORCIÓN</p> <p style="text-align: center;">CAPACIDAD DE ABSORCIÓN</p> <p style="text-align: center;">MUESTRAS</p>			
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN = 3.75%			



A.3.6. Peso unitario suelto.

Proyecto:	"TESIS OPTIMIZACION DE CONCRETO CON MICROSILICE"											
Ubicación:	UNSAAC											
Solicita:	UNSAAC	Agregado:	Fino									
Fecha:	martes, 13 de marzo de 2018	Cantera:	PISAC									
PESO UNITARIO Y VACÍOS DE LA ARENA FINA												
MTC E 203 - 2000, Basado en la Norma ASTM C-29												
Descripción	Muestra N° 01	Muestra N° 02										
Número de Molde	P-1	P-1										
Peso del Molde (gr)	5600.00	5600.00										
Peso del Molde + Muestra Suelta (gr)	8615.00	8615.00										
Peso de la Muestra Suelta (gr)	3015.00	3015.00										
Volumen del Molde (cm3)	2191.85	2191.85										
Peso Unitario Suelto (gr/cm3)	1.376	1.376										
Peso Especifico Aparente (kg/m3)	2549.4	2549.4										
Peso Unitario Suelto (kg/m3)	1375.6	1375.6										
Porcentaje de Vacios	46.04%	46.04%										
<table border="1"> <tr> <td>Cálculo del % de Error</td> <td>%</td> <td>Cumple máx. 2 %</td> </tr> <tr> <td>Peso Unitario Suelto</td> <td>0.00%</td> <td>SI!</td> </tr> <tr> <td>Porcentaje de Vacios</td> <td>0.00%</td> <td>SI!</td> </tr> </table>				Cálculo del % de Error	%	Cumple máx. 2 %	Peso Unitario Suelto	0.00%	SI!	Porcentaje de Vacios	0.00%	SI!
Cálculo del % de Error	%	Cumple máx. 2 %										
Peso Unitario Suelto	0.00%	SI!										
Porcentaje de Vacios	0.00%	SI!										
<p>PESO UNITARIO SUELTO DE LA ARENA FINA</p>												
<p>PORCENTAJE DE VACIOS DE LA ARENA FINA</p>												
<p>PESO UNITARIO SUELTO = 1375.6 kg/m3 PORCENTAJE DE VACIOS = 46.04%</p>												



A.3.7. Peso unitario compactado.

Proyecto:	"TESIS OPTIMIZACION DE CONCRETO CON MICROSILICE"		
Ubicación:	UNSAAC		
Solicita:	UNSAAC	Agregado:	Fino
Fecha:	martes, 13 de marzo de 2018	Cantera:	PISAC
PESO UNITARIO VARILLADO Y VACÍOS DEL AGREGADO FINO			
MTC E 203 - 2000, Basado en la Norma ASTM C-29			
DATOS DEL ENSAYO		MUESTRA 01	MUESTRA 02
Número de Capas		3	3
Número de Golpes		25	25
Número de Molde		P-1	P-1
Peso del Molde (gr)		6992.00	6992.00
Peso del Molde + Muestra Varillada (gr)		11824.00	11824.00
Peso de la Muestra Varillada (gr)		4832.00	4832.00
Volumen del Molde (cm ³)		3046.33	3046.33
Peso Unitario Varillado (gr/cm ³)		1.586	1.586
Peso Especifico Aparente (kg/m ³)		2549.4	2549.4
Peso Unitario Varillado (kg/m ³)		1586.2	1586.2
Porcentaje de Vacíos		37.78%	37.78%
Cálculo del % de Error		%	Cumple máx. 2 %
Peso Unitario Varillado		0.00%	Sí!
Porcentaje de Vacíos		0.00%	Sí!
PESO UNITARIO VARILLADO DE LA ARENA FINA			
<p>Y-axis: PESO UNITARIO (gr/cm³) ranging from 1200 to 1800. X-axis: MUESTRAS (MUESTRA 01, MUESTRA 02, PROMEDIO). Values: MUESTRA 01 = 1586.2, MUESTRA 02 = 1586.2, PROMEDIO = 1586.17.</p>			
PORCENTAJE DE VACIOS DE LA ARENA FINA			
<p>Y-axis: PORCENTAJE DE VACIOS ranging from 28.0% to 38.0%. X-axis: MUESTRAS (MUESTRA 01, MUESTRA 02, PROMEDIO). Values: MUESTRA 01 = 37.78%, MUESTRA 02 = 37.78%, PROMEDIO = 37.78%.</p>			
PESO UNITARIO VARILLADO = 1586.2 kg/m³			
PORCENTAJE DE VACIOS = 37.78%			



ANEXO B: DISEÑOS DE MEZCLA PATRÓN Y CON MICROSÍLICE.

ANEXO B.1: Diseño de mezcla patrón $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$.

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO 210 kg/cm ²												
<p>TESIS "Optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$, sobre sus propiedades mecánicas con adición de Microsilice, en la ciudad del Cusco, 2017"</p> <p>UNIDAD DE ANALISIS Laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil - UNSAAC</p>												
<p>Tesistas Bach. Achahuanco Gary Bach. Gutierrez Alex</p>			<p>Fecha 06-jun</p>									
<p>Diseño 210</p>			<p>Código de Mezclas D1 - P</p>									
<p>Relación AGUA/CEMENTO 0.56</p>			<p>Vol. de Prueba (m³) 1</p>									
<p>Relación AF/AG 45-55</p>												
<p>Diseño Base 210</p>												
<p>Tipo de Concreto No bombeable</p>												
<p>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS MATERIALES Y DE LA MEZCLA DE PRUEBA POR UNIDAD DE M3</p>												
<p>Vol. Agregados 0.74</p>			<p>Cementante Total 386</p>									
<p>Arena Gruesa 967</p>			<p>Cemento tipo I 386</p>									
<p>Arena Fina 0</p>			<p>Microsilice 0</p>									
<p>Piedra Chancada 1/2" 713</p>												
MATERIALES	PROCEDENCIA	P.ESPECIFICO gr/cm ³	HUMEDAD %	ABSORCIÓN %	PESO SECO kg/cm ³	VOL.	PESO S.S. kg/m ³	CORRECCION POR HUMEDAD	HUMEDAD SUPERFICIAL	APORTE DE HUMEDAD	TANDA DE PRUEBA DOSIFICACION	UND
Cemento	Wari tipo I (Arec)	3.15				0.12253968	386				386	kg
Microsilice	Basf Lima	0										kg
Agua	SedaCusco	1				0.216	216				230.2274	lt
Piedra Chancada 1/2"	Huambutio Una	2.63	0.25%	0.74%		0.27110266	713	714.7825	-0.49%	-3.4937	714.7825	kg
Arena Gruesa	Huambutio	2.64	0.40%	1.51%		0.36628788	967	970.868	-1.11%	-10.7337	970.868	kg
Arena Fina	Pisac	0	0.50%				0				0	kg
Superplastificante	Basf Lima	0										kg
Aire						0.025						
Total						1.001	2282			-14.2274		



ANEXO B.3: Diseño con microsílce $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$, $d1 - 15\%m (85\%h+15\%p)$.

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO 210 kg/cm^2

UNIDAD DE ANALISIS: "Optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$, sobre sus propiedades mecánicas con adición de Microsílce, en la ciudad del Cusco, 2017".
Laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil - UNSAAC

Fecha	29-may
Codigo de Mezclas	D1 - M15%
Vol. de Prueba (m3)	1

Bach. Acha huano Gary y Bach. Gutierrez Alex
210
0.61
210
No bombeable

Cementante Total	234.6	kg
Cemento tipo I	204	kg
Microsílce	30.6	kg

Vol. Agregados	0.84	kg
Arena Gruesa	724	kg
Arena Fina	127	kg
Piedra Chancada 1/2"	1115	kg

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS MATERIALES Y DE LA MEZCLA DE PRUEBA POR UNIDAD DE M3

MATERIALES	PROCEDENCIA	P. ESPECIFICO gr/cm^3	HUMEDAD %	ABSORCIÓN %	PESO SECO kg/cm^3	VOL.	PESO S.S.S. kg/m^3	CORRECCIÓN POR HUMEDAD	HUMEDAD SUPERFICIAL	APORTE DE HUMEDAD	TANDA DE PRUEBA	
											DOSIFICACIÓN	UND
Cemento	Wari tipo I (Arec)	3.114				0.0655106	204				204	kg
Microsílce	Basf Lima	2.2				0.01390909	30.6				30.6	kg
Agua	Seda Cusco	1				0.143	143				162.2202	lt
Piedra Chancada 1/2"	Huambutio Uma	2.63	0.25%	0.74%		0.42395437	1115	1117.7875	-0.49%	-5.4635	1117.7875	kg
Arena Gruesa	Huambutio	2.64	0.40%	1.73%		0.27424242	724	726.896	-1.33%	-9.6292	726.896	kg
Arena Fina	Pisac	2.64	0.50%	3.75%		0.04810606	127	127.635	-3.25%	-4.1275	127.635	kg
Superplastificante	Basf Lima	1.1				0.00247273	2.72				2.72	kg
Aire						0.025						
Total						0.996	2346.32			-19.2202		



ANEXO B.4: Diseño con microsilíce $f'c=210\text{ kg/cm}^2$, $d1 - 10\%m$ ($85\%h+15\%p$).

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO 210 kg/cm²

UNIDAD DE ANÁLISIS: "Optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ y $f'c=280\text{ kg/cm}^2$, sobre sus propiedades mecánicas con adición de Microsilíce, en la ciudad del Cusco, 2017"

Laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil - UNSAAC

Bach. Achañanco Gary y Bach. Gutiérrez Alex	Fecha	29-may
Diseño	Código de Mezclas	D1 - M10%
Relación AGUA/CEMENTO	Vol. de Prueba (m ³)	1
Relación AF/AG		14
Diseño Base		
Tipo de Concreto		

210
0.64
210
No bombeable

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS MATERIALES Y DE LA MEZCLA DE PRUEBA POR UNIDAD DE M3

Vol. Agregados	0.84	kg
Arena Gruesa	734	kg
Arena Fina	137	kg
Piedra Chancada 1/2"	1115	kg
Cementante Total	224.4	kg
Cemento tipo I	204	kg
Microsilíce	20.4	kg

MATERIALES	PROCEDENCIA	P. ESPECÍFICO gr/cm ³	HUMEDAD %	ABSORCIÓN %	PESO SECO kg/cm ³	VOL.	PESO S.S.S. kg/m ³	CORRECCIÓN POR HUMEDAD	HUMEDAD SUPERFICIAL	APORTE DE HUMEDAD	TANDA DE PRUEBA DOSIFICACIÓN
Cemento	Wari tipo I (Arec)	3.114				0.0655106	204				204 kg
Microsilíce	Basf Lima	2.2				0.00927273	20.4				20.4 kg
Agua	SedaCusco	1				0.143	143				162.6782 lt
Piedra Chancada 1/2"	Huambutio Una	2.63	0.25%	0.74%		0.42395437	1115	1117.7875	-0.49%	-5.4635	1117.7875 kg
Arena Gruesa	Huambutio	2.64	0.40%	1.73%		0.2780303	734	736.936	-1.33%	-9.7622	736.936 kg
Arena Fina	Pisac	2.64	0.50%	3.75%		0.05189394	137	137.685	-3.25%	-4.4525	137.685 kg
Superplastificante	Basf Lima	1.1				0.00181818	2				2 kg
Aire						0.025					
Total						0.998	2355.4			-19.6782	



ANEXO B.5: Diseño con microsilíce $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$, $d1 - 7\%m (85\%h+15\%p)$.

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO 210 kg/cm²

UNIDAD DE ANALISIS
 TESIS "Optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$, sobre sus propiedades mecánicas con adición de Microsilíce, en la ciudad del Cusco, 2017"
 Laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil - UNSAAC

Testistas	Bach. Achañuanco Gary y Bach. Gutierrez Alex	
Diseño	210	31-jul
Relación AGUA/CEMENTO	0.66	D1 - M7%
Relación AF/AG	210	Vol. de Prueba (m ³)
Diseño Base		1
Tipo de Concreto	Bombeable	

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS MATERIALES Y DE LA MEZCLA DE PRUEBA POR UNIDAD DE M3

Vol. Agregados	0.85	Cementante Total	218.28
Arena Gruesa	734	Cemento tipo I	204
Arena Fina	137	Microsilíce	14.28
Piedra Chancada 1/2"	1115		

MATERIALES	PROCEDENCIA	P.ESPECIFICO gr/cm3	HUMEDAD %	ABSORCIÓN %	PESO SECO kg/cm3	VOL.	PESO S.S. kg/m3	CORRECCIÓN POR HUMEDAD	HUMEDAD SUPERFICIAL	APORTE DE HUMEDAD	TANDA DE PRUEBA DOSIFICACION	UND
Cemento	Wari tipo I (Arec)	3.114				0.0655106	204				204	kg
Microsilíce	Basf Lima	2.2				0.00649091	14.28				14.28	kg
Agua	SedaCusco	1				0.143	143				162.6443	lt
Piedra Chancada 1/2"	Huambutío Una	2.63	0.16%	0.74%		0.42395437	1115	1116.784	-0.58%	-6.467	1116.784	kg
Arena Gruesa	Huambutío	2.64	0.56%	1.73%		0.2780303	734	738.1104	-1.17%	-8.5878	738.1104	kg
Arena Fina	Pisac	2.64	0.40%	3.75%		0.05189394	137	137.548	-3.35%	-4.5895	137.548	kg
Superplastificante	Basf Lima	1.1				0.00181818	2				2	kg
Aire						0.025						
Total						0.996	2349.28			-19.6443		



ANEXO B.6: Diseño con microsilíce $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$, $d_2 - 15\%m$ ($83\%h+17\%p$).

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO $280\text{ kg}/\text{cm}^2$ - BOMBEABLE

UNIDAD DE ANÁLISIS: "Optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$, sobre sus propiedades mecánicas con adición de Microsilíce, en la ciudad del Cusco, 2017"
Laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil - UNSAAC

Tesis	Bach. Achahuanco Gary y Bach. Gutiérrez Alex
Diseño	280
Relación AGUA/CEMENTO	0.61
Relación AF/AG	280
Diseño Base	Bombeable
Tipo de Concreto	

Fecha	29-may
Código de Mezclas	D2 - M15%
Vol. de Prueba (m3)	1

Cementante Total	284.05	kg
Cemento tipo I	247	kg
Microsilíce	37.05	kg

Vol. Agregados	0.80	kg
Arena Gruesa	775	kg
Arena Fina	158	kg
Piedra Chancada 1/2"	915	kg

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS MATERIALES Y DE LA MEZCLA DE PRUEBA POR UNIDAD DE M3

MATERIALES	PROCEDENCIA	P. ESPECÍFICO gr/cm^3	HUMEDAD %	ABSORCIÓN %	PESO SECO kg/cm^3	VOL.	PESO S.S. kg/m^3	CORRECCIÓN POR HUMEDAD	HUMEDAD SUPERFICIAL	APORTE DE HUMEDAD	TANDA DE PRUEBA DOSIFICACION	UND
Cemento	Wari tipo I (Arec)	3.114				0.0793192	247				247	kg
Microsilíce	Basf Lima	2.2				0.01684091	37.05				37.05	kg
Agua	SedaCusco	1				0.173	173				193.506	lt
Piedra Chancada 1/2"	Huambutío Una	2.63	0.17%	0.74%		0.34790875	915	916.5555	-0.57%	-5.2155	916.5555	kg
Arena Gruesa	Huambutío	2.64	0.44%	1.73%		0.29356061	775	778.41	-1.29%	-9.9975	778.41	kg
Arena Fina	Pisac	2.64	0.40%	3.75%		0.05984848	158	158.632	-3.35%	-5.293	158.632	kg
Superplastificante	Basf Lima	1.1				0.00247273	2.72				2.72	kg
Aire						0.025						
Total						0.998	2307.77			-20.506		



ANEXO B.7: Diseño con microsilíce $f'c=280\text{ kg/cm}^2$, $d_2 - 10\%m$ ($83\%h+17\%p$).

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO 280 kg/cm² - BOMBEABLE

UNIDAD DE ANALISIS: "Optimización de concretos estructurales $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ y $f'c=280\text{ kg/cm}^2$, sobre sus propiedades mecánicas con adición de Microsilíce, en la ciudad del Cusco, 2017"

Laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil - UNSAAC

Tesis	Bach. Achahuanco Gary y Bach. Gutierrez Alex	Fecha	31-Jul
Diseño	280	Código de Mezclas	D2 - M10%
Relación AGUA/CEMENTO	0.64	Vol. de Prueba (m ³)	1
Relación AF/AG	280		
Diseño Base	Bombeable		

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS MATERIALES Y DE LA MEZCLA DE PRUEBA POR UNIDAD DE M³

Vol. Agregados	0.81	Cementante Total	271.7
Arena Gruesa	790	Cemento tipo I	247
Arena Fina	158	Microsilíce	24.7
Piedra Chancada 1/2"	915		

MATERIALES	PROCEDENCIA	P.ESPECÍFICO gr/cm ³	HUMEDAD %	ABSORCIÓN %	PESO SECO kg/cm ³	VOL.	PESO S.S.S. kg/m ³	CORRECCIÓN POR HUMEDAD	HUMEDAD SUPERFICIAL	APORTE DE HUMEDAD	TANDA DE PRUEBA	
											DOSIFICACIÓN	UNID
Cemento	Wari tipo I (Ared)	3.114				0.0793192	247				247	kg
Microsilíce	Basf Lima	2.2				0.01122727	24.7				24.7	kg
Agua	SedaCusco	1				0.173	173				193.7945	lt
Piedra Chancada 1/2"	Huambutío Una	2.63	0.41%	0.74%		0.34790875	915	918.7515	-0.33%	-3.0195	918.7515	kg
Arena Gruesa	Huambutío	2.64	0.15%	1.73%		0.29924242	790	791.185	-1.58%	-12.482	791.185	kg
Arena Fina	Pisac	2.64	0.40%	3.75%		0.05984848	158	158.632	-3.35%	-5.293	158.632	kg
Superplastificante	Basf Lima	1.1				0.00247273	2.72				2.72	kg
Aire						0.025						
Total						0.998	2310.42			-20.7945		

ANEXO C: FICHAS TÉCNICAS DE LOS INSUMOS.

C.1 Ficha técnica del cemento portland Wari tipo I.



1. DESCRIPCIÓN

El cemento portland Tipo I, se fabrica mediante la molienda conjunta de clínker Tipo I y yeso, brindando mayor resistencia inicial y menores tiempos de fraguado. Cumple con las normas ASTM C-150 y NTP 334.009.

2. USO Y APLICACIONES

El cemento Tipo I es un cemento de uso general en la construcción, se emplea en obras que no requieren propiedades especiales.

3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

REQUERIMIENTO QUÍMICO	WARI TIPO I	NORMAS TÉCNICAS ASTM C150 / NTP 334.009
Óxido de magnesio, MgO (%)	0.74	6.00 máx.
Trióxido de azufre, SO ₃ (%)	2.11	3.00 máx.
Pérdida al fuego, P.F. (%)	2.85	3.00 máx.
Residuo insoluble, R.I. (%)	0.21	0.75 máx.

OFICINA CENTRAL: CALLE JACINTO IBAÑEZ N° 509 - Edif. ADEPIA OF. 301 - PARQ. INDUSTRIAL - AREQUIPA - PERÚ

PLANTA: MZ. A - LOTE 2 - CETICOS MATARANI - ISLAY - AREQUIPA - PERÚ

CONTACTO: ventas@cementowari.com

WEB: www.cementowari.com

REQUERIMIENTO FÍSICO	WARI TIPO I	NORMAS TÉCNICAS ASTM C 150 / NTP 334.009
Finura, superficie específica, Blaine (cm ² /g)	3480	2600 mín.
Expansión en autoclave (%)	0.05	0.80 máx.
Tiempo de fraguado inicial, vicat (minutos)	157	45 mín.
Tiempo de fraguado final, vicat (minutos)	270	375 máx.
Contenido de aire del mortero (%)	7.00	12.00 máx.
Resistencia a la compresión, (MPa)		
- 3 días	25.30	12.00 mín.
- 7 días	33.70	19.00 mín.
- 28 días	43.30	28.00 mín.

4. PRESENTACIONES

- Bolsa de 42.5 Kg.
- Big bag de 1 TM.
- Big bag de 2 TM.
- Granel en bombona.

5. ALMACENAMIENTO

Para mantener el cemento en condiciones adecuadas para su uso, se recomienda lo siguiente:

- Almacenar bajo techo o cubrir con cobertura de polietileno, manteniendo distancia del suelo o aislándolo de él con mantas de polietileno, así mismo, con las paredes.
- Proteger de la humedad.
- No apilar más de 10 bolsas de altura por parihuela, máximo 2 parihuelas de altura, 3 filas en caso de tratarse de big bag.

6. RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD

- Evitar contacto con el producto, puede provocar irritación en la piel y ojos.
- Al contacto con los ojos, lavar con abundante agua limpia.
- En caso de contacto con la piel, lavar con abundante agua y jabón.
- Utilizar las medidas de seguridad mencionadas a continuación:



Guantes Impermeables



Protección Ocular



Botas Impermeables



Protección Respiratoria

OFICINA CENTRAL: CALLE JACINTO IBAÑEZ N° 509 - Edif. ADEPIA OF. 301 - PARQ. INDUSTRIAL - AREQUIPA - PERÚ

PLANTA: MZ. A - LOTE 2 - CETICOS MATARANI - ISLAY - AREQUIPA - PERÚ

CONTACTO: ventas@cementowari.com

WEB: www.cementowari.com

C.2 Ficha técnica de la Microsílice MasterLife SF100. (BASF PERÚ).



We create chemistry

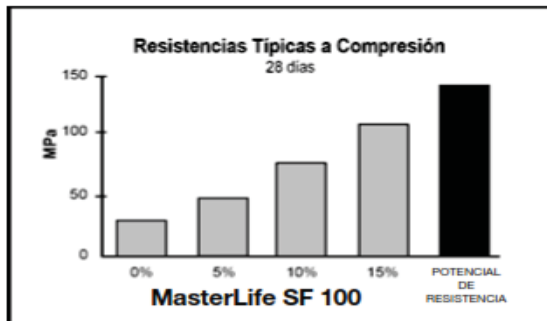
MasterLife® SF 100

Antes: RHEOMAC® SF 100

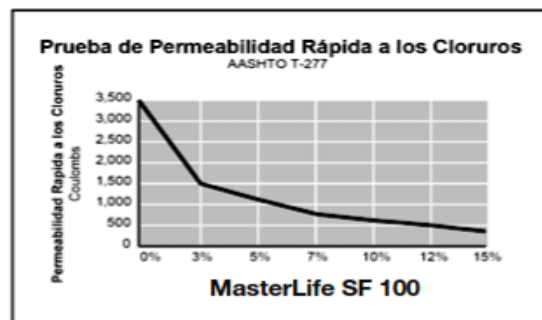
Aditivo Mineral, microsílice compactada.

Descripción del producto

MasterLife SF 100 es un aditivo mineral a base de microsílice compactada y seco que produce cualidades especiales en el concreto. Mejora las características del concreto endurecido en dos formas:



Las resistencias a compresión se pueden lograr cuando la mezcla está optimizada en relación agua/cemento, agregado y otros factores que afectan la resistencia.



De tal manera que incrementa la cantidad de gel de silicatos de calcio, mejorando así la resistencia y reduciendo la permeabilidad del concreto. Como resultado, se obtiene un concreto extremadamente durable.

Campo de aplicación

MasterLife SF 100 produce un concreto con permeabilidad mínima. Esto limita la penetración de agua, cloruros, sulfatos y otros agentes químicos que provocan la corrosión del acero de refuerzo del concreto. Es por esto **MasterLife SF 100** es el producto ideal para estacionamientos, puentes, estructuras marinas y cualquier construcción que requiera concreto impermeable.

MasterLife SF 100 también desarrolla muy altas resistencias debido a sus propiedades puzolánicas. Así se puede construir con miembros más esbeltos o de menores dimensiones y se mejora la economía de las estructuras. Como resultado de los beneficios anteriores, **MasterLife SF 100** mejora el desempeño del concreto pretensado y prefabricado.

Protección contra la corrosión: cuando el acero de refuerzo queda embebido en el ambiente alcalino del concreto, una capa protectora natural se forma alrededor de las barras de refuerzo. Sin embargo, ésta capa protectora puede sufrir daños. Cuando esto ocurre y existe presencia de oxígeno y humedad, puede provocar la corrosión del acero de refuerzo. **MasterLife SF 100** ayuda a proteger al concreto reforzado contra la corrosión. La baja permeabilidad del concreto producido con **MasterLife SF 100** impide el ingreso de los iones de cloruro al acero de refuerzo, además **MasterLife SF 100** reduce la conductividad eléctrica del concreto, impidiendo el proceso electroquímico de la corrosión.

MasterLife SF 100 está formado por millones de partículas de microsílice compactadas en esferas menores a 1 mm de diámetro. Una vez expuestas a la acción de mezclado del concreto, **MasterLife SF 100** vuelve a tomar su forma precompactada y se dispersa por todo el concreto. Esto origina la baja permeabilidad y la alta resistencia del concreto producido con **MasterLife SF 100**.



We create chemistry

Compatibilidad: **MasterLife SF 100** puede usarse con cementos Portland que cumplan con las especificaciones ASTM, AASHTO, o CRD. Es compatible con la mayoría de los aditivos para concreto incluyendo todos los aditivos de **BASF**.

Se recomienda el uso del **MasterLife SF 100** con aditivos superplastificantes como el **MasterRebuild**, para obtener máxima trabajabilidad manteniendo una baja relación agua-cemento.

Características y beneficios

MasterLife SF 100 es un componente crítico en la producción de concreto de alto desempeño con las siguientes propiedades de ingeniería:

- Alta reducción de la permeabilidad que inhibe el ingreso de humedad, cloruros y otros contaminantes.
- Protección contra la corrosión efectiva del acero de refuerzo en el concreto.
- Concreto muy durable con mayor resistencia a:
 - Corrosión
 - Abrasión/erosión
 - Ataque químico
 - Sulfatos
 - Daños por hielo/deshielo
- Concreto de Alta-Resistencia por encima de 105 MPa.
- Altas Resistencias Iniciales que permiten una producción más eficiente y efectiva en costo de concreto prefabricado y pretensado.

Presentación

El **MasterLife SF 100** está disponible en sacos de 20 kg y en Big Bag de 1000 kg.

Datos técnicos*

Gravedad específica: la gravedad específica del **MasterLife SF 100** es de 2.2.

Fraguado: el tiempo de fraguado del concreto depende de la composición química y física del cemento y/o del tipo de cemento usado en la producción del concreto. Este tiempo de fraguado también está en relación directa con la temperatura del concreto, las condiciones climáticas y el uso de aditivos químicos. Se recomienda realizar pruebas con los materiales de la obra, con el fin de determinar la dosificación adecuada para lograr un tiempo de fraguado específico.

*Los datos técnicos reflejados son fruto de resultados estadísticos y no representan mínimos garantizados. Si se desean los datos de control, pueden solicitarse a nuestro Departamento Técnico.

Procedimiento de aplicación

MasterLife SF 100 se añade en la planta de concreto en forma similar al cemento u otros materiales cementantes, como la ceniza volante y la escoria granulada. Puede añadirse en la mezcladora control o al camión mezclador. Se recomienda seguir los procedimientos de ASTM C-94 para asegurar una mezcla efectiva y uniforme.

Nota: Para información sobre el uso adecuado de **MasterLife SF 100** en aplicaciones específicas, consulte a su representante **BASF**.

Consumo

MasterLife SF 100 se recomienda en una dosis de 5 a 15% del peso total del cemento utilizado, dependiendo del incremento en resistencias y reducción de la permeabilidad deseadas.

La cantidad exacta para una resistencia o durabilidad específica, deberá determinarse por medio de mezclas de prueba.

La dosificación arriba indicada se aplica a la mayoría de las mezclas de concreto con ingredientes promedio. Sin embargo, las variaciones de las condiciones de la obra y de los ingredientes, pueden requerir dosificaciones fuera del rango recomendado. En estos casos, consulte a su representante **BASF**.

Almacenamiento

El **MasterLife SF 100** se almacena, maneja y dosifica igual que el cemento o cenizas volantes. A granel, el **MasterLife SF 100** puede almacenarse en silos. El material en sacos puede almacenarse en forma indefinida en un área seca. No se requiere ningún equipo especial para dosificarlo.

"Para mayor información, consulte la Hoja de Datos de Seguridad (MSDS) o a su representante local **BASF** o llame a las líneas de emergencia locales de Cisproquim y/o **BASF** que se encuentran al final del catálogo".



We create chemistry

NOTA:

La presente ficha técnica sirve, al igual que todas las demás recomendaciones e información técnica, únicamente para la descripción de las características del producto, forma de empleo y sus aplicaciones. Los datos e informaciones reproducidos, se basan en nuestros conocimientos técnicos obtenidos en la bibliografía, en ensayos de laboratorio y en la práctica.

Los datos sobre consumo y dosificación que figuran en esta ficha técnica, se basan en nuestra propia experiencia, por lo que estos son susceptibles de variaciones debido a las diferentes condiciones de las obras. Los consumos y dosificaciones reales, deberán determinarse en la obra, mediante ensayos previos y son responsabilidad del cliente.

Para un asesoramiento adicional, nuestro Servicio Técnico, está a su disposición.

BASF Química Colombiana S.A. se reserva el derecho de modificar la composición de los productos, siempre y cuando éstos continúen cumpliendo las características descritas en la ficha técnica.

Otras aplicaciones del producto que no se ajusten a las indicadas, no serán de nuestra responsabilidad. Otorgamos garantía en caso de defectos en la calidad de fabricación de nuestros productos, quedando excluidas las reclamaciones adicionales, siendo de nuestra responsabilidad tan solo la de reingresar el valor de la mercancía suministrada.

Debe tenerse en cuenta las eventuales reservas correspondientes a patentes o derechos de terceros.

Edición: 26/08/2016

La presente ficha técnica pierde su validez con la aparición de una nueva edición.

BASF Química Colombiana S.A.

Calle 99 # 69C – 32
Bogotá, D.C. Colombia
Tel: +57 1 634 20 99

BASF Venezolana S.A.

Circunvalación del Sol, Centro
Profesional Santa Paula, PB, Espacio
Express, Local 4, Caracas - Venezuela
Teléfono:+58 212 935 8306 - Celular:
+58 424 676 4002

BASF Ecuatoriana S.A.

Avenida Naciones Unidas E-230
entre Núñez de Vela e Iñaquito,
edificio Metropolitán, 8vo piso,
oficinas 808, 809 y 810.
Tel : + 593 2397 9500

Visite nuestra página web:

- Colombia: www.master-builders-solutions.basf.com.co
- Venezuela: www.master-builders-solutions.basf.com.ve
- Ecuador: www.master-builders-solutions.basf.com.ec



C.3 Ficha técnica del aditivo Súper Plastificante MasterEase 3900. (BASF PERÚ).



We create chemistry

MasterEase® 3900

Aditivo superplastificante/reductor de agua de alto rango para producción de concretos de baja viscosidad y reología mejorada con un buen mantenimiento de consistencia.

CAMPO DE APLICACIÓN

MasterEase 3900 es un aditivo superplastificante de última generación, basado en la nueva tecnología de polímeros exclusiva de BASF Construction Chemicals, especialmente diseñado para la producción de concretos de baja viscosidad incluso con reducidos contenidos de agua debido a su innovadora formulación que permite una adsorción retardada de las partículas de cemento obteniendo una hidratación mucho más eficiente.

Diseñado para mejorar la reología y con ello su trabajabilidad, bombeabilidad y la puesta en obra del concreto fabricado. Permite la fabricación de concretos de elevada fluidez y de alta resistencia, con un buen mantenimiento de consistencia.

MasterEase 3900 cumple con las especificaciones de la clasificación tipo F según la ASTM C494.

PROPIEDADES

- ✓ Gran poder reductor de agua.
- ✓ Mejora el acabado y la textura de la superficie del concreto.
- ✓ Aumenta las resistencias iniciales y finales del concreto
- ✓ Buen mantenimiento de consistencia para cubrir los tiempos de transporte, sin retraso de fraguado.
- ✓ Facilita el bombeo y reduce el tiempo de aplicación y compactación

- ✓ Dota al concreto de un excelente comportamiento reológico, con reducida viscosidad y pegajosidad, y docilidad mejorada.
- ✓ Excelente cohesión

MODO DE UTILIZACIÓN

MasterEase 3900 se añade al concreto durante su amasado, con la última parte del agua de mezcla. Debe mezclarse un tiempo suficiente para garantizar la complete homogeneización del aditivo en toda la masa.

MasterEase 3900 es compatible con los plastificantes y retardantes de la gama MasterPozzolith, MasterPolyheed y MasterSet de BASF.

MasterEase 3900 puede ser añadido directamente al camión mezclador, para restablecer concretos que hayan perdido consistencia. En este caso, se debe asegurar la plena compatibilidad entre aditivos antes de la aplicación.

No es recomendable añadir el aditivo antes del agua de amasado, sobre el cemento y los agregados.

DATOS TECNICOS

Aspecto	Líquido Marrón
Densidad @+20°C	1.10
pH @ +20°C	Min 5



MasterEase[®] 3900

DOSIFICACIÓN

El rango de dosificación recomendado para MasterEase 3900 es de 650 ml a 1500 ml por 100 kg de cemento en función del tipo de materiales y tipo de concreto a fabricar, dependiendo del uso esto puede variar por la naturaleza de los agregados y condiciones insitu.

Dosificaciones diferentes a las recomendadas son posibles con ensayos previos que justifiquen su buen desempeño.

FORMA DE ENTREGA/ PRESENTACION

MasterEase 3900 se presenta a granel, en tambores de 208 litros (55 gal) y en tanques de 1000 litros.

ALMACENAMIENTO

MasterEase 3900 tiene una vida útil de 12 meses como mínimo. Dependiendo de las condiciones de almacenamiento, la vida útil puede ser mayor.

PRECAUCIÓN

Si el MasterEase 3900 se congela, llévese a una temperatura de $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ o más, y agítese hasta que esté completamente reconstituido. No use aire comprimido para agitarlo.

NOTA: Los datos sobre consumo y dosificación que figuran en esta ficha técnica, se basan en nuestra propia experiencia, por lo que estos son susceptibles de variaciones debido a las diferentes condiciones de las obras. Los consumos y dosificaciones reales, deberán determinarse en la obra mediante ensayos previos y son responsabilidad del cliente.

SEGURIDAD

Consulte la Hoja de Datos de Seguridad (MSDS) para este producto.

Para información adicional sobre este producto o para su uso en el desarrollo de mezclas de concreto con características especiales de desempeño, consulte a su representante de BASF Construction Chemicals.



We create chemistry

MasterEase® 3900

Contacto

BASF Química Colombia S.A
Calle 99 # 69C – 32
Bogotá, D.C. Colombia
Tel: +57 1 632 20 99
www.basf-cc.com.co

BASF SA
Avenida das Nações Unidas,
14.171, Morumbi
04794-000 Sao Paulo – SP, Brasil
Tel: +55 11 2718 5507
www.basf-cc.com.br

BASF Venezolana S.A
Edif. Torreón, Piso 4, Of. 4B
Av. Veracruz con calle la Guairita,
Urb. Las Mercedes. Caracas,
Venezuela Tel : + 58 212 958 6711
www.basf-cc.com.ve

**BASF Construction Chemicals
Ltda.**
Rio Palena 9665
Núcleo Empresarial ENEA
Santiago de Chile, Chile
Tel: +56-2 2799 4300
www.basf-cc.cl/

BASF Ecuatoriana S.A
Av. Naciones Unidas 1014
y Av. Amazonas Edif. La Previsora
Torre A Piso 2, Quito, Ecuador
Tel : + 593 2397 9500
www.basf-cc.com.ec

**BASF Construction Chemicals
Perú S.A**
Jr. Plácido Jiménez N° 630
Lima 1, Peru
Tel: +51-1 219 0630
www.basf-cc.com.pe



ANEXO D: COTIZACIÓN DE INSUMOS PARA EL ANÁLISIS DE COSTOS.

D.1 Cotización del Cemento Portland Wari tipo I, proveído por la empresa *CEMENTO*

WARI.



DIREPSUR S.C.R.Ltda.
R.U.C N° 20406328083
 CALLE JACINTO IBAÑEZ N° 509 - 3ER PISO OF. 301
 PARQ. INDUSTRIAL - AREQUIPA - PERÚ
www.cementowari.com

Cotización: 002 N° 0000488

Fecha: 11.06.2019

"CONSTRUYE CON CEMENTO WARI, CEMENTO PURO"

Cliente: Ruben Aragón Rodriguez Fax:
 RUC: Ruben Aragón Teléfono:
 Atención: Ruben Aragón
 Moneda: SOLES
 Local de Entrega: Puesto en obra ciudad de Cusco
 Dirección Entrega: Puesto en obra ciudad de Cusco
 Forma de Pago: **CONTADO**
 Vendedor: ORLANDO CARDENAS CACERES CEL. 941716200 -958497080
 CESAR PEÑA CHIRE CEL: 987108958
 Centro de Servicios: OFICINA DIREPSUR SCRL. CEMENTO WARI - AREQUIPA

Producto	U.M.	Cant.	P. Unit.	Subtotal	IGV	Total
CEMENTO WARI - PORTLAND TIPO I	BLS	1.00	S/. 23.50	S/. 19.92	S/. 3.58	S/. 23.50
PUESTO EN OBRA CIUDAD DE CUSCO	BLS 42.5 KG					

CONDICIONES GENERALES

- COTIZACION VIGENTE HASTA EL 29-06-2019
- PRECIOS UNITARIOS INCLUYEN IGV.
- EL CAMIÓN INGRESARÁ HASTA DONDE SEA POSIBLE SIN PONER EN RIESGO LA UNIDAD Y LA DESCARGA.
- SI HUBIERA INCREMENTO DE PRECIO, SE MANTIENE EL PRECIO FACTURADO POR EL PERIODO PACTADO.
- SÍRVASE REALIZAR LOS PAGOS EN NUESTRAS CUENTAS RECAUDADORAS EN LOS SIGUIENTES BANCOS:



TITULAR: DIREPSUR S.C.R.L.

BBVA CONTINENTAL: **0011-0226-0100024542**

BANCO DE CRÉDITO: **405-1836027-0-35**

SCOTIABANK: **3226603**



D.2 Cotización del MasterLife SF 100 y MasterEase 3900. Proveído *BASF PERÚ*.



BASF-EBA-MDP-038-2017

Lima, 11 de diciembre del 2017

Señor: **Alex Gutierrez**

Presente.-

Referencia: **Cotización microsíllice MasterLife SF 100 y MasterEase 3900**

Estimado Señor:

Agradecemos su preferencia y aprovechamos la oportunidad para comunicarles que **BASF "We Create Chemistry"** líder mundial en la industria química, que opera en nuestro territorio nacional como **BASF CONSTRUCTION CHEMICALS PERU S.A.** ofreciendo productos de última generación y de la más alta calidad, respaldados con un asesoramiento técnico profesional y nuestro sistema de gestión integrado con certificación **ISO 9001:2008**, está en condiciones óptimas de ofrecerles soluciones integrales acorde a sus necesidades.

Detallamos la cotización solicitada:

Producto	Unid.Medida	Cant.	V.V.Unit.	Sub-Total	Observaciones
MasterLife SF 100 Aditivo mineral, microsíllice compactada.	Saco	2	70.00	140.00	Presentación: Saco x 20 Kilos
MasterEase 3900 Aditivo superplastificante de alto rango para el concreto	Litro	5	9.70	48.50	Presentación: Garrafa x 5 Litros
IGV				18%	33.93
TOTAL GENERAL (En Soles - Incluido IGV)				222.43	
CONDICIONES COMERCIALES					
Términos de pago	Contado via deposito banco		Moneda	Soles	
Plazo de entrega	Entrega previa coordinación		Condiciones de Entrega	Puesto en planta BASF.CC	
Las condiciones comerciales generales del Acuerdo Comercial del presente documento se encuentran en el formulario adjunto a la presente Cotización. La validez de la cotización es de 30 días, salvo acuerdo expreso por escrito. Todo crédito está necesariamente sujeto a una evaluación previa, para lo cual EL CLIENTE deberá enviar los documentos solicitados por nuestra área de Créditos con por lo menos 3 días útiles de anticipación a la entrega de los productos y/o servicios solicitados.					

BASF Construction Chemicals Perú S.A.
Jr. Plácido Jiménez 630, Lima 1- Perú
Tel. : (51-1) 219-0630
www.la.cc.basf.com





ANEXO E: RESULTADOS DE ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE, DE LOS DISEÑOS EN ANÁLISIS.

E.1: Diseño patrón f'c=210 kg/cm², d1 – p.

Diseño de Mezcla f'C=210 kg/cm ² (D1 - P)									
Fecha de vaciado: 06 de junio 2018					fecha de ensayo: 04 de julio de 2018				
28 días									
CODIGO	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	FUERZA (lbf)	FUERZA (Kgf)	F'C (kg/cm ²)	F'C (prom)	%	% (prom)	TIPO (falla)
D1/P - 01	10.08	79.80	49500	22453.20	281.37		133.99%		2a
D1/P - 02	10.08	79.80	60500	27442.80	343.90		163.76%		2a
D1/P - 03	10.08	79.80	50500	22906.80	287.06		136.69%		2a
D1/P - 04	10.08	79.80	63000	28576.80	358.11		170.53%		2a
D1/P - 05	10.08	79.80	50000	22680.00	284.21		135.34%		2a
D1/P - 06	10.08	79.80	63000	28576.80	358.11		170.53%		2a
D1/P - 07	10.08	79.80	73000	33112.80	414.95		197.60%		2b
D1/P - 08	10.08	79.80	63000	28576.80	358.11		170.53%		2a
D1/P - 09	10.08	79.80	60000	27216.00	341.06		162.41%		2a
D1/P - 10	10.08	79.80	62000	28123.20	352.42		167.82%		2a
D1/P - 11	10.08	79.80	45000	20412.00	255.79		121.81%		2b
D1/P - 12	10.08	79.80	40100	18189.36	227.94		108.54%		2a
D1/P - 13	10.08	79.80	65100	29529.36	370.05		176.21%		2a
D1/P - 14	10.08	79.80	63000	28576.80	358.11		170.53%		2b
D1/P - 15	10.08	79.80	60000	27216.00	341.06	307.33	162.41%	146.35%	2b
D1/P - 16	10.08	79.80	45000	20412.00	255.79		121.81%		2a
D1/P - 17	10.08	79.80	55500	25174.80	315.48		150.23%		2a
D1/P - 18	10.08	79.80	50100	22725.36	284.78		135.61%		2a
D1/P - 19	10.08	79.80	49900	22634.64	283.65		135.07%		2a
D1/P - 20	10.08	79.80	62300	28259.28	354.13		168.63%		2a
D1/P - 21	10.08	79.80	49000	22226.40	278.53		132.63%		2b
D1/P - 22	10.08	79.80	48900	22181.04	277.96		132.36%		4
D1/P - 23	10.08	79.80	50000	22680.00	284.21		135.34%		2a
D1/P - 24	10.08	79.80	49900	22634.64	283.65		135.07%		4
D1/P - 25	10.08	79.80	51000	23133.60	289.90		138.05%		2a
D1/P - 26	10.08	79.80	49400	22407.84	280.80		133.72%		2a
D1/P - 27	10.08	79.80	48500	21999.60	275.69		131.28%		2b
D1/P - 28	10.08	79.80	47100	21364.56	267.73		127.49%		2a
D1/P - 29	10.08	79.80	48200	21863.52	273.98		130.47%		2a
D1/P - 30	10.08	79.80	49500	22453.20	281.37		133.99%		2a



E.2: Diseño patrón f'c=280 kg/cm2, d2 – p.

Diseño de Mezcla f'C=280 kg/cm2 (D2/P)									
Fecha de vaciado: 12 de junio 2018					fecha de ensayo: 10 de julio de 2018				
28 DÍAS									
CODIGO	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm2)	FUERZA (lbf)	FUERZA (Kgf)	F'C (kg/cm2)	F'C (prom)	%	% (prom)	TIPO (falla)
D2/P - 01	10.08	79.80	62500	28350.00	355.27		169.17%		2b
D2/P - 02	10.08	79.80	62000	28123.20	352.42		167.82%		2a
D2/P - 03	10.08	79.80	65000	29484.00	369.48		175.94%		3
D2/P - 04	10.08	79.80	63200	28667.52	359.25		171.07%		2b
D2/P - 05	10.08	79.80	62100	28168.56	352.99		168.09%		2b
D2/P - 06	10.08	79.80	65000	29484.00	369.48		175.94%		2a
D2/P - 07	10.08	79.80	63200	28667.52	359.25		171.07%		2a
D2/P - 08	10.08	79.80	65400	29665.44	371.75		177.02%		2b
D2/P - 09	10.08	79.80	62000	28123.20	352.42		167.82%		2a
D2/P - 10	10.08	79.80	64000	29030.40	363.79		173.23%		2b
D2/P - 11	10.08	79.80	62400	28304.64	354.70		168.90%		2b
D2/P - 12	10.08	79.80	65300	29620.08	371.18		176.75%		2b
D2/P - 13	10.08	79.80	58400	26490.24	331.96		158.08%		2a
D2/P - 14	10.08	79.80	58800	26671.68	334.24		159.16%		2b
D2/P - 15	10.08	79.80	61000	27669.60	346.74	367.47	165.11%	174.99%	2a
D2/P - 16	10.08	79.80	66000	29937.60	375.16		178.65%		2a
D2/P - 17	10.08	79.80	65000	29484.00	369.48		175.94%		2a
D2/P - 18	10.08	79.80	60800	27578.88	345.60		164.57%		2a
D2/P - 19	10.08	79.80	64000	29030.40	363.79		173.23%		2a
D2/P - 20	10.08	79.80	70000	31752.00	397.90		189.48%		2a
D2/P - 21	10.08	79.80	68000	30844.80	386.53		184.06%		2a
D2/P - 22	10.08	79.80	67000	30391.20	380.85		181.36%		2a
D2/P - 23	10.08	79.80	65000	29484.00	369.48		175.94%		2a
D2/P - 24	10.08	79.80	65000	29484.00	369.48		175.94%		2a
D2/P - 25	10.08	79.80	66000	29937.60	375.16		178.65%		2a
D2/P - 26	10.08	79.80	68000	30844.80	386.53		184.06%		2a
D2/P - 27	10.08	79.80	69500	31525.20	395.06		188.12%		2a
D2/P - 28	10.08	79.80	68000	30844.80	386.53		184.06%		2a
D2/P - 29	10.08	79.80	68300	30980.88	388.24		184.87%		2a
D2/P - 30	10.08	79.80	68500	31071.60	389.37		185.42%		2a



E.3: Diseño con microsíllice $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, $d1 - 15\%m$ ($85\%h+15\%p$).

Diseño de Mezcla $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ (D1 - M15%)								
Fecha de vaciado: 20 de junio, 2018				fecha de ensayo: 18 de julio de 2018				
28 DÍAS								
CODIGO	DIÁMETRO	ÁREA	FUERZA	F'C	F'C	%	% (prom)	TIPO
D1/15M - 01	10.08	79.80	26360	330.33		157.30%		2a
D1/15M - 02	10.08	79.80	26320	329.83		157.06%		3
D1/15M - 03	10.08	79.80	27440	343.86		163.74%		2a
D1/15M - 04	10.08	79.80	27140	340.10		161.95%		4
D1/15M - 05	10.08	79.80	26880	336.85		160.40%		2a
D1/15M - 06	10.08	79.80	26460	331.58		157.90%		2a
D1/15M - 07	10.08	79.80	27680	346.87		165.18%		2a
D1/15M - 08	10.08	79.80	27940	350.13		166.73%		1
D1/15M - 09	10.08	79.80	28790	360.78		171.80%		2a
D1/15M - 10	10.08	79.80	28070	351.76		167.50%		2a
D1/15M - 11	10.08	79.80	27780	348.12		165.77%		4
D1/15M - 12	10.08	79.80	26600	333.34		158.73%		2a
D1/15M - 13	10.08	79.80	26830	336.22		160.10%		2a
D1/15M - 14	10.08	79.80	27860	349.13		166.25%		2a
D1/15M - 15	10.08	79.80	27570	345.49	339.49	164.52%	161.66%	3
D1/15M - 16	10.08	79.80	26440	331.33		157.78%		2b
D1/15M - 17	10.08	79.80	26830	336.22		160.10%		2a
D1/15M - 18	10.08	79.80	28070	351.76		167.50%		2b
D1/15M - 19	10.08	79.80	25970	325.44		154.97%		2a
D1/15M - 20	10.08	79.80	28370	355.52		169.29%		2b
D1/15M - 21	10.08	79.80	26740	335.09		159.57%		3
D1/15M - 22	10.08	79.80	28660	359.15		171.02%		3
D1/15M - 23	10.08	79.80	27340	342.61		163.15%		2a
D1/15M - 24	10.08	79.80	26180	328.07		156.23%		2b
D1/15M - 25	10.08	79.80	28190	353.26		168.22%		2a
D1/15M - 26	10.08	79.80	25370	317.92		151.39%		2a
D1/15M - 27	10.08	79.80	26420	331.08		157.66%		2a
D1/15M - 28	10.08	79.80	26630	333.71		158.91%		3
D1/15M - 29	10.08	79.80	25710	322.18		153.42%		2b
D1/15M - 30	10.08	79.80	26090	326.95		155.69%		3



E.4: Diseño con microsíllice $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, $d1 - 10\% m (85\%h+15\%p)$.

Diseño de Mezcla $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ (D1 - M10%)								
Fecha de vaciado: 15 de junio				fecha de ensayo: 13 de julio de 2018				
28 días								
CODIGO	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	FUERZA (Kgf)	F'C (kg/cm ²)	F'C (prom)	%	% (prom)	TIPO (falla)
D1/10M - 01	10.08	79.80	25620	321.06		152.88%		2a
D1/10M - 02	10.08	79.80	24800	310.78		147.99%		2a
D1/10M - 03	10.08	79.80	21610	270.80		128.95%		2a
D1/10M - 04	10.08	79.80	26200	328.32		156.34%		2a
D1/10M - 05	10.08	79.80	25800	323.31		153.96%		2a
D1/10M - 06	10.08	79.80	26430	331.21		157.72%		2b
D1/10M - 07	10.08	79.80	28260	354.14		168.64%		2a
D1/10M - 08	10.08	79.80	23050	288.85		137.55%		2a
D1/10M - 09	10.08	79.80	22400	280.70		133.67%		2a
D1/10M - 10	10.08	79.80	26400	330.83		157.54%		2b
D1/10M - 11	10.08	79.80	22710	284.59		135.52%		2b
D1/10M - 12	10.08	79.80	25680	321.81		153.24%		2a
D1/10M - 13	10.08	79.80	25540	320.05		152.41%		2a
D1/10M - 14	10.08	79.80	26210	328.45		156.40%		2a
D1/10M - 15	10.08	79.80	28670	359.28	321.10	171.08%	152.90%	2b
D1/10M - 16	10.08	79.80	25430	318.68		151.75%		2a
D1/10M - 17	10.08	79.80	27710	347.25		165.36%		2a
D1/10M - 18	10.08	79.80	26380	330.58		157.42%		2b
D1/10M - 19	10.08	79.80	25560	320.30		152.53%		4
D1/10M - 20	10.08	79.80	27380	343.11		163.39%		2a
D1/10M - 21	10.08	79.80	26140	327.57		155.99%		2a
D1/10M - 22	10.08	79.80	25400	318.30		151.57%		2a
D1/10M - 23	10.08	79.80	26650	333.96		159.03%		2a
D1/10M - 24	10.08	79.80	25200	315.79		150.38%		2a
D1/10M - 25	10.08	79.80	22920	287.22		136.77%		2a
D1/10M - 26	10.08	79.80	26460	331.58		157.90%		2a
D1/10M - 27	10.08	79.80	22870	286.59		136.47%		3
D1/10M - 28	10.08	79.80	27210	340.98		162.37%		2b
D1/10M - 29	10.08	79.80	26860	336.60		160.28%		2b
D1/10M - 30	10.08	79.80	27150	340.23		162.01%		2b



E.5: Diseño con microsíllice $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, $d1 - 7\% m$ ($85\%h+15\%p$).

Diseño de Mezcla $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ (D1/M7%)									
Fecha de vaciado: 14 de agosto 2018					fecha de ensayo: 11 de setiembre 2018				
28 días									
CODIGO	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	FUERZA (KN)	FUERZA (Kgf)	F'C (kg/cm ²)	F'C (prom)	%	% (prom)	TIPO (falla)
D1/7M - 01	10.08	79.80	225.1	22953.45	287.64		136.97%		2a
D1/7M - 02	10.08	79.80	248.9	25380.33	318.05		151.45%		4
D1/7M - 03	10.08	79.80	228.9	23340.93	292.50		139.28%		2a
D1/7M - 04	10.08	79.80	221.7	22606.75	283.30		134.90%		2b
D1/7M - 05	10.08	79.80	258.7	26379.64	330.58		157.42%		2a
D1/7M - 06	10.08	79.80	229.2	23371.52	292.88		139.47%		2a
D1/7M - 07	10.08	79.80	231.5	23606.06	295.82		140.87%		2a
D1/7M - 08	10.08	79.80	221.8	22616.95	283.42		134.96%		2a
D1/7M - 09	10.08	79.80	225.4	22984.04	288.02		137.15%		2a
D1/7M - 10	10.08	79.80	235.4	24003.74	300.80		143.24%		2a
D1/7M - 11	10.08	79.80	243.1	24788.91	310.64		147.92%		2a
D1/7M - 12	10.08	79.80	238.38	24307.61	304.61		145.05%		4
D1/7M - 13	10.08	79.80	228.5	23300.15	291.98		139.04%		2a
D1/7M - 14	10.08	79.80	225.8	23024.83	288.53		137.40%		2a
D1/7M - 15	10.08	79.80	258.5	26359.25	330.32		157.30%		2a
D1/7M - 16	10.08	79.80	212.1	21627.84	271.03	317.03	129.06%	150.97%	2b
D1/7M - 17	10.08	79.80	255.1	26012.55	325.98		155.23%		2b
D1/7M - 18	10.08	79.80	247	25186.59	315.62		150.30%		2a
D1/7M - 19	10.08	79.80	250.5	25543.49	320.10		152.43%		2a
D1/7M - 20	10.08	79.80	305.9	31192.62	390.89		186.14%		2a
D1/7M - 21	10.08	79.80	221.8	22616.95	283.42		134.96%		2b
D1/7M - 22	10.08	79.80	255.8	26083.93	326.87		155.65%		2b
D1/7M - 23	10.08	79.80	270.9	27623.67	346.17		164.84%		2a
D1/7M - 24	10.08	79.80	267.7	27297.37	342.08		162.89%		2a
D1/7M - 25	10.08	79.80	300.1	30601.20	383.48		182.61%		2B
D1/7M - 26	10.08	79.80	251.2	25614.86	320.99		152.85%		2a
D1/7M - 27	10.08	79.80	301.5	30743.96	385.27		183.46%		2a
D1/7M - 28	10.08	79.80	245.8	25064.23	314.09		149.57%		2a
D1/7M - 29	10.08	79.80	255.6	26063.53	326.61		155.53%		2a
D1/7M - 30	10.08	79.80	281.1	28663.77	359.20		171.05%		2a



E.6: Diseño con microsíllice $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$, $d_2 - 15\%m$ ($83\%h+17\%p$).

Diseño de Mezcla $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ (D2 - M15%)									
Fecha de vaciado: 13 de julio, 2018					fecha de ensayo: 10 de agosto 2018				
28 días									
CODIGO	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	FUERZA (KN)	FUERZA (Kgf)	F'C (kg/cm ²)	F'C (prom)	%	% (prom)	TIPO (falla)
D2/15M - 01	10.08	79.80	276.2	28164.11	352.94		168.07%		2b
D2/15M - 02	10.08	79.80	316.7	32293.90	404.69		192.71%		2a
D2/15M - 03	10.08	79.80	320.2	32650.79	409.16		194.84%		2a
D2/15M - 04	10.08	79.80	303.4	30937.70	387.69		184.62%		2a
D2/15M - 05	10.08	79.80	312.2	31835.03	398.94		189.97%		2b
D2/15M - 06	10.08	79.80	327.9	33435.96	419.00		199.52%		2a
D2/15M - 07	10.08	79.80	327.3	33374.78	418.23		199.16%		2b
D2/15M - 08	10.08	79.80	322.3	32864.93	411.85		196.12%		2b
D2/15M - 09	10.08	79.80	320.3	32660.99	409.29		194.90%		3
D2/15M - 10	10.08	79.80	316.9	32314.29	404.95		192.83%		2a
D2/15M - 11	10.08	79.80	318.3	32457.05	406.73		193.68%		2a
D2/15M - 12	10.08	79.80	320.6	32691.58	409.67		195.08%		2b
D2/15M - 13	10.08	79.80	317.8	32406.07	406.10		193.38%		2a
D2/15M - 14	10.08	79.80	319.08	32536.59	407.73		194.16%		2b
D2/15M - 15	10.08	79.80	317.1	32334.69	405.20	382.78	192.95%	182.28%	2b
D2/15M - 16	10.08	79.80	282.8	28837.12	361.37		172.08%		2b
D2/15M - 17	10.08	79.80	281.4	28694.36	359.58		171.23%		2a
D2/15M - 18	10.08	79.80	281.9	28745.34	360.22		171.53%		3
D2/15M - 19	10.08	79.80	288.1	29377.56	368.14		175.31%		2b
D2/15M - 20	10.08	79.80	282.8	28837.12	361.37		172.08%		2b
D2/15M - 21	10.08	79.80	283.5	28908.50	362.27		172.51%		2a
D2/15M - 22	10.08	79.80	284.3	28990.07	363.29		172.99%		2a
D2/15M - 23	10.08	79.80	285.1	29071.65	364.31		173.48%		2b
D2/15M - 24	10.08	79.80	279.3	28480.22	356.90		169.95%		2a
D2/15M - 25	10.08	79.80	280.6	28612.78	358.56		170.74%		2b
D2/15M - 26	10.08	79.80	288.5	29418.35	368.65		175.55%		2b
D2/15M - 27	10.08	79.80	279.3	28480.22	356.90		169.95%		2b
D2/15M - 28	10.08	79.80	290.4	29612.09	371.08		176.71%		2a
D2/15M - 29	10.08	79.80	282.5	28806.53	360.99		171.90%		2b
D2/15M - 30	10.08	79.80	279.9	28541.40	357.67		170.32%		2b



E.7: Diseño con microsíllice $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$, $d_2 - 10\%m$ ($83\%h+17\%p$).

Diseño de Mezcla $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ (D2 - M10%)									
Fecha de vaciado: 31 de julio, 2018					fecha de ensayo: 28 de agosto 2018				
28 días									
CODIGO	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	FUERZA (KN)	FUERZA (Kgf)	F'C (kg/cm ²)	F'C (prom)	%	% (prom)	TIPO (falla)
D2/10M - 01	10.08	79.80	267.4	27266.78	341.69		162.71%		2a
D2/10M - 02	10.08	79.80	267.7	27297.37	342.08		162.89%		2a
D2/10M - 03	10.08	79.80	274	27939.78	350.13		166.73%		2a
D2/10M - 04	10.08	79.80	264.4	26960.87	337.86		160.89%		1
D2/10M - 05	10.08	79.80	279.5	28500.62	357.15		170.07%		2a
D2/10M - 06	10.08	79.80	301.3	30723.56	385.01		183.34%		3
D2/10M - 07	10.08	79.80	300.6	30652.18	384.12		182.91%		4
D2/10M - 08	10.08	79.80	289.6	29530.51	370.06		176.22%		2a
D2/10M - 09	10.08	79.80	295.8	30162.73	377.98		179.99%		2a
D2/10M - 10	10.08	79.80	300.1	30601.20	383.48		182.61%		2b
D2/10M - 11	10.08	79.80	294.1	29989.38	375.81		178.96%		2a
D2/10M - 12	10.08	79.80	295.2	30101.54	377.22		179.63%		2a
D2/10M - 13	10.08	79.80	308.3	31437.35	393.96		187.60%		2a
D2/10M - 14	10.08	79.80	300.4	30631.79	383.86		182.79%		2a
D2/10M - 15	10.08	79.80	302.8	30876.52	386.93	375.14	184.25%	178.64%	2a
D2/10M - 16	10.08	79.80	285	29061.45	364.18		173.42%		3
D2/10M - 17	10.08	79.80	295.4	30121.94	377.47		179.75%		2a
D2/10M - 18	10.08	79.80	291.8	29754.85	372.87		177.56%		2a
D2/10M - 19	10.08	79.80	306.7	31274.20	391.91		186.62%		2a
D2/10M - 20	10.08	79.80	310.5	31661.69	396.77		188.94%		2a
D2/10M - 21	10.08	79.80	299	30489.03	382.07		181.94%		3
D2/10M - 22	10.08	79.80	297.2	30305.48	379.77		180.84%		2a
D2/10M - 23	10.08	79.80	314.3	32049.17	401.62		191.25%		4
D2/10M - 24	10.08	79.80	294.2	29999.57	375.94		179.02%		3
D2/10M - 25	10.08	79.80	288.8	29448.94	369.04		175.73%		2b
D2/10M - 26	10.08	79.80	298.6	30448.24	381.56		181.70%		2a
D2/10M - 27	10.08	79.80	293.7	29948.59	375.30		178.71%		2a
D2/10M - 28	10.08	79.80	295.3	30111.74	377.34		179.69%		4
D2/10M - 29	10.08	79.80	292.1	29785.44	373.26		177.74%		2a
D2/10M - 30	10.08	79.80	303.4	30937.70	387.69		184.62%		2b



E.8: Diseño con microsíllice $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$, $d_2 - 7\% m$ ($83\%h+17\%p$).

Diseño de Mezcla $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ (D2 - M7%)									
Fecha de vaciado: 15 de agosto, 2018					fecha de ensayo: 12 de setiembre 2018				
28 días									
CODIGO	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	FUERZA (KN)	FUERZA (Kgf)	F'C (kg/cm ²)	F'C (prom)	%	% (prom)	TIPO (falla)
D2/7M - 01	10.08	79.80	300.20	30611.39	383.61		182.67%		2a
D2/7M - 02	10.08	79.80	302.00	30794.94	385.91		183.76%		2a
D2/7M - 03	10.08	79.80	303.30	30927.50	387.57		184.56%		2a
D2/7M - 04	10.08	79.80	299.20	30509.42	382.33		182.06%		2a
D2/7M - 05	10.08	79.80	295.50	30132.14	377.60		179.81%		2a
D2/7M - 06	10.08	79.80	297.10	30295.29	379.64		180.78%		2a
D2/7M - 07	10.08	79.80	298.80	30468.64	381.82		181.82%		2a
D2/7M - 08	10.08	79.80	287.10	29275.59	366.87		174.70%		2a
D2/7M - 09	10.08	79.80	296.30	30213.71	378.62		180.30%		2a
D2/7M - 10	10.08	79.80	288.10	29377.56	368.14		175.31%		2a
D2/7M - 11	10.08	79.80	294.7	30050.56	376.58		179.32%		3
D2/7M - 12	10.08	79.80	288.4	29408.15	368.53		175.49%		3
D2/7M - 13	10.08	79.80	268.1	27338.16	342.59		163.14%		2b
D2/7M - 14	10.08	79.80	276.6	28204.90	353.45		168.31%		2a
D2/7M - 15	10.08	79.80	292.8	29856.82	374.15	374.08	178.17%	178.13%	2a
D2/7M - 16	10.08	79.80	278.91	28440.45	356.40		169.71%		2a
D2/7M - 17	10.08	79.80	262.3	26746.73	335.18		159.61%		2a
D2/7M - 18	10.08	79.80	329.9	33639.90	421.56		200.74%		2a
D2/7M - 19	10.08	79.80	288.1	29377.56	368.14		175.31%		2a
D2/7M - 20	10.08	79.80	286.23	29186.87	365.75		174.17%		2a
D2/7M - 21	10.08	79.80	282.19	28774.91	360.59		171.71%		2a
D2/7M - 22	10.08	79.80	290.06	29577.42	370.65		176.50%		2a
D2/7M - 23	10.08	79.80	283.13	28870.77	361.79		172.28%		2a
D2/7M - 24	10.08	79.80	290.01	29572.32	370.58		176.47%		2a
D2/7M - 25	10.08	79.80	289.2	29489.72	369.55		175.98%		2a
D2/7M - 26	10.08	79.80	288.7	29438.74	368.91		175.67%		2a
D2/7M - 27	10.08	79.80	330.3	33680.69	422.07		200.98%		2a
D2/7M - 28	10.08	79.80	301.5	30743.96	385.27		183.46%		2a
D2/7M - 29	10.08	79.80	295.35	30116.84	377.41		179.72%		2a
D2/7M - 30	10.08	79.80	298.18	30405.41	381.02		181.44%		2a

ANEXO F: REGISTRO FOTOGRÁFICO.



Ensayo, cantidad de fino que pasa el tamiz N° 200 del agregado grueso, realizado en el laboratorio de la escuela profesional de Ingeniería Civil de la Unsaac.



Ensayo, cantidad de fino que pasa el tamiz N° 200 de la arena gruesa de Huambutio, realizado en el laboratorio de la escuela profesional de Ingeniería Civil de la Unsaac.



Ensayo, Análisis granulométrico del agregado grueso, realizado en el laboratorio de la escuela profesional de Ingeniería Civil de la Unsaac.



Vista del agregado grueso de Huambutio, después de realizado el ensayo de granulometría en el laboratorio de la escuela profesional de Ingeniería Civil de la Unsaac.



Ensayo, Peso específico del agregado grueso de Huambutio y peso después de secado al horno, realizado en el laboratorio de la escuela profesional de Ingeniería Civil de la Unsaac.



Ensayo, peso unitario suelto y compactado-agregado grueso, se muestra también el procedimiento de cuarteo de la muestra, para mejores resultados.



Ensayo, peso unitario suelto y compactado-agregado grueso, se realiza el peso de la muestra compactada, con uso de balanza del laboratorio.



Se muestra lavado del agregado fino, arena gruesa de Huambutio, para realizar el ensayo de material que pasa el tamiz N°200.



Se aprecia el lavado de las arenas, tanto de Huambutio como de Pisac, para realizar el ensayo cantidad de fino que pasa el tamiz N°200. Se muestra el retenido.



Imagen comparativa entre la arena de Huambutio y de Pisac, después de decantar el agua para poder realizar el ensayo de Cantidad de material que pasa el tamiz N°200.



Se aprecia material retenido del agregado fino de Huambutio, en los diferentes tamices normados, análisis granulométrico realizado en el laboratorio de la Unsaac.



Se observa el cuarteo del material para su ensayo de análisis granulométrico del agregado fino, realizado en el laboratorio de la escuela profesional de ingeniería civil.



Material seco después de horno, para realizar el ensayo de peso específico del agregado fino de Huambutio, realizado en el laboratorio de la escuela profesional de ingeniería civil.



Ensayo de revenimiento en cono, para establecer la condición SSS del agregado fino de Huambutio, realizado en el laboratorio de la escuela profesional de ingeniería civil.



Se realiza peso del material en condición SSS, de la arena fina de Pisac para realizar el ensayo de peso específico, realizado en el laboratorio de la escuela profesional de ingeniería civil.



Se observa la extracción de aire con ayuda de un tubo de precipitados de aire, y su correspondiente pesado con el matraz, para en ensayo de peso específico del agregado fino.



Se observa la extracción de la muestra después de pesado, para llevarlo al horno y secar la muestra hasta peso constante, ensayo realizado por los Tesistas en el laboratorio de la EPIC.



Se aprecia el preparado del trompo de 11p3 de capacidad, para iniciar los vaciados de prueba, procedimiento realizado en instalaciones dentro del laboratorio.



Se observa los insumos ya pesados y dentro del trompo antes del vaciado, se aprecia la diferencia en el color de la microsilíce y del cemento.



Pruebas erróneas de reducción de cemento en los diseños patrones, se puede observar la falta de recubrimiento de la pasta en los áridos. Se concluye aumentar cemento.



Se continúa con los vaciados de prueba, se observa la dificultad de ascensión de la pasta hacia la superficie, en la segunda imagen se observa la ascensión óptima, después de corregir la cantidad de agregado fino y la de cemento.



Se observa las primeras briquetas de prueba, donde se aprecia después del desencofrado, la excesiva cantidad de porosidad y/o cangrejeras. Se descarta el diseño.



Diseño de prueba corregido, se puede observar la cantidad suficiente de pasta para evitar cangrejeras y otros problemas como la trabajabilidad.



Se observa los primeros vaciados en tandas pequeñas, de los diseños ya corregidos en cuanto a la cantidad de cemento reducido y compensación de agregados finos.



Se muestra el curado de las primeras muestras de los diseños corregidos, realizado en el laboratorio de la escuela profesional de ingeniería civil. Se observa su codificación para la correcta toma de datos.



Se inicia con los pesajes de insumos para tandas mayores de 32-36 briquetas, actividades realizadas dentro del laboratorio de la universidad y realizado por los Tesistas.



Se observa los insumos como cemento, microsilice, aditivo super plastificante y agregados, para el vaciado de tandas finales.



Se observa la utilización de un trompo de concreto convencional, para simular un vaciado real en obra, se realiza la limpieza del trompo antes de los vaciados.



Extracción de mezcla del trompo, con procedimientos convencionales de un obra cualquiera. Realizado por los Tesistas en el laboratorio de la escuela profesional de ingeniería civil.



Se muestra la primera tanda de 30 muestras de uno de los diseños patrones en análisis, realizado en el laboratorio de la escuela profesional de ingeniería civil.



Se observa la realización de pruebas de revenimiento en las mezclas antes de iniciar con el vaciado de briquetas y su posterior compactado.



Se realiza el acabado de las muestras, para la mejor ejecución de ensayo a compresión, el vaciado, fraguado y curado se realizó dentro de las instalaciones del laboratorio.



Se aprecia el vaciado de una tanda de 30 briquetas, se muestra el compactado normalizado de las probetas, según la normativa correspondiente.



Se aprecia el ensayo de revenimiento de la mezcla D2-P, para dicho procedimiento se utilizó el cono de Abram del laboratorio de la escuela profesional de ingeniería civil.



Se aprecia el ensayo de revenimiento de la mezcla D1-7%M, para dicho procedimiento se utilizó el cono de Abram del laboratorio de la escuela profesional de ingeniería civil.



Se observa el desencofrado de las briquetas, y se procede a su codificación para proceder con el curado correspondiente, según los procedimientos establecidos.



Se continúa con los desencofrados de probetas del diseño D2-15%M, y se procede a su codificación para llevarlos a los cilindros de curado.



Se observa labores de chuseado en tres capas para la prueba de revenimiento, y el desencofrado de briquetas con ayuda de agua caliente para dilatar los recipientes de polietileno.



Codificación de testigos, diseño D2-7%, para su posterior curado dentro del laboratorio de la escuela profesional de ingeniería civil.



Se observa el curado de los testigos, y se procede a su secado a la intemperie, durante el tiempo normado, antes de someterlo al ensayo de compresión simple.



Preparado de los testigos a los 28 días de su vaciado, para iniciar los ensayos a compresión simple, en el laboratorio externo ZAENZA.



Se observa las tandas de los diseños patrones $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$ y $f'c=280\text{ kg}/\text{cm}^2$, se colocan en orden según su codificación para poder realizar el ensayo de compresión.



Se observa la toma de datos de la superficie de los testigos, diametro de la base, con el uso de vernier en el laboratorio.



Se observa además la toma de datos como la altura de las probetas para calcular su volumen, se muestra la tanda D1-15%M, listo para su ensayo.



Se puede observar el resultado de un ensayo de briqueta D1-15%M en la maquina compresora digital del laboratorio de Mecánica de Suelos.



Es preciso señalar que se hizo algunas pruebas con compresoras antiguas del laboratorio, para poder comparar resultados con datos obtenidos fuera y reducir la dispersión de los datos.



Preparado de la tanda D1-10%M para su ensayo dentro del laboratorio, se realizó con ayuda del personal técnico correspondiente.



Ensayo a compresión simple de testigos de las tandas D1-7%M, en el laboratorio externo ZAENZA, la lectura se da en KN por lo que se necesitó realizar la transformación detallado en las tablas de los anexos.



Se observa diferentes tipos de fallas en los vaciados con microsíllice D2-15%M, se toma datos del tipo de falla y se consigna en las tablas de los anexos.



Ensayo de testigos de los diseños D2-7%M y D2-15%M, se observa el tipo de falla cónico dúctil, ensayos realizados en el laboratorio externo ZAENZA.



Se realiza la observación de los tipos de fallas, se junta las briquetas ensayadas para su estudio, ensayos del diseño D1-15%M dentro del laboratorio.



Algunos resultados del ensayo del D2-7%, las lecturas que se observan están en KN, y se realizó la posterior transformación en kg/cm^2 , más detalle en las tablas anexos.



Se observa diferentes tipos de fallas en los vaciados con microsíllice D2-15%M, se toma datos del tipo de falla y se consigna en las tablas de los anexos.



Se observa resultados de algunos testigos del D2-7%M a compresión simple, en el laboratorio externo ZAENZA, lectura en KN.



Se observa briquetas ensayadas de los diseños con microsíllice, se puede apreciar la composición y acomodo de la pasta y áridos finos – gruesos.



En la primera imagen se observa la realización de la prueba a compresión por los Tesistas, con uso del equipo digital del laboratorio. En la segunda imagen se muestra el tipo de falla dúctil de forma cónica y el acomodo de la pasta y los áridos.