

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**“MEJORA DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO
ESTRUCTURAL MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL
CEMENTO PORTLAND TIPO MS POR
NANOSÍLICE - CHIMBOTE”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO CIVIL**

AUTORES:

Bach. DÍAZ DÍAZ, Yuriko Yosselyn Banet
Bach. ESTRADA SAAVEDRA, Jonathan Fabian

ASESOR:

Ms. Ing. RIVASPLATA DÍAZ, Julio César

NUEVO CHIMBOTE - PERÚ
2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**“MEJORA DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO ESTRUCTURAL
MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND
TIPO MS POR NANOSÍLICE - CHIMBOTE”**

REVISADO Y APROBADO POR:

Ms. Julio César Rivasplata Díaz

Asesor

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**“MEJORA DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO ESTRUCTURAL
MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND
TIPO MS POR NANOSÍLICE - CHIMBOTE”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
CIVIL**

APROBADO POR EL SIGUIENTE JURADO:

Dr. Abner Itamar León Bobadilla

Presidente

Mg. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla

Secretaria

Ms. Julio César Rivasplata Díaz

Integrante



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil
- EPIC -

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

A los 02 días del mes de agosto del año dos mil veintidós, siendo las tres horas de la tarde, en el Aula C-1 de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante T. Resolución N° 196-2022-UNS-CFI, integrado por los siguientes docentes: Dr. Abner Itamar León Bobadilla (Presidente), Ms. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla (Secretaria), Ms. Julio César Rivasplata Díaz (Integrante), y Ms. Edgar Gustavo Sparrow Alamo (Accesitario), y en base a la Resolución Decanal N° 418-2022-UNS-FI se da inicio la sustentación de la Tesis titulada: "MEJORA DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO ESTRUCTURAL MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND TIPO MS POR NANOSÍLICE – CHIMBOTE", presentado por los Bachilleres DÍAZ DÍAZ YURIKO YOSSELYN BANET con código de matrícula 0201313044 y ESTRADA SAAVEDRA JONATHAN FABIAN con código de matrícula 0201213037, quienes fueron asesorados por el Ms. Julio César Rivasplata Díaz, según lo establece la T. Resolución Decanal N° 480-2019-UNS-FI, de fecha 23.08.2019.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
DÍAZ DÍAZ YURIKO YOSSELYN BANET	17	Muy Bueno

Siendo las cuatro de la tarde del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 02 de agosto de 2022.


Dr. Abner Itamar León Bobadilla
Presidente


Ms. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla
Secretaria


Ms. Julio César Rivasplata Díaz
Integrante

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

A los 02 días del mes de agosto del año dos mil veintidós, siendo las tres horas de la tarde, en el Aula C-1 de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante T. Resolución N° 196-2022-UNS-CFI, integrado por los siguientes docentes: Dr. Abner Itamar León Bobadilla (Presidente), Ms. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla (Secretaria), Ms. Julio César Rivasplata Díaz (Integrante), y Ms. Edgar Gustavo Sparrow Alamo (Accesitario), y en base a la Resolución Decanal N° 418-2022-UNS-FI se da inicio la sustentación de la Tesis titulada: "MEJORA DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO ESTRUCTURAL MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND TIPO MS POR NANOSÍLICE – CHIMBOTE", presentado por los Bachilleres DÍAZ DÍAZ YURIKO YOSSELYN BANET con código de matrícula 0201313044 y ESTRADA SAAVEDRA JONATHAN FABIAN con código de matrícula 0201213037, quienes fueron asesorados por el Ms. Julio César Rivasplata Díaz, según lo establece la T. Resolución Decanal N° 480-2019-UNS-FI, de fecha 23.08.2019.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

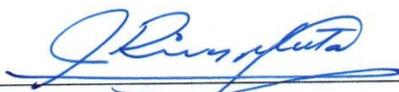
BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
ESTRADA SAAVEDRA JONATHAN FABIAN	17	Muy Bueno

Siendo las cuatro de la tarde del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 02 de agosto de 2022.


Dr. Abner Itamar León Bobadilla
Presidente


Ms. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla
Secretaria


Ms. Julio César Rivasplata Díaz
Integrante



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Julio Cesar Rivasplata Diaz
Título del ejercicio: TESIS YURICO DIAZ
Título de la entrega: TESIS YURICO DUAZ
Nombre del archivo: E_CEMENTO_PORTLAND_TIPO_MS_POR_NANOS_LICE_-_CHIM...
Tamaño del archivo: 36.53M
Total páginas: 266
Total de palabras: 40,792
Total de caracteres: 207,914
Fecha de entrega: 27-mar.-2022 08:00p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre... 1794435033

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**"MEJORA DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO ESTRUCTURAL
MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND
TIPO MS POR NANOSÍLICE - CHIMBOTE"**

PRESENTADO POR:

- Bach. DÍAZ DÍAZ, Yuriko Yosselyn Banet
- Bach. ESTRADA SAAVEDRA, Jonathan Fabian

ASESOR:

- Ms.Eng. Julio César Rivasplata Díaz

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
CIVIL**

NUEVO CHIMBOTE - PERÚ
2022

DEDICATORIA

A Dios en primer lugar, por bríndame salud, por guiar mis pasos, darme fortaleza para seguir adelante en momentos difíciles y principalmente por permitirme realizar el anhelo más importante de mi vida.

A mis padres, Wilfredo y Dora, por su apoyo y amor incondicional, por sus consejos, y valores inculcados que han contribuido en mi formación personal y profesional para trabajar con honestidad y ética.

A mis hermanos, Magaly, Paul y Jair, por brindarme ese gran ejemplo desde pequeña, de que siempre hay que luchar por nuestros sueños y por alentarme siempre a seguir adelante.

A toda mi familia y amistades, por su confianza depositada en mí y por su constante apoyo en el transcurso de estos años.

Y en especial a mis seres queridos que ya no se encuentran conmigo, pero que siempre se preocuparon por mí y que sé que se sentirían orgullosos y felices por verme cumplir esta meta. A mis tíos: Lupe, Eduardo, Víctor, Julia, Guillermo y Marcelina. A mis abuelos: Julio y Feliciano. Que son mis ángeles y me cuidan desde el cielo.

Yuriko Yosselyn Banet Díaz Díaz

DEDICATORIA

A mi familia, en especial a mi abuela Lindaura, quien siempre fue mi principal motivadora para seguir adelante, y luchar por mis metas con perseverancia y esfuerzo.

A mi perrito Baily, por ser un fiel compañero y sacarme sonrisas aun cuando las cosas se ponen difíciles.

Jonathan Fabian Estrada Saavedra

AGRADECIMIENTO

Agradecemos en primer lugar a Dios, por cuidarnos, protegernos, brindarnos salud y asimismo por permitirnos culminar exitosamente la presente tesis y a la vez alcanzar una meta más en nuestra vida académica.

Agradecemos a nuestras familias, por ser nuestra motivación y soporte en los momentos difíciles en el transcurso de esta investigación.

Agradecemos de manera especial a nuestro asesor, el Ms. Ing. Julio César Rivasplata Díaz, quien en todo momento nos brindó siempre su apoyo y aclaró nuestras dudas en la realización de la presente investigación.

Agradecemos a nuestros docentes de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Civil, por compartir su conocimiento, brindarnos su afecto e inculcarnos valores durante toda nuestra etapa universitaria.

Finalmente, agradecemos a la empresa Ulmen S.A, por la donación del aditivo Gaia Microsílice, que nos permitió comprobar los beneficios del aditivo en la mezcla de concreto como sustituto parcial del cemento Portland.

Yuriko Díaz y Fabián Estrada

Índice general

DEDICATORIA	VI
DEDICATORIA	VII
AGRADECIMIENTO	VIII
Índice de tablas	XIX
Índice de figuras.....	XXII
Índice de ecuaciones	XXIII
RESUMEN	XXIV
ABSTRACT.....	XXV
CAPÍTULO I:INTRODUCCIÓN	
1.1.Antecedentes del problema	28
1.2.Formulación del problema	29
1.2.1.Problema general	29
1.2.2.Problemas específicos	29
1.3.Objetivos	29
1.3.1.Objetivo general.....	29
1.3.2.Objetivos específicos	29
1.4.Justificación	30
1.5.Limitaciones del trabajo.....	30
1.5.1.Limitación espacial	30
1.5.2.Limitación temporal.....	30
1.6.Hipótesis de la investigación	30
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1.Antecedentes de la investigación	32
2.1.1.Internacionales	32

2.1.2.Nacionales.....	35
2.2.Base Teórica.....	40
2.2.1.Concreto.....	40
2.2.1.1.Definición	40
2.2.1.2.Componentes del concreto.....	41
2.2.1.2.1.Cemento	42
2.2.1.2.1.1.Cemento portland.....	42
2.2.1.2.1.2.Fabricación del cemento portland.....	43
2.2.1.2.1.3.Tipos de Cemento Portland.....	47
2.2.1.2.1.3.1.Cemento Tipo I	47
2.2.1.2.1.3.2.Cemento Tipo II.....	47
2.2.1.2.1.3.3.Cemento Tipo III.....	49
2.2.1.2.1.3.4.Cemento Tipo IV	49
2.2.1.2.1.3.5.Cemento Tipo V.....	49
2.2.1.2.1.3.6.Cemento Tipo MS.....	50
2.2.1.2.1.4.Cementos en el Perú.....	50
2.2.1.2.2.Agregados	52
2.2.1.2.2.1.Agregado fino	53
2.2.1.2.2.2.Agregado grueso	55
2.2.1.2.2.3.Características de los agregados	58
2.2.1.2.2.3.1.Peso específico.....	58
2.2.1.2.2.3.2.Peso unitario.....	59
2.2.1.2.2.3.3.Porcentaje de vacíos.....	60
2.2.1.2.2.3.4.Absorción.....	60
2.2.1.2.2.3.5.Porosidad.....	60
2.2.1.2.2.3.6.Humedad	61
2.2.1.2.3.Agua.....	61

2.2.1.2.3.1.Introducción	61
2.2.1.2.3.2.Agua de mezcla en el concreto	62
2.2.1.2.4.Nanosílice	68
2.2.1.2.4.1.Descripción	68
2.2.1.2.4.2.GAIA Nanosílice	68
2.2.1.2.4.2.1.Aplicaciones.....	69
2.2.1.2.4.2.2.Propiedades	69
2.2.1.2.4.2.3.Características técnicas	70
2.2.1.2.4.2.4.Nanosílice vs Microsílice.....	70
2.2.1.2.4.3.Influencia en la trabajabilidad.....	72
2.2.1.2.4.4.Influencia en las resistencias a compresión	73
2.2.1.3.Propiedades del concreto	75
2.2.1.3.1.Propiedades del concreto fresco.....	75
2.2.1.3.1.1.Trabajabilidad	75
2.2.1.3.1.2.Segregación.....	76
2.2.1.3.1.3.Exudación	76
2.2.1.3.1.4.Contracción	77
2.2.1.3.2.Propiedades del concreto endurecido.....	77
2.2.1.3.2.1.Elasticidad.....	77
2.2.1.3.2.2.Resistencia	78
2.2.1.3.2.3.Extensibilidad	79
2.3.Definición de términos.....	80
2.4.Marco normativo.....	82
2.5.Marco contextual	86
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1.Tipo de investigación.....	88
3.2.Nivel de investigación.....	88

3.2.1. Según la naturaleza de la información	88
3.2.2. Según el momento en que se recolectan los datos	88
3.2.3. Según el tiempo en que se efectúa	88
3.3. Unidad de análisis	88
3.4. Ubicación	88
3.5. Población y muestra	89
3.5.1. Población	89
3.5.2. Muestra	89
3.6. Variables	90
3.6.1. Variable dependiente	90
3.6.2. Variables independiente	90
3.6.3. Matriz de consistencia	91
3.6.4. Operacionalización de variables	92
3.7. Instrumentos	93
3.8. Procedimientos	94
3.8.1. Procedimiento de los ensayos en laboratorio para determinar las propiedades de los agregados	94
3.8.1.1. Obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo) (NTP 339.089/ASTM C702)	94
3.8.1.1.1. Equipos y Materiales:	94
3.8.1.1.2. Procedimiento:	94
3.8.1.2. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado (NTP 339.185 / ASTM C566)	95
3.8.1.2.1. Equipos y Materiales	95
3.8.1.2.2. Muestra	95
3.8.1.2.3. Procedimiento	96
3.8.1.2.4. Cálculos	97

3.8.1.3. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global (NTP 400.012 / ASTM C136)	97
3.8.1.3.1. Equipos y Materiales.....	97
3.8.1.3.2. Muestra	98
3.8.1.3.3. Procedimiento	98
3.8.1.3.4. Cálculos.....	99
3.8.1.4. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados (NTP 400.017 / ASTM C29)	99
3.8.1.4.1. Equipos y Materiales.....	99
3.8.1.4.2. Muestra	100
3.8.1.4.3. Procedimiento	100
3.8.1.4.4. Cálculos.....	101
3.8.1.5. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino (NTP 400.022 /ASTM C128)	102
3.8.1.5.1. Equipos y Materiales.....	102
3.8.1.5.2. Muestra	102
3.8.1.5.3. Procedimiento	103
3.8.1.5.4. Cálculos.....	104
3.8.1.6. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso (NTP 400.021 /ASTM C127)	105
3.8.1.6.1. Equipos y Materiales.....	105
3.8.1.6.2. Muestra	105
3.8.1.6.3. Procedimiento	106
3.8.1.6.4. Cálculos.....	107
3.8.2. Diseño de Mezcla.....	108
3.8.2.1. Datos necesarios para el Diseño de Mezcla.....	108
3.8.2.1.1. Cemento	108

3.8.2.1.2.Agregados	108
3.8.2.1.3.Agua.....	109
3.8.2.2.Diseño de Mezcla del concreto	109
3.8.2.2.1.Selección de la Resistencia Promedio (F'_{cr})	109
3.8.2.2.2.Selección del tamaño máximo nominal del Agregado Grueso.....	110
3.8.2.2.3.Selección del Asentamiento (Slump).....	111
3.8.2.2.4.Selección del volumen unitario de agua	112
3.8.2.2.5.Selección del contenido de aire.....	113
3.8.2.2.6.Selección de la relación Agua/ Cemento (A/C).....	114
3.8.2.2.7.Cálculo del contenido de cemento	117
3.8.2.2.8.Selección del contenido de Agregado Grueso	117
3.8.2.2.9.Cálculo de los volúmenes absolutos	118
3.8.2.2.10.Cálculo del contenido de Agregado Fino.....	120
3.8.2.2.11.Valores de Diseño	120
3.8.2.2.12.Corrección por humedad de los Agregados	120
3.8.2.2.13.Materiales corregidos.....	122
3.8.2.2.14.Proporción en Peso de los materiales corregidos por Humedad.....	122
3.8.2.2.15.Resumen de las proporciones del concreto.....	123
3.8.3.Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio (NTP 339.183).....	124
3.8.3.1.Elaboración de probetas.....	124
3.8.3.1.1.Equipos y Materiales.....	124
3.8.3.1.1.1.Equipos	124
3.8.3.1.1.2.Materiales.....	124
3.8.3.1.2.Muestra	124
3.8.3.1.3.Procedimiento	125
3.8.3.1.3.1.Mezcla de concreto	125

3.8.3.1.3.2.Determinación del asentamiento	125
3.8.3.1.3.3.Determinación de la temperatura	126
3.8.3.1.3.4.Vaciado del Concreto.....	126
3.8.3.1.3.5.Compactación del Concreto	127
3.8.3.1.3.6.Acabado de cilindros.....	128
3.8.3.2.Curado de probetas	128
3.8.4.Ensayo realizados a las probetas de concreto estructural	129
3.8.4.1.Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland (NTP 339.035).....	129
3.8.4.1.1.Equipos y Materiales.....	129
3.8.4.1.2.Muestra	130
3.8.4.1.3.Procedimiento	130
3.8.4.1.4.Cálculos.....	131
3.8.4.2.Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de hormigón (concreto) (NTP 339.184)	132
3.8.4.2.1.Equipos y Materiales.....	132
3.8.4.2.2.Muestra	132
3.8.4.2.3.Procedimiento	132
3.8.4.2.4.Cálculos.....	132
3.8.4.3.Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas (NTP 339.034)	132
3.8.4.3.1.Equipos y Materiales.....	132
3.8.4.3.2.Muestra	132
3.8.4.3.3.Procedimiento	133
3.8.4.3.4.Cálculos.....	133

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis e interpretación de resultados	1136
4.1.1. Relación a/c de la Muestra Patrón	136
4.1.1.1. Agregado fino de la cantera “ La sorpresa”	137
4.1.1.2. Agregado grueso de la cantera “La sorpresa”	137
4.1.1.3. Diseño de mezcla de la Muestra Patrón	137
4.1.1.3.1. Dosificación en peso del Diseño de Mezcla para un $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ y relación a/c (Muestra Patrón)	138
4.1.2. Propiedades Físicas y Mecánicas de la Muestra Patrón	138
4.1.2.1. Dosificación en peso del Diseño de Mezcla para un $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ (Muestra Patrón)	138
4.1.2.2. Slump de la Muestra Patrón	138
4.1.2.3. Resultados de los Ensayos de Resistencia a la Compresión de testigos de concreto – Muestra Patrón (0% Nanosílice)	139
4.1.3. Propiedades Físicas y Mecánicas de las Mezclas de Concreto Estructural con Sustitución Parcial de Cemento Portland Tipo MS por Nanosílice	140
4.1.3.1. Propiedades Físicas y Mecánicas de la Mezcla de Concreto Estructural con 0.3% de Sustitución Parcial de Nanosílice	140
4.1.3.1.1. Dosificación en peso del Diseño de Mezcla para un $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ (0.3% de Sustitución parcial de Nanosílice)	140
4.1.3.1.2. Slump de la Mezcla de concreto con Sustitución Parcial de Nanosílice al 0.3%	140
4.1.3.1.3. Resultados de los Ensayos de Resistencia a la Compresión de testigos de concreto con sustitución parcial de Nanosílice al 0.3%	141
4.1.3.2. Propiedades Físicas y Mecánicas de la Mezcla de Concreto Estructural con 0.8 % de Sustitución Parcial de Nanosílice	142
4.1.3.2.1. Dosificación en peso del Diseño de Mezcla para un $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ (0.8% de Sustitución parcial de Nanosílice)	142

4.1.3.2.2.Slump de la Mezcla de concreto con Sustitución Parcial de Nanosílice al 0.8%.....	142
4.1.3.2.3.Resultados de los Ensayos de Resistencia a la Compresión de testigos de concreto con sustitución parcial de Nanosílice al 0.8%	143
4.1.3.3.Propiedades Físicas y Mecánicas de la Mezcla de Concreto Estructural con 1.3% de Sustitución Parcial de Nanosílice	144
4.1.3.3.1.Dosificación en peso del Diseño de Mezcla para un $F'c= 210 \text{ Kg/cm}^2$ (1.3% de Sustitución parcial de Nanosílice)	144
4.1.3.3.2.Slump de la Mezcla de concreto con Sustitución Parcial de Nanosílice al 1.3 %.....	144
4.1.3.3.3.Resultados de los Ensayos de Resistencia a la Compresión de testigos de concreto con sustitución parcial de Nanosílice al 1.3%	145
4.1.4.Comparación de las propiedades del Concreto Patrón y el Concreto con Sustitución Parcial de Cemento Portland Tipo MS por Nanosílice.....	146
4.1.4.1.Gráficos de Resistencia a la Compresión de testigos de concreto sin y con sustitución parcial del Cemento Portland tipo MS por Nanosílice al 0.3%, 0.8% y 1.3% para $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$	146
4.1.4.2.Slump del Concreto Patrón y el Concreto con Sustitución Parcial de Cemento Portland Tipo MS por Nanosílice	149
4.1.4.3.Evaluación de las propiedades del Concreto con Sustitución Parcial de Cemento Portland Tipo MS por Nanosílice y selección del mejor porcentaje de Sustitución Parcial	150
4.1.5.Optimización de la relación a/c del Concreto con mejor porcentaje de S.P. de Cemento Portland Tipo MS por Nanosílice.....	150
4.1.5.1.Dosificación en peso del Diseño de Mezcla para un $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ (optimización del mejor% de Sustitución parcial de Nanosílice)	151
4.1.5.2.Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de testigos de concreto con mejor comportamiento resistente (Porcentaje Óptimo)	151
4.1.5.3.Análisis estadístico.....	152

4.1.5.3.1. Análisis estadístico de los testigos de concreto de $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con sustitución parcial óptima de 0.8% de Nanosílice	152
4.1.5.4. Evaluación estadística.....	155
4.1.5.4.1. Concreto con $F'c= 210 \text{ Kg/cm}^2$	155
4.1.5.5. Análisis comparativo del Beneficio - Costo	158
4.1.5.5.1. Análisis de Costos para una Resistencia a la Compresión de 210 Kg/cm^2	158
4.1.5.6. Análisis de la hipótesis de la investigación.....	165
4.1.5.6.1. Hipótesis de la Investigación	165
4.2. Discusión.....	165
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1. Conclusiones.....	169
5.2. Recomendaciones	170
CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
6.1. Referencias bibliográficas.....	173
CAPÍTULO VII: ANEXOS	
7.1. ANEXO 01 – Panel fotográfico.....	178
7.2. ANEXO 02 – Ensayo de los agregados	217
7.3. ANEXO 03 – Diseño de mezcla	230
7.4. ANEXO 04 – Ficha Técnica del Nanosílice	247
7.5. ANEXO 05 - Certificado de calidad del Nanosílice	249
7.6. ANEXO 06 - Hoja de datos de Seguridad del Nanosílice	251
7.7. ANEXO 07 - Ficha Técnica del Cemento	255
7.8. ANEXO 08 - Ensayo de Resistencia a la compresión	258
7.9. ANEXO 09 - Certificado de Calibración.....	264

Índice de tablas

Tabla 1. El concreto como un sistema de cinco componentes.....	42
Tabla 2. Límites granulométricos del agregado fino	53
Tabla 3. Requisitos granulométricos del agregado grueso	56
Tabla 4. Límites permisibles para agua de mezcla y de curado según la Norma ITINTEC 339.088.....	63
Tabla 5. Análisis químicos de Agua de varias fuentes en el Perú	64
Tabla 6. Análisis típicos de agua doméstica y de mar en USA y Canadá expresados en partes por millón.....	65
Tabla 7. Limitaciones en la composición de agua de lavado para su empleo en agua de mezcla	67
Tabla 8. Diferencias entre Nanosílice y Microsílice.....	72
Tabla 9. Cantidad de probetas de concreto	90
Tabla 10. Matriz de consistencia	91
Tabla 11. Operacionalización de variables	92
Tabla 12. Tamaño de la Muestra.....	96
Tabla 13. Cantidad mínima de la muestra de Agregado Grueso o Global	98
Tabla 14. Peso mínimo de la muestra de ensayo	106
Tabla 15. Propiedades del Agregado Fino y Agregado Grueso.....	109
Tabla 16. Resistencia a la Compresión Promedio	110
Tabla 17. Tamaño Máximo nominal del Agregado Grueso	110
Tabla 18. Porcentaje que pasa por las mallas	111
Tabla 19. Asentamiento del concreto por su consistencia	111
Tabla 20. Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción	112
Tabla 21. Volumen unitario de Agua.....	113
Tabla 22. Contenido de aire atrapado	114
Tabla 23. Relación Agua - Cemento por Resistencia	115
Tabla 24. Cálculo de la relación agua/cemento por resistencia	116
Tabla 25. Peso del Agregado Grueso por Unidad de Volumen del Concreto	118
Tabla 26. Volúmenes Absolutos	119
Tabla 27. Proporciones en Peso	123

Tabla 28. Proporciones de mezcla para un m^3 de concreto con Nanosílice.....	123
Tabla 29. Número de capas requeridas en la elaboración de las muestras	127
Tabla 30. Diámetro de varilla y número de golpes por capa	128
Tabla 31. Resultado de los ensayos realizados al Agregado Fino	137
Tabla 32. Resultado de los ensayos realizados al Agregado Grueso	137
Tabla 33. Dosificación en peso del Diseño de Mezcla para un $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ y relación a/c (Muestra Patrón).....	138
Tabla 34. Especímenes $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2 - 0\%$ Nanosílice	139
Tabla 35. Dosificación en peso del Diseño de Mezcla para un $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ (0.3% de Sustitución parcial de Nanosílice)	140
Tabla 36. Especímenes $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2 -$ Sustitución 0.3% Nanosílice.....	141
Tabla 37. Dosificación en peso del Diseño de Mezcla para un $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ (0.8% de Sustitución parcial de Nanosílice)	142
Tabla 38. Especímenes $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2 -$ Sustitución 0.8% Nanosílice.....	143
Tabla 39. Dosificación en peso del Diseño de Mezcla para un $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ (1.3% de Sustitución parcial de Nanosílice)	144
Tabla 40. Especímenes $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2 -$ Sustitución 1.3% Nanosílice.....	145
Tabla 41. Resultados de la Investigación - $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$	149
Tabla 42. Dosificación en peso del Diseño de Mezcla para un $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ (0.8% Porcentaje Óptimo de Sustitución de Nanosílice)	151
Tabla 43. Testigos de concreto de $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ Sustitución Parcial de 0.8% de Cemento Portland MS por Nanosílice evaluados a los 28 días	151
Tabla 44. Resultado de la Estadística Descriptiva de los Testigos de Concreto de $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ con sustitución parcial óptima de 0.8% de Nanosílice	152
Tabla 45. Frecuencia de Concreto de $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ con sustitución parcial óptima de 0.8% de Nanosílice	153
Tabla 46. Tabla de Dispersión del concreto.....	156
Tabla 47. Probabilidad de ocurrencia de los testigos de concreto de $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2 - 0.8\%$ de Nanosílice a los 28 días.....	157
Tabla 48. Costo del Concreto Patrón	158
Tabla 49. Costo del Concreto con 0.3% de sustitución parcial	159
Tabla 50. Costo del Concreto con 0.8% de Sustitución Parcial.....	159

Tabla 51. Costo del Concreto con 1.3% de Sustitución Parcial.....	160
Tabla 52. Costo del Concreto con Porcentaje Óptimo de Sustitución Parcial.....	160
Tabla 53. Comparación de los costos para $F'c= 210 \text{ Kg/cm}^2$	161

Índice de figuras

Figura 1. Horno Rotatorio en una Fábrica Productora de Cemento	44
Figura 2. Etapas en la producción tradicional del cemento Portland.....	44
Figura 3. Etapas en la producción moderna del Cemento Portland, a través del proceso seco	46
Figura 4. Fotografía electrónica de Nanosíllice a 100 nm	69
Figura 5. Estructura de las partículas de Microsíllice y Nanosíllice.....	71
Figura 6. Resistencia a compresión de morteros de control y con sustitución de Nanosíllice .	73
Figura 7. Incremento porcentual de las Resistencias a la Compresión.....	74
Figura 8. Cuarteo sobre una superficie limpia y nivelada	95
Figura 9. Molde para determinar el asentamiento del concreto.....	129
Figura 10. Procedimiento del asentamiento del concreto en estado fresco	131
Figura 11. Esquema de los patrones de tipos de fracturas	134
Figura 12. Comparación de Testigos de Concreto de 210 Kg/cm^2	146
Figura 13. Diagrama de barra de testigos de concreto de $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ VS Sustitución 0.3% Nanosíllice	147
Figura 14. Diagrama de barra de testigos de concreto de $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ VS Sustitución 0.8% Nanosíllice	147
Figura 15. Diagrama de barra de testigos de concreto de $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ VS Sustitución 1.3% Nanosíllice	148
Figura 16. Histograma de testigos de concreto de $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con sustitución parcial óptima de 0.8% de Nanosíllice	153
Figura 17. Distribución Normal- Concreto de $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ sustitución parcial óptima de 0.8% de Nanosíllice	154
Figura 18. Histograma de comparación de costos para un $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$	161
Figura 19. Gráfico de dispersión de costos para un concreto con $F'c= 210 \text{ Kg/cm}^2$	162
Figura 20. Histograma de la comparación de Resistencia a la Compresión para un concreto $F'c= 210 \text{ Kg/cm}^2$	162
Figura 21. Gráfico de dispersión de la comparación de Resistencia a la Compresión para un concreto $F'c= 210 \text{ Kg/cm}^2$	163
Figura 22. Histograma del Análisis comparativo del Beneficio / Costo de las mezclas de concreto estructural.....	163

Índice de ecuaciones

Ecuación 1: Contenido de Humedad de los Agregados.....	97
Ecuación 2: Módulo de fineza del Agregado Fino	99
Ecuación 3: Peso unitario de los Agregados.....	101
Ecuación 4: Peso Específico de Masa del Agregado Fino.....	104
Ecuación 5: Peso Específico de Masa Saturada Superficialmente Seca del Agregado Fino.	104
Ecuación 6: Peso Específico Aparente del Agregado Fino	104
Ecuación 7: Absorción del Agregado Fino.....	104
Ecuación 8: Peso Específico de Masa del Agregado Grueso	107
Ecuación 9: Peso Específico de Masa Saturada Superficialmente Seca del Agregado Grueso	107
Ecuación 10: Peso Específico Aparente del Agregado Grueso	107
Ecuación 11: Absorción del Agregado Grueso.....	107
Ecuación 12: Factor cemento.....	117
Ecuación 13: Coeficiente de Variación.....	155

RESUMEN

El presente trabajo de investigación consiste en mejorar las propiedades del concreto estructural utilizando el aditivo Nanosílice como sustituto parcial del Cemento Portland Tipo MS. Los ensayos a los agregados se realizaron según las Normas Técnicas Peruanas (NTP) y para la elaboración del Diseño de Mezcla se hizo uso de la Metodología de Diseño ACI – 211 para una Resistencia a la Compresión de 210 kg/cm^2 para una muestra patrón y en porcentajes de sustitución parcial de 0.3%, 0.8% y 1.3%.

Posteriormente se elaboraron testigos cilíndricos de concreto para la muestra patrón (sin adición de Nanosílice) y asimismo con los tres porcentajes de sustitución parcial que fueron ensayados a la edad de 7, 14 y 28 días según las Normas ASTM y NTP. Luego de haber realizado los ensayos se determinó que el porcentaje óptimo de sustitución parcial del Cemento Portland por aditivo Nanosílice es de 0.8% con una relación $a/c = 0.54$, por lo cual se elaboró la cantidad de 36 probetas alcanzando la más alta Resistencia a la Compresión obtenida a la edad de 28 días siendo esta de 433.1 kg/cm^2 .

Palabras claves: Sustitución parcial, nanosílice, concreto estructural, cemento portland Tipo MS.

ABSTRACT

The present research work consists of improving the properties of structural concrete using the Nnaosilica additive as a partial substitute for Portland Cement Type MS. The tests on the aggregates were carried out according to the Peruvian Technical Standards (NTP) and for the elaboration of the Mixture Design, the ACI Design Methodology – 211 was used for a Compressive Strength of 210 kg/cm^2 for a standard sample and in percentages of partial substitution of 0.3%, 0.8% and 1.3%.

Subsequently, cylindrical concrete cores were made for the standard sample (without the addition of Nanosilica) and also with the three percentages of partial substitution that were tested at the age of 7,14 and 28 days according to the ASTM and NTP Standards After having carried out the test, it was determined that the optimal percentage of partial substitution of Portland Cement by Nanosilica additive is 0.8% with an a/c ratio = 0.54, for which the amount of 36 specimens was elaborated, reaching the highest Resistance to the Compression obtained at the age of 28 days being 433.1 kg/cm^2 .

Keywords: Partial substitution, nanosilica, structural concrete, portland cement Type MS.

Capítulo I:

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años se han realizado muchas investigaciones basadas en las características de los materiales que participan en la mezcla de concreto, para poder realizar mejoras a las propiedades existentes de los materiales como son: agregados, cemento, agua y aditivos, estos estudios lograron mejorar los procesos de diseño de mezclas.

Hace algunos años se hablaba de la microsíllice como componente indispensable para lograr concretos de alta resistencia. La microsíllice es un polvo demasiado fino que posee propiedades físicas y químicas espectaculares, sin embargo tiene un alto impacto en el medio ambiente y es nocivo para los operarios que manipulan esta sustancia debido a que puede generar enfermedades respiratorias como es la Silicosis entre otras enfermedades a la piel. Es por esta razón que surge un nuevo aditivo en forma líquida que se le denomina Nanosíllice y que posee mejores propiedades que la misma Microsíllice además de poseer la capacidad de plastificar el concreto en estado fresco reduciendo la relación a/c y logrando mejores resultados en el estado endurecido. Además que es un aditivo que tiene un impacto nulo en el medio ambiente por encontrarse en estado líquido. Es debido a ello que se plantea utilizar este aditivo en la mejora de las propiedades de la presente investigación.

Finalmente, esta tesis consta de VII Capítulos los cuales se detallarán a continuación.

En el Capítulo I, se enfoca en los antecedentes y formulación del problema de la misma forma se plantea el problema general como los problemas específicos, el objetivo general, los objetivos específicos, la justificación del problema, las limitaciones que tuvo la investigación y finalmente el planteamiento de la hipótesis.

En el Capítulo II, se observa el marco teórico, que es parte fundamental de la tesis; donde se centra en los antecedentes de la investigación tanto nacionales como internacionales, los cuales nos brindan una visualización más amplia acerca de investigaciones anteriores similares a la nuestra. También se incluye la definición de términos (los cuales no se encuentran dentro de la base teórica), y finalmente el marco normativo donde se incluye las normas aplicadas en nuestra investigación.

En el Capítulo III, se describe el tipo y nivel de investigación, se establece las variables dependientes e independientes, se elabora la matriz de consistencia y la operacionalización de las variables, así como también se detalla cada uno de los instrumentos y procedimientos que se utilizaron para poder lograr los resultados obtenidos.

En el Capítulo IV, se presenta los resultados y las discusiones de cada uno de los ensayos realizados en la investigación en base de los objetivos planteados.

En el Capítulo V, se expone las conclusiones a las que se llegó luego de analizar los resultados obtenidos en la presente tesis, asimismo, se expone las recomendaciones que servirán para futuras investigaciones.

En el Capítulo VI, se presenta las referencias bibliográficas que se utilizaron en la tesis.

Finalmente, en el Capítulo VII, se presenta los anexos de la investigación, donde se incluye el panel fotográfico, los ensayos realizados, el diseño de mezcla, la ficha técnica del cemento, la ficha técnica del aditivo, entre otros.

1.1. Antecedentes del problema

El concreto es un material heterogéneo, compuesto de cemento, agua, agregado fino y agregado grueso. Asimismo, también se suele utilizar con frecuencia otros aditivos que se le agrega a la mezcla de concreto con la finalidad de acelerar o retardar el fraguado, mejorar la trabajabilidad, reducir el agua de mezcla, aumentar la resistencia o cambiar otras propiedades del concreto. **(Rivva López, 1992, p.9)**

Con la llegada de los años 70s, los aditivos químicos y las adiciones minerales comenzaron a utilizarse de manera masiva, por lo que en la actualidad no es posible pensar en la tecnología del concreto sin estos dos tipos de materiales. Hace un tiempo, se ha comenzado a utilizar nano partículas en la fabricación de nuevos materiales diseñados para la construcción. Con lo cual, se comenzó a emplear la nanosílice que es un material que se está utilizando masivamente en las industrias. Igualmente, es un material que interactúa de manera directa con los componentes del concreto, produciendo simultáneamente con ellos, complejas interacciones físicas y químicas que afectan su comportamiento. **(Sánchez & Sobolev, 2010, p.2060-2071)**

Dado que actualmente siempre existe la necesidad de construir edificaciones más seguras y resistentes, nace la idea de querer mejorar las propiedades del concreto estructural haciendo uso de este aditivo denominado nanosílice mediante sustitución parcial del cemento portland Tipo MS por nanosílice.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

- ¿Cómo mejorarán las propiedades del concreto estructural mediante la sustitución parcial del Cemento Portland Tipo MS por aditivo Nanosíllice en Chimbote?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la relación A/C y las propiedades físicas y mecánicas de la muestra patrón del concreto estructural sin adición de Nanosíllice?
- ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural mediante la sustitución parcial del cemento Portland Tipo MS por Nanosíllice en porcentajes de 0.3%,0.8% y 1.3%?
- ¿Cuál es el mejor porcentaje de sustitución parcial del Cemento Portland Tipo MS por Nanosíllice?
- ¿Cómo mejoraría la mezcla de concreto estructural optimizando la relación A/C al elaborarlo con el mejor porcentaje de sustitución parcial de Cemento Portland Tipo MS por Nanosíllice?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Realizar la mejora de las propiedades del concreto estructural mediante la sustitución parcial del cemento Portland Tipo MS por aditivo Nanosíllice en Chimbote.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la relación A/C y las propiedades físicas y mecánicas de la muestra patrón del concreto estructural sin adición de Nanosíllice.
- Determinar las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural mediante la sustitución parcial del cemento Portland Tipo MS por Nanosíllice en porcentajes de 0.3%,0.8% y 1.3%.
- Comparar las propiedades físicas y mecánicas de las muestras de concreto estructural que contengan Nanosíllice en porcentajes de 0.3%,0.8% y 1.3% respecto a la muestra patrón.

- Optimizar la relación A/C de la mezcla de concreto estructural con mejor porcentaje de sustitución parcial de cemento Portland Tipo MS por Nanosílice.

1.4. Justificación

Desarrollar nuevos conocimientos acerca del uso del aditivo nanosílice en el concreto estructural como sustitución parcial del cemento Portland Tipo MS para poder aplicar nuevas tecnologías que tengan como campo de aplicación las construcciones que estén expuestas considerablemente a la intemperie y que sus elementos estructurales estén en contacto con el suelo.

1.5. Limitaciones del trabajo

1.5.1. Limitación espacial

En la presente investigación se elaboró concreto con una resistencia a la compresión de $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ donde se analizará el comportamiento del concreto estructural convencional para una muestra patrón (0% nanosílice) y concreto estructural mediante la sustitución parcial de cemento portland por aditivo Nanosílice. Los ensayos se realizarán en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y en el Laboratorio de Tecnología de Concreto de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Santa para así conseguir las propiedades mecánicas de dichos concretos. También, se tendrá en cuenta que los agregados para la elaboración de concreto provienen del departamento de Ancash, provincia del Santa.

- Agregado fino de la cantera “La Sorpresa”.
- Agregado grueso (piedra zarandeada $\frac{3}{4}$) de la cantera “La Sorpresa”.
- Aditivo GAIA Microsílice de la línea GAIA Nanosílice de la empresa Ulmen S.A.
- Cemento Portland Pacasmayo Tipo MS.

1.5.2. Limitación temporal

El periodo de duración de la presente investigación abarca un lapso entre el mes de Diciembre del año 2019 hasta el mes de Diciembre del año 2021.

1.6. Hipótesis de la investigación

“El uso de Nanosílice como sustitución parcial de Cemento Portland Tipo MS mejorará las propiedades del concreto estructural”.

Capítulo II:

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Internacionales

(Aguilar, 2007, p.107), en su tesis denominada: “*Determinación de la influencia de las nanomoléculas de sílice en el concreto frente a un factor que afecta su durabilidad*”, para optar el título de Ingeniero Civil en Obras Civiles, publicado en la Universidad Austral de Chile, que tiene como objetivo principal determinar la influencia de las nanopartículas de sílice en el concreto frente a la acción de agentes que son agresivos y que afectan su durabilidad considerando los efectos superficiales y estructurales, físicos y químicos. Para ello se realizó un trabajo experimental que consistió en un ensayo de inmersión de pequeños discos de concreto con árido fino o mortero adicionando aditivo nanosílice en porcentajes de 0%, 0.5%, 1% y 1.5% de peso de cemento. Donde se utilizaron dos relaciones de agua/cemento, la primera relación de $a/c=0.55$ y la segunda relación $a/c=0.65$. Los resultados de los ensayos mostraron un menor deterioro en adiciones de nanosílice por sobre 0.5% en relación al peso de cemento, siendo los valores óptimos para cada tipo de adición para una relación $a/c=0.55$ con un 1% de adición, pierde un 60% menos de masa en relación a una muestra sin adición y para una relación $a/c=0.65$ con un 1.5% de adición esta mejora es de un 45%. Finalmente se llega a la conclusión que existe un menor deterioro en los discos con relación $a/c=0.55$ que los que tienen $a/c=0.65$, ya que los mecanismos de infiltración, dependen del tamaño e interconexión de los poros que tenga el concreto. Llegando a la conclusión final que si es posible establecer que aportaría un gran beneficio la mayor adición de nanosílice en cuanto a la durabilidad del concreto frente a la acción de un agente químicamente agresivo, que obstaculiza y restringe su ingreso, rellenando los espacios vacíos independientemente del tamaño de estos (de la razón A/C), mejorando la morfología superficial del concreto y por ende la posibilidad de que la solución de sulfato penetre a través de los mecanismos de infiltración y ataque al concreto.

(Jo, Kim, & Lim, 2007, p.37) en su investigación titulada “*Investigations on the development of powder concrete with nano- SiO_2 particles*” sustenta que: “Es práctico agregar nano-sílice en forma de partículas con 99.9% de SiO_2 en escala nano para mejorar las características del mortero de cemento. Las resistencias a la compresión del mortero de cemento se evaluaron en diferentes relaciones a/c. Por ello emplearon cinco

relaciones diferentes de a/c las cuales fueron: $a/c=0.23$, $a/c=0.25$, $a/c=0.32$, $a/c=0.35$ y $a/c=0.48$ y cuatro contenidos de partículas de nano- SiO_2 las cuales fueron: 3%,6%,9% y 12% en peso de cemento. La resistencia a la compresión del mortero de cemento con la adición de humo de sílice también se evaluó a una relación $a/c = 0.48$ para realizar la comparación con el mortero que contiene partículas de nano- SiO_2 y tres contenidos de humo de sílice con los porcentajes de 5%,10% y 15% en peso de cemento. Finalmente los resultados experimentales mostraron que las resistencias a la compresión de los morteros con partículas de nano- SiO_2 fueron más altas que la de los morteros que contienen humo de sílice a los 7 y 28 días. Por lo tanto se demostró que las nanopartículas eran más valiosas para mejorar la resistencia que el humo de sílice.

(Pérez, 2008, p.88), en su tesis: “*Caracterización de morteros con adición de combinaciones de microsíllice y nanosíllice*”, para optar el título de Ingeniero Civil en Obras Civiles, publicado en la Universidad Austral de Chile, su investigación se centra en el estudio comparativo de las propiedades mecánicas y físicas de un mortero con adiciones de microsíllice, nanosíllice y la combinación de ambas; que se realizaron mediante ensayos de laboratorio y una caracterización microscópica superficial. Entre las propiedades estudiadas se encuentran la resistencia mecánica a la flexotracción, resistencia a la compresión, la densidad y la trabajabilidad. Se utilizaron mezclas con adiciones de microsíllice y nanosíllice por separado, para estas mezclas se utilizaron diferentes relaciones agua/cemento ($a/c=0.4$, $a/c=0.5$ y $a/c=0.6$) y la incorporación de los aditivos por separado en sus diferentes porcentajes siendo los porcentajes de adición para el aditivo nanosíllice es de 0%,0.5%, 1% y 1.5% mientras que los porcentajes de adición para el aditivo microsíllice es de 0%, 2.5%, 5% y 7.5%.

Por otro lado para las mezclas con combinaciones de microsíllice y nanosíllice se consideraron como materiales bases el mortero con diferentes relaciones agua/cemento estas fueron de $a/c=0.4$, $a/c=0.5$ y $a/c=0.6$ con la adición de microsíllice en los porcentajes de 0%,1.5%, 3.5% y 6% y como niveles de adición se consideró la incorporación de nanosíllice en los porcentajes de 0%, 0.5%, 1% y 1.5%. Luego de los ensayos realizados se llegó a la conclusión que la incorporación única de microsíllice alcanza la dosis óptima en un porcentaje de adición alrededor del 5% para todas las relaciones a/c con variaciones de la resistencia alrededor de un 13%. También se concluye que usando solamente aditivo nanosíllice la dosis óptima se encuentra

alrededor del 0.5% para todas las relaciones a/c aumentando de esta manera la resistencia a la compresión en un 20%. Y finalmente en el caso de las combinaciones para las diferentes incorporaciones del aditivo microsíllice la dosis óptima de adición de nanosíllice se encuentra alrededor del 1% para todas las relaciones a/c con porcentajes de variación que se encuentra entre el 19% al 27%. Respecto a la propiedad de la trabajabilidad realizando una comparación de los efectos que causan los morteros con adición de aditivo nanosíllice v/s los efectos que causan los morteros con adición de aditivo microsíllice, se evidencia que los efectos provocados por el aditivo nanosíllice son muchos mayores.

(Castillo, 2015, p.16), en su tesis denominada: *“Modificación de las propiedades de matrices cementantes mediante la adición de nanopartículas de sílice”*, publicada en la Universidad Autónoma de Nuevo León, su objetivo principal se basa en evaluar el cambio en las propiedades mecánicas de dos matrices cementantes en función de la incorporación de nanopartículas de sílice con la finalidad de promover el desarrollo de nuevas composiciones de cemento. Para llevar a cabo esta investigación adicionaron nanopartículas en dosificaciones que van desde 0.30% hasta 5.0% en peso, para así determinar la mejor dosificación para obtener un resultado óptimo. Luego de realizar los diversos ensayos, llegaron a la conclusión que la resistencia mecánica a la compresión para un cemento Portland ordinario este mejoró hasta en un 40% a edad de 24 h cuando se adiciono las nanopartículas en porcentajes de 0.50% en peso, sin embargo, los resultados al resto de las edades no presentaron mejoría. Por otro lado para la matriz de cemento sulfoaluminoso, los mejores resultados se obtuvieron con la dosificación de 0.5% en peso con relación al cemento, pero la mejoría no fue de la misma magnitud respecto a la que se obtuvo con la matriz de cemento Portland. Desde otra perspectiva, la resistencia frente al ataque químico por sulfatos mostró una mejoría de hasta un 80% para la matriz de cemento sulfoaluminoso cuando se realizó la adición de las nanopartículas de sílice.

(Puerto, 2019, p.313), en su investigación titulada *“Efecto de la nanosíllice sobre las propiedades reológicas de la matriz cementante y su influencia en el estado endurecido del concreto hidráulico”*, publicado en la Universidad Nacional de Colombia, donde tiene como objetivo principal evaluar el efecto de la nanosíllice sobre las propiedades

reológicas de la matriz cementante y su influencia en el estado endurecido del concreto hidráulico. En la etapa experimental se encarga del estudio de la modificación de las propiedades reológicas, las propiedades en estado fresco, endurecido y las propiedades de durabilidad de concretos autocompactantes con adición de nanopartículas de sílice en los porcentajes de 0%, 0.5%, 1%, 1.5% y 2% por peso del cemento. Se dividió en tres etapas: la primera etapa evaluó la formulación de concretos autocompactantes con la adición de nanopartículas de sílice, la segunda etapa se encargó de que las mezclas de concretos definidas se caracterizaron a partir de ensayos de trabajabilidad y mediciones reológicas en búsqueda de definir propiedades de flujo en condiciones estáticas y dinámicas; por último en la tercera etapa se encargó de evaluar las propiedades en estado endurecido de las mezclas de concreto definidas. Finalmente se concluye que la inclusión de las nanopartículas de sílice producidas en medio básico a pastas de cemento genera incrementos de hasta 25% de resistencia a la compresión a la edad de 28 días para una dosificación de 0.4% por peso del cemento. Los ensayos de trabajabilidad permitieron establecer que el incremento de la dosificación de nanosílice en hasta 2% genera aumentos de hasta 35% en el tiempo de esparcimiento T50 de las mezclas de concreto autocompactante.

2.1.2. Nacionales

(Huincho, 2011, p.53), según su tesis denominada: “*Concreto de alta resistencia usando aditivo Superplastificante, microsíllice y nanosíllice con cemento portland Tipo I*”, publicada en la Universidad Nacional de Ingeniería; se encarga del estudio de los concretos de alta resistencia elaborados con microsíllice (SIKA FUME), nanosíllice (SIKA STABILIZER 100) y superplastificante (VISCROCRETE 20HE) utilizando cemento portland Tipo I. Después de haber realizado los ensayos pertinentes para la investigación, llegaron a las siguientes conclusiones: Que a la edad de 90 días se logró obtener un concreto de alta resistencia a la compresión con un $F'c = 1423 \text{ kg/cm}^2$.

Que el porcentaje óptimo de microsíllice es de 10% con lo cual se obtuvo una resistencia a la compresión de $F'c = 1420 \text{ kg/cm}^2$ mientras que para el caso de nanosíllice el porcentaje es de 1% logrando una resistencia a la compresión de $F'c = 968 \text{ kg/cm}^2$ y finalmente cuando se utilizó la combinación de ambos (microsíllice y nanosíllice) es de 5% de microsíllice más 0.5% de nanosíllice se logró obtener una resistencia a la compresión de $F'c = 1065 \text{ kg/cm}^2$.

Además concluyeron que los concretos con adiciones de microsílíce en porcentajes de 10%,15% y 20% lograron resistencias la compresión que fueron superiores a los concretos con adición de nanosílíce en porcentajes de 1.0%, 1.5% y 2.0%; sin embargo la adición de nanosílíce también logra incrementar la resistencia a la compresión del concreto pero no en la misma magnitud que la microsílíce pero la nanosílíce tiene como ventaja su estado líquido y que se puede emplear en bajas dosis menores al 1%. También llegaron a la conclusión que la nanosílíce mejora las propiedades del concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido en comparación al concreto patrón.

(Escobedo, 2014, p.82), en su tesis titulada: *“Incidencia de la nanosílíce en la resistencia mecánica de un concreto de alta resistencia con cemento portland Tipo I”*, presentada en la Universidad Nacional de Cajamarca, donde su investigación se basa en el estudio de los concretos de alta resistencia elaborado en diferentes porcentajes de nanosílíce siendo estos de 0.5%, 1.5% y 3.0% en base a un concreto patrón (C.P.) que fue diseñado con un Superplastificante (SIKAMENT 290N) en una dosis del 1% en peso de cemento; planteándose como objetivo principal determinar en cuanto incrementa la resistencia mecánica a la compresión con los diferentes porcentajes de nanosílíce adicionadas con respecto al concreto patrón (C.P.). Posteriormente de haber realizado los ensayos necesarios se obtuvieron resultados satisfactorios siendo uno de ellos que a la edad de 28 días el concreto con adición de 1.5% de nanosílíce logró alcanzar la resistencia máxima de $F'c = 785.30 \text{ kg/cm}^2$, incrementándose la resistencia en un 15% respecto al concreto patrón (C.P.) debido a que es un concreto de alta resistencia está seguirá aumentando hasta la edad de 90 días.

(Molina & Chara, 2017, p.178), en su tesis denominada: *“Influencia de la Adición de Nanosílíce en las propiedades de un concreto de Alta Resistencia para la ciudad de Arequipa”*, publicada en la Universidad Nacional de San Agustín para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, la cual valida la capacidad del aditivo Nanosílíce empleado como reductor de agua de diseño obteniendo una reducción de hasta 24.23% para un concreto de 420 Kg/cm^2 de resistencia a la compresión usando el aditivo Nanosílíce en un porcentaje de 1.2% respecto al peso del cemento. Asimismo, obtuvieron los siguientes valores de resistencia a la compresión a los 28 días de edad

en el rango de 100.96% a 159.76% de la resistencia de diseño en función a las distintas dosificaciones de aditivos empleadas en la investigación.

(León, 2018, p.172), en su trabajo de investigación titulada *“Las partículas de nanosílice y su influencia en la resistencia a la compresión del concreto autocompactante en la ciudad de Huancayo – 2017”*, publicada en la Universidad Continental, teniendo por objetivo principal la obtención de la dosificación adecuada de porcentajes de partículas de nanosílice, para elevar la consistencia y resistencia a la compresión en concretos autocompactantes diseñados con diferentes relaciones de a/c. Se utilizó el método ACI 211.4 para el diseño de resistencias a la compresión de 280 kg/cm², 210 kg/cm² y 175 kg/cm² con diferentes relaciones a/c=0.4, a/c=0.5 y a/c=0.6. Para lograr establecer las correctas dosificaciones de incorporación de aditivo nanosílice se realizaron los ensayos respectivos que permitieran mejorar las propiedades y características del concreto además se realizó diferentes mezclas para establecer el porcentaje de disminución de agua de mezcla que genera la adición del nanosílice. Obteniendo los siguientes resultados: Que para una relación a/c =0.4 con porcentaje de 2% de adición de nanosílice la resistencia máxima es de 595 kg/cm² a los 28 días de edad. Que para una relación a/c=0.5 con porcentaje de 1.5% de adición de aditivo nanosílice la mayor resistencia alcanzada es de 498 kg/cm² a los 28 días. Y finalmente que para una relación a/c=0.6 con porcentaje de 1% de adición de nanosílice la mayor resistencia obtenida es de 398 kg/cm² a los 28 días de edad.

(Caballero, 2019, p.175), en su tesis de pregrado titulada: *“Optimización del concreto mediante la adición de Nanosílice, empleando agregados de la cantera de Añashuayco de Arequipa”*, publicada en la Universidad Nacional de San Agustín, para optar el título profesional de Ingeniero Civil, donde se logró comprobar que controlando el agua en la elaboración de las diferentes mezclas de concreto con aditivo según diseño se logra mantener el Slump de 2 a 4 pulgadas, de esta manera evita que el concreto segregue y no funcione en la práctica. Además, concluye que el contenido óptimo de aditivo Nanosílice para concretos de 210 Kg/cm² es del 1% respecto al peso del cemento el cual logra un incremento de 16.62%, equivalente a una resistencia a la compresión de 422.45 Kg/cm².

(Cabanillas, 2020,p.91), en su tesis denominada “*Concreto de alta resistencia, utilizando nanosilice y Superplastificante*”, para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, publicada en la Universidad Nacional de Cajamarca, tiene como objetivo general determinar en cuanto varía la resistencia de un concreto diseñado con $F'c = 500 \text{ kg/cm}^2$ utilizando adición de nanosilice y aditivo Superplastificante reductor de agua, los porcentajes de adición son del 1.0% y 1.5% del nanosilice y el Superplastificante por separado y con dosificaciones de 0.6%, 0.8% y 1.2% mezclando ambos. Después de la elaboración de las probetas de concreto y los ensayos realizados. Se obtuvo resultados satisfactorios que demuestran el aumento de la resistencia a la edad de 28 días con respecto a los especímenes ensayados del concreto patrón (C.P.). Siendo que adicionando nanosilice al 1.0% se obtuvo una resistencia de $F'c = 826.51 \text{ kg/cm}^2$ (incrementando 56.92% la resistencia respecto al C.P.) y al 1.5% la resistencia fue de $F'c = 729.35 \text{ kg/cm}^2$ (representando el 38.47% del incremento de la resistencia respecto al C.P.) mientras que con la adición de Superplastificante al 1.0% se logró una resistencia de $F'c = 752.23 \text{ kg/cm}^2$ (incrementando el 42.81% de la resistencia respecto al C.P.) y al 1.5% se alcanzó una resistencia de $F'c = 665.61 \text{ kg/cm}^2$ (aumentando el 26.37% de la resistencia respecto al C.P.). Con la adición del Superplastificante y el nanosilice es decir ambos, utilizando la dosificación de 0.6% se obtuvo una resistencia de $F'c = 613.83 \text{ kg/cm}^2$ (evidenciando el 16.54% del aumento de la resistencia respecto al C.P.), con la dosificación de 0.8% se logró una resistencia de $F'c = 666.84 \text{ kg/cm}^2$ (incrementando el 26.60% de la resistencia respecto al C.P.) y finalmente al 1.2% alcanzó una resistencia de $F'c = 799.55 \text{ kg/cm}^2$ (representando el 51.80% del incremento de la resistencia respecto al C.P.).

(Flores, 2020, p.61), en su investigación titulada: “*Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto de alta resistencia con microsíllice y nanosíllice, Lima – 2019*” para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, publicada en la Universidad César Vallejo, la presente investigación tiene como objetivo principal determinar y comparar cómo influye en las propiedades mecánicas del concreto de alta resistencia la incorporación de nanosilice. Se utilizó el método ACI 211.4 para el diseño de mezcla para elaboración de un concreto de $F'c = 600 \text{ kg/cm}^2$ para las resistencias a la compresión, tracción y flexión empleando tres porcentajes diferentes para el aditivo

microsílice siendo estos de 5.0%, 10.0% y 15.0% mientras que para el aditivo nanosílice los porcentajes fueron de 0.5%, 1.5% y 3.0% en relación al cemento para cada resistencia. Luego de haber elaborado los ensayos de resistencias a la compresión, tracción y flexión. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: Respecto a las resistencias a la compresión a los 28 días de edad con un porcentaje de 15% de microsílice se obtuvo una resistencia de 920.33 kgf/cm^2 mientras que con un porcentaje de 3% de nanosílice se obtuvo una resistencia de 964.73 kgf/cm^2 . Por otro lado para los ensayos de resistencia a la tracción a los 28 días de edad con un porcentaje de 15% de microsílice se obtuvo la resistencia de 92.92 kgf/cm^2 y para el aditivo nanosílice con un porcentajes de 3% la resistencia fue de 96.95 kgf/cm^2 . Por último los ensayos de resistencia a la flexión con un porcentaje de 15% de microsílice la resistencia obtenida fue 97.90 kgf/cm^2 y para el aditivo nanosílice con un porcentaje de 3% la resistencia fue de 96.95 kgf/cm^2 .

(Mendoza, 2021, p.13), en su tesis *“Influencia del nanosílice por sustitución parcial al cemento en el diseño de mezcla de concreto de alta resistencia, en la ciudad de Puno 2017”* para optar el título profesional de Ingeniero Civil, publicada en la Universidad Nacional del Altiplano; su investigación tiene como objetivo principal determinar la influencia del concreto de alta resistencia con la sustitución parcial del cemento por nanosílice, de esta manera lograron establecer el porcentaje óptimo de sustitución haciendo uso del cemento portland puzolánico tipo IP, utilizaron el diseño de Mezcla mediante el método ACI 211.4 donde obtuvieron una relación $a/c = 0.42$. Luego de haber elaborado 18 probetas de concreto patrón con una resistencia de $F'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ y 90 probetas de concreto con un $F'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ con diferentes porcentajes de sustitución de nanosílice. Los resultados de los ensayos obtenidos dieron como conclusión: Que el porcentaje óptimo de sustitución parcial del cemento es de 2% logrando una resistencia de $F'c = 453.28 \text{ kg/cm}^2$ que es la resistencia más alta obtenida a los 28 días.

2.2. Base Teórica

2.2.1. Concreto

2.2.1.1. Definición

El concreto es un material similar a la roca obtenida de la mezcla cuidadosa y proporcional de cemento, arena y grava o algún otro agregado y agua; para luego solidificarla y darle forma y tamaño deseados. El cuerpo del material está compuesto tanto de agregados finos y gruesos. Y la reacción química del agua y el cemento permiten unir las partículas de agregados y formar así una masa sólida. La cantidad de agua tiene que ser mayor de la requerida para la reacción química, para que así la mezcla sea más trabajable y se puedan llenar en las formaletas y encerrar las barras de refuerzo sumergidas, antes de que se solidifique.

Regulando las proporciones de los materiales constituyentes del concreto se puede obtener diferentes concretos con diversas propiedades. Se pueden obtener aún más propiedades si se utilizan cementos especiales como: el cemento de alta resistencia inicial, o combinando agregados especiales como: agregados ligeros o pesados; y los aditivos como: incorporadores de aire, plastificantes, cenizas volantes o microsílíce y finalmente a través de métodos especiales de curado como: el curado al vapor. **(Nilson & Darwin, 2001, p.1)**

Estas propiedades mayormente dependen de las proporciones, y del cuidado al mezclar los diferentes materiales que conforman la mezcla, como también la temperatura y condiciones de humedad en que se encuentra la mezcla desde el inicio cuando es colocado en la formaleta hasta su completa solidificación. A todo este control del proceso se le denomina curado. Es necesario personal calificado y con experiencia durante todo el proceso que se encarguen de supervisar y controlar para así evitar producir concretos con bajos estándares de calidad, desde la dosificación en peso de los componentes, el mezclado y el vaciado hasta la finalización del curado. **(Nilson & Darwin, 2001, p.1)**

Posiblemente sus inicios del uso del concreto se remonten desde la época del antiguo Egipto siendo utilizado de múltiples formas por miles de años cuyos factores lo convierten así en un material de construcción universal hasta la actualidad. Siendo

uno de los factores la facilidad con la que se puede depositar y llenar en diferentes moldes y formaletas de distintas formas y tamaños cuando se encuentra en estado plástico. Sus ventajas más obvias son su alta resistencia al fuego y al clima. La mayoría de los materiales que lo componen se encuentran en la misma localidad o cerca al lugar de construcción, por lo cual estos se encuentran a bajo costo con excepción de los aditivos y del cemento. Su alta resistencia a la compresión parecida a la de las piedras naturales la hacen adecuada para que sus elementos sean sometidos a esfuerzos de compresión como lo son en arcos o columnas. (Nilson & Darwin, 2001, p.1)

2.2.1.2. Componentes del concreto

El concreto es el resultado a partir de una mezcla en adecuadas proporciones de agregado grueso, agregado fino, cemento, agua y algunas veces la adición de aditivos; estos resisten procesos de fraguado y endurecimiento que lo transforman al cabo de un tiempo en un material sólido con propiedades pétreas. (Curbelo, 2015, p.19)

Los agregados livianos deben cumplir la norma **NTC 4045 (ASTM C330)**. Los agregados de peso normal deben cumplir con la norma **NTC 174 (ASTM C33)**.

Es permitido el empleo de los agregados que a través de ensayos o experiencias en campo han logrado probar que se puede elaborar un concreto con adecuada durabilidad y resistencia solo cuando hayan recibido la aprobación de parte del Supervisor. (Curbelo, 2015, p.19)

El concreto se define actualmente como un sistema que consta de 5 componentes: agregados, cemento, agua, aditivos y adiciones como se puede observar en la **Tabla 1**, esta definición se adapta adecuadamente a las exigencias de los concretos de alto desempeño, todas las características del concreto se apoyan en las diferencias del tipo y cantidad de estos materiales. (Portugal Barriga, 2007, p.19)

Tabla 1

El concreto como un sistema de cinco componentes

Material	Ejemplo de variables
Cemento	- Tipo de cemento. - Propiedades especiales
Agregados	- Normales, ligeros, pesados. - Naturales, chancados. - Gradación, forma, textura.
Agua	- Límites de componentes dañinos al concreto.
Adiciones	- Microsílice, ceniza volante, etc. - Pigmentos - Fibras.
Aditivos	- Plastificantes, superplastificantes. - Acelerantes, retardantes, etc.

Fuente:

Tecnología del Concreto de Alto Desempeño, Portugal; 2007, p.20

2.2.1.2.1. Cemento

Es un material compuesto de óxido de calcio, óxido de hierro, sílice, alúmina en estado pulverizado y cuando se le añade una cantidad necesaria de agua da lugar a una pasta conglomerante capaz de solidificarse al entrar en contacto con el agua y el aire. Se descartan las cales aéreas, hidráulicas y yesos. **(Rivera, 2010, p.18)**

2.2.1.2.1.1. Cemento portland

Es un aglomerante que absorbe agua con facilidad, producto de la calcinación de rocas calizas, arcillas y areniscas, con lo cual se obtiene un polvo muy fino que al mezclarse con agua se solidifica proporcionándole así cualidades cohesivas y resistentes. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.17)**

Es el resultado de la pulverización del Clinker Portland añadiendo una o más formas de sulfato de calcio. Se permite agregar otros productos siempre que su inclusión no afecte las características del cemento resultante. En su totalidad los productos agregados de manera conjunta con el Clinker deben ser pulverizados. **(Rivera, 2010, p.18)**

2.2.1.2.1.2. Fabricación del cemento portland

El cemento Portland se compone fundamentalmente de materiales calcáreos como son piedra caliza, alúmina, sílice (en forma de arcilla o pizarra), además de marga (material arcilloso – calcáreo) por yeso y últimamente se añade material puzolánico, que se puede encontrar en estado natural como tierra de diatomeas, esquistos, rocas opalinas, cenizas volcánicas o material calcinado, o de material artificial (cenizas volantes y óxido de silicio precipitado). **(Rivera, 2010, p.18)**

El procedimiento para la elaboración del cemento radica en moler y mezclar la materia prima en una determinada proporción y calcinarla en un gran horno rotatorio a temperaturas entre 1300°C y 1400°C, donde el material se reduce y se funde hasta cierto punto hasta crear unas bolas a las cuales se les conoce como Clinker. Se enfría el Clinker y luego se agrega un poco de yeso y más recientemente puzolánico, que se muelen hasta obtener un polvo fino lo que da lugar a lo que denominas Cemento Portland, que es ampliamente utilizado a nivel mundial. **(Rivera, 2010, p.18)**

La mezcla y la trituración de materias primas pueden ejecutarse en estado seco como en estado húmedo, de donde derivan los nombres de los procesos seco o húmedo. El método de producción a seguir depende de la naturaleza de las materias primas utilizadas y principalmente de factores económicos. **(Rivera, 2010, p.18)**

Ambos procesos (seco o húmedo), son ampliamente utilizados comercialmente, sin embargo existen otros métodos que son utilizados para la fabricación del cemento a pequeña escala, es decir, entre otros, la fabricación con horno vertical, el semisecho y fabricación con horno de parrilla de preparación (Lepol). **(Rivera, 2010, p.18)**

Como se observa en la **Figura 1**, se muestra un horno rotatorio que se encuentra en una fábrica productora de cemento.

Figura 1. *Horno Rotatorio en una Fábrica Productora de Cemento*

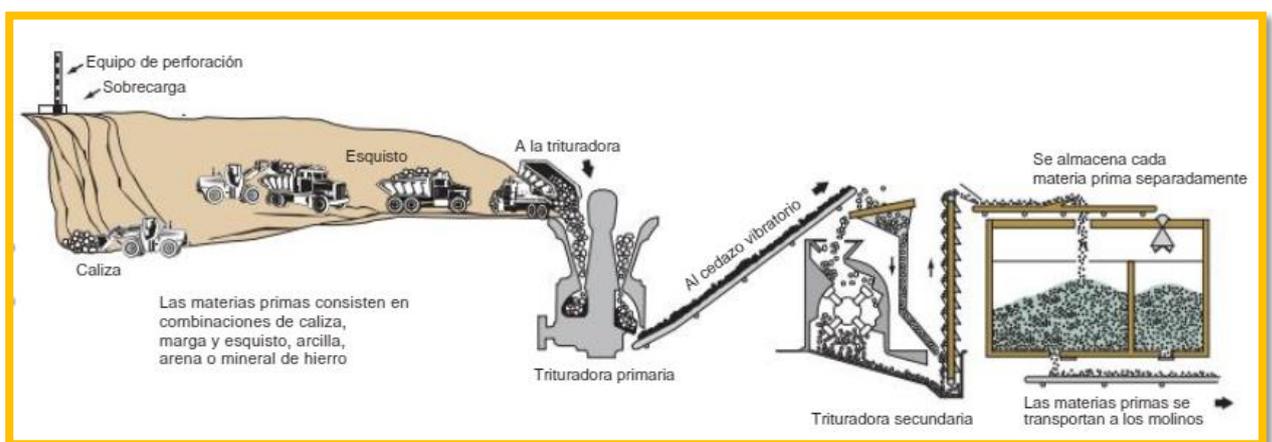


Fuente: Rivera (2010), *Concreto Simple*, p.19

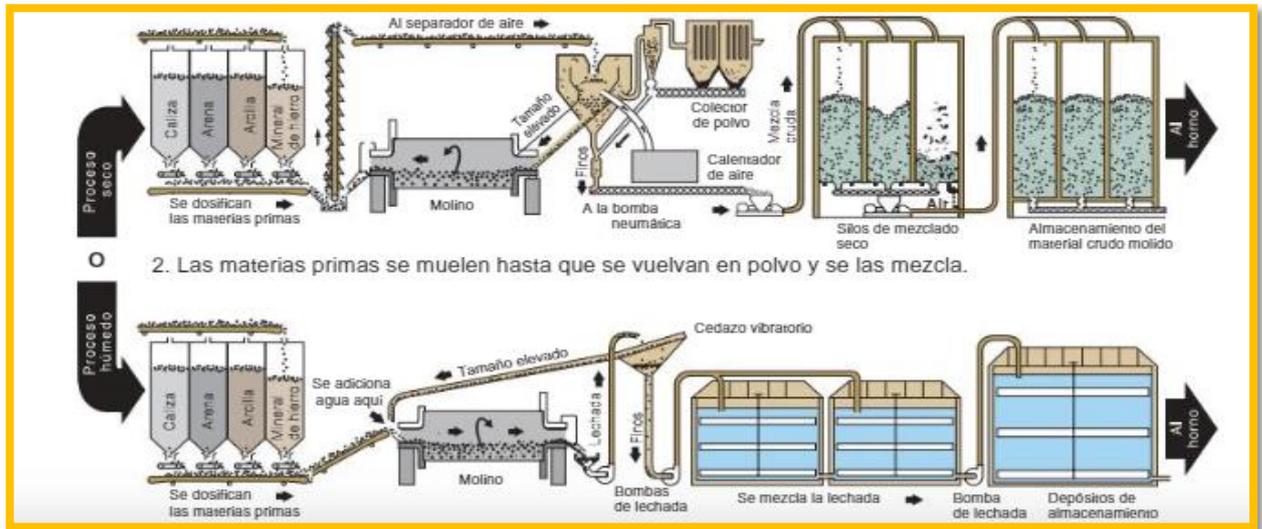
En la **Figura 2** y **Figura 3**, se observa las etapas de la fabricación del cemento. Como las operaciones de las plantas de cemento no son iguales, no se pueden ilustrar adecuadamente por un mismo gráfico todas las plantas.

Figura 2. *Etapas en la producción tradicional del cemento Portland*

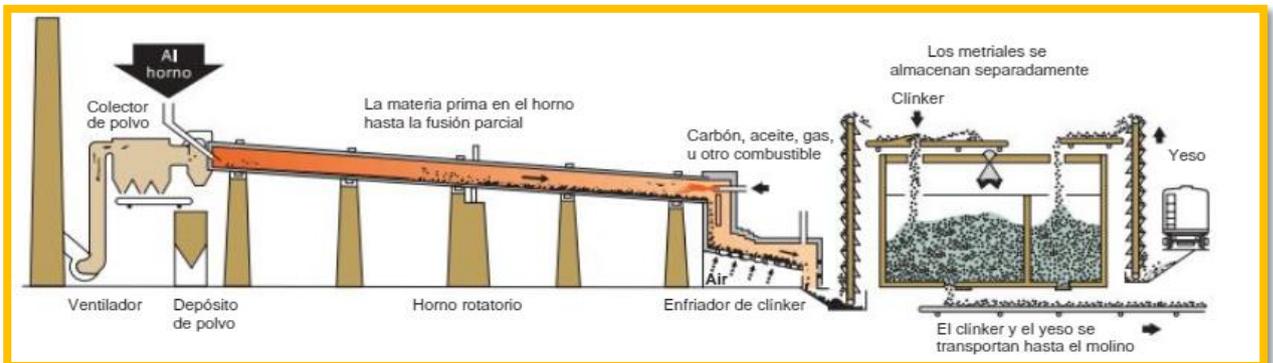
1. La roca se reduce primero hasta un tamaño de 125 mm (5 pulg.) y después a un tamaño de 20 mm (¾ pulg.) para entonces almacenarla.



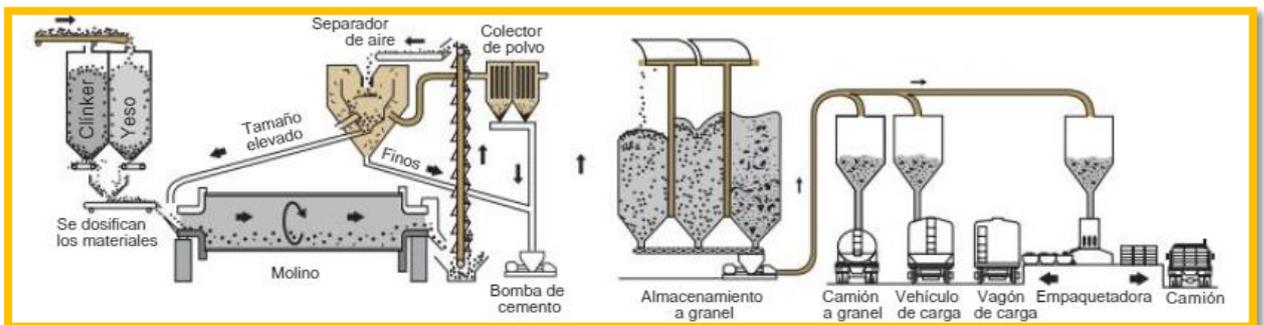
2. Las materias primas se muelen, se mezclan con el agua para formar una lechada (pasta) y se mezclan.



3. La calcinación transforma químicamente las materias primas en el clínker de cemento.



4. Se muele el clínker junto con el yeso para convertirlos en cemento portland y se lo despacha.

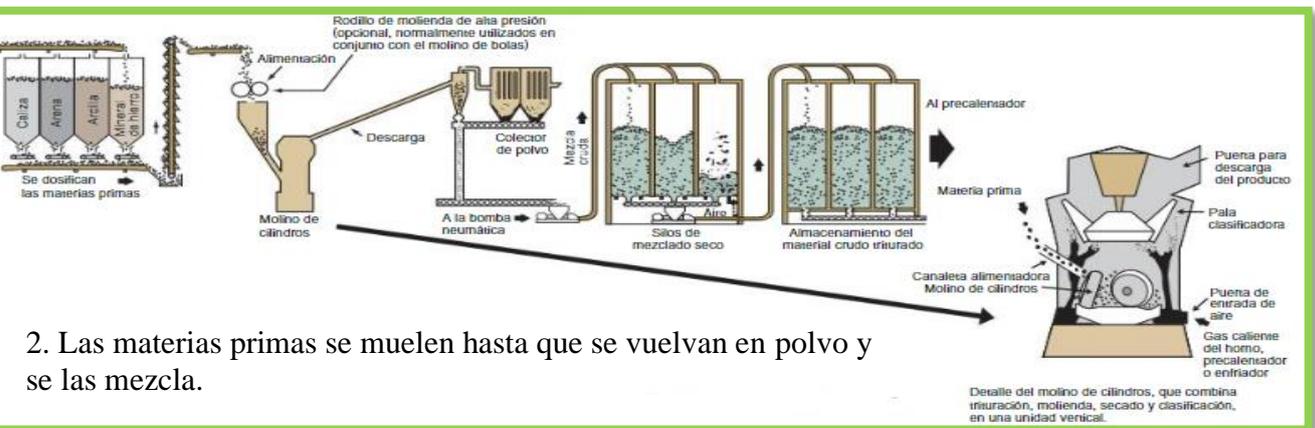
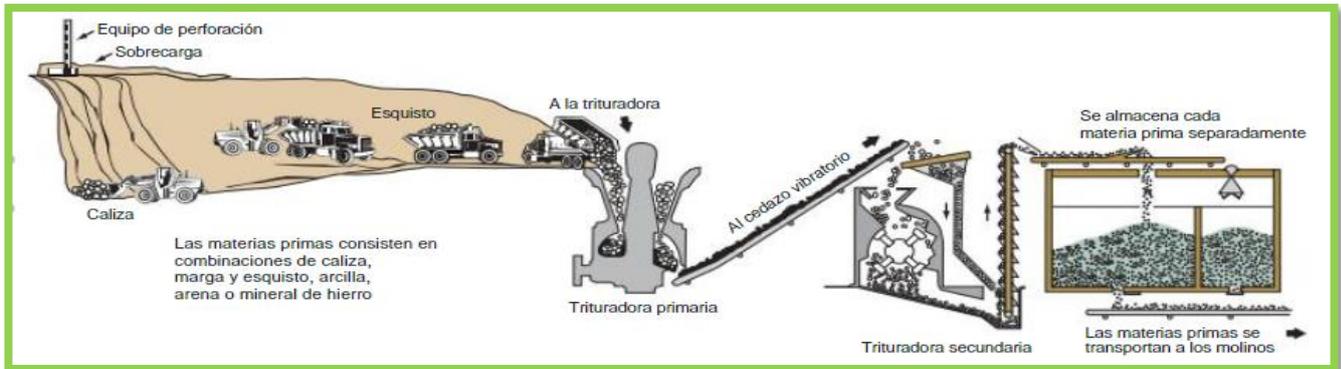


Fuente: Kosmatka et al. (2004), *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*, p.26

En la **Figura 3**, nos muestra los importantes desarrollos tecnológicos, debido a los cuales pueden lograr mejorar grandemente la productividad y la eficiencia energética de las plantas con proceso seco.

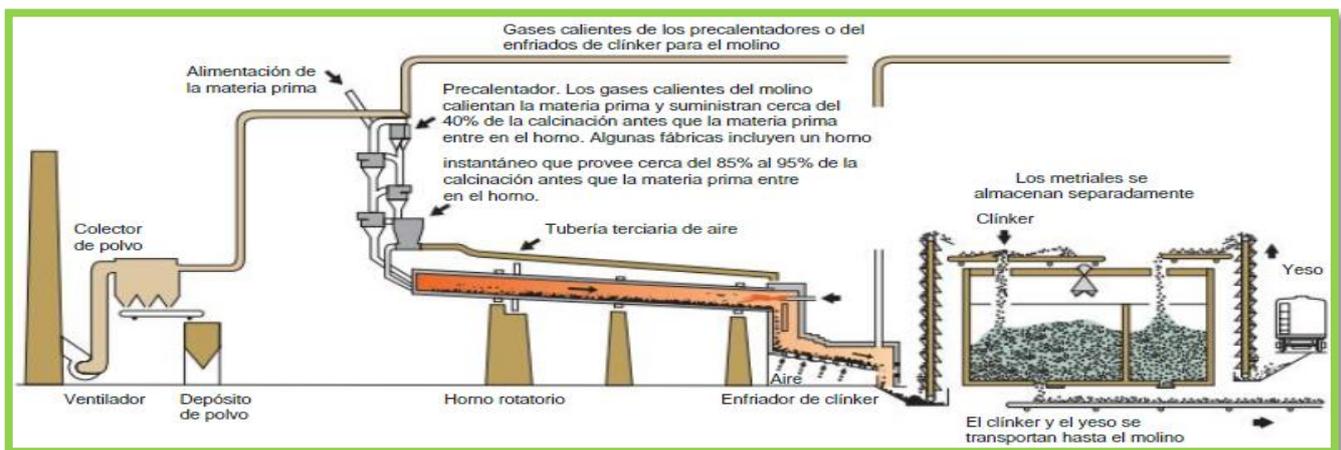
Figura 3. Etapas en la producción moderna del Cemento Portland, a través del proceso seco

1. La roca se reduce primero hasta un tamaño de 125 mm (5 pulg.) y después a un tamaño de 20 mm (3/4 pulg.) para entonces almacenarla.

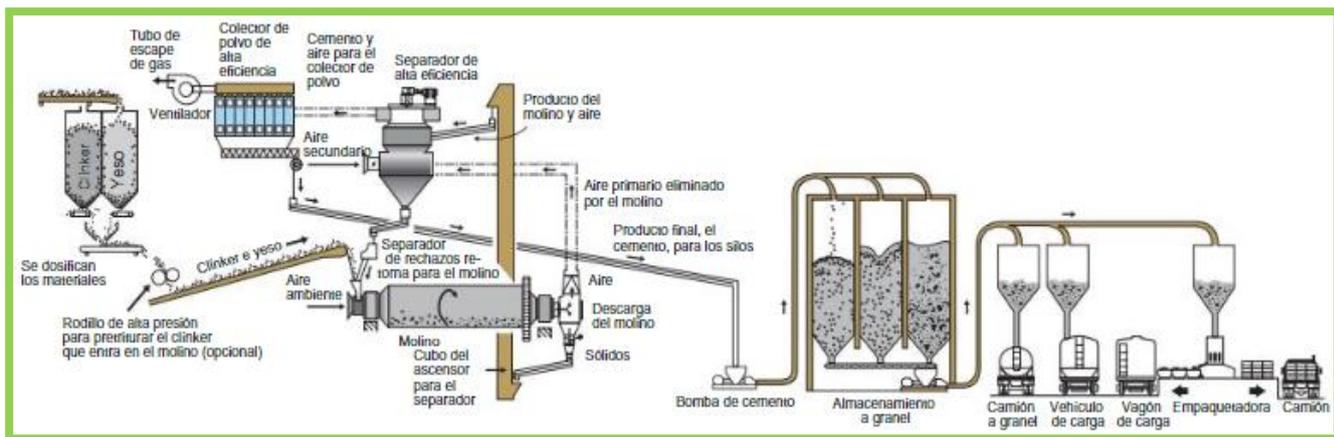


2. Las materias primas se muelen hasta que se vuelvan en polvo y se las mezcla.

3. La calcinación transforma químicamente las materias primas en el clínker de cemento. Observe el precalentador de cuatro etapas, el horno instantáneo y el horno con menor longitud.



4. Se muele el clínker junto con el yeso para convertirlos en cemento portland y se lo despacha.



Fuente: Kosmatka et al. (2004), *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*, p.27

2.2.1.2.1.3. Tipos de Cemento Portland

“A medida que varían los contenidos de C_2S , C_3S , C_3A , C_4AF se modifican las propiedades del cemento Portland, por lo tanto se pueden fabricar diferentes tipos con el fin de satisfacer ciertas propiedades físicas y químicas para situaciones especiales”. (Rivera, 2010, p.25)

2.2.1.2.1.3.1. Cemento Tipo I

El cemento Tipo I, es un cemento de uso general, apto para todos los usos donde no sean necesarias las características particulares que presentan los demás cementos. Se utiliza en concretos para la elaboración de edificios de concreto armado, pisos, embalses, pavimentos, tuberías, tanques, puentes, unidades de mampostería y productos de concreto prefabricado. (Kosmatka et al, 2004, p.30)

2.2.1.2.1.3.2. Cemento Tipo II

El cemento Tipo II, es utilizado donde sea imprescindible tomar las medidas necesarias debido al efecto causado por el ataque a los sulfatos. Además presenta propiedades como moderada resistencia a los sulfatos debido a que contiene no más del 8% de aluminato tricálcico (C_3A). Puede ser usado en estructuras normales o en miembros que se encuentren expuestos a agua subterránea o suelos, donde la concentración de sulfatos es más alta de lo normal pero no severa. (Kosmatka et al, 2004, p.32)

Los sulfatos cuando se encuentran en contacto con tierra húmeda o en agua logran traspasar el concreto y reaccionan con el C_3A hidratado, provocando expansión, descascaramiento y fisuración del concreto. Algunos compuestos de sulfato, como el sulfato de magnesio, atacan de manera directa al silicato de calcio hidratado. **(Kosmatka et al, 2004, p.32)**

Se debe utilizar el cemento Tipo II, conjuntamente con una baja relación agua/cemento y permeabilidad baja para poder controlar el ataque a los sulfatos del concreto. **(Kosmatka et al, 2004, p.32)**

Este tipo de cemento, específicamente generado para cumplir con los requisitos de moderado calor de hidratación, siendo esta una opción de la ASTM C 150 (AASHTO M 85), producirá una tasa de liberación de calor más lenta que los cementos Tipo I y en su totalidad de los cementos Tipo II. Posee la opción el comprador de detallar el requisito de calor moderado de hidratación. Por lo expuesto, debido a que en este tipo de cemento se especifica el calor de hidratación máximo puede ser utilizado en grandes estructuras como son: los grandes cimientos, pilares y muros de contención de gran espesor. Su uso reduce el incremento de temperatura y la temperatura vinculada con el agrietamiento, por lo cual es de gran importancia cuando es colocado el concreto en climas calurosos. **(Kosmatka et al, 2004, p.33)**

Debido a su fácil acceso, el cemento tipo II es utilizado en algunas ocasiones, en todas las partes de la construcción, sin considerar la necesidad de moderado calor de hidratación o la resistencia a los sulfatos en una estructura. Algunos cementos pueden estar etiquetados con más de un símbolo, por ejemplo, Tipo I/ II lo que significa que el cemento cumple con los requisitos de los cementos Tipo I y II. **(Kosmatka et al, 2004, p.33)**

2.2.1.2.1.3.3. Cemento Tipo III

El cemento Tipo III, promete resistencia a una edad temprana, generalmente una semana o menos. Es bastante parecido en cuando a su composición química y física al cemento Tipo I, con excepción de que sus partículas son más finas. Se utiliza cuando se debe quitar el encofrado lo más rápido posible o cuando se debe entregar rápidamente el trabajo. Cuando el clima es frío su uso reduce el tiempo de curado. Aunque el cemento Tipo I se puede utilizar para desarrollar una resistencia temprana, no obstante, el cemento Tipo III puede proporcionar esta propiedad de manera más fácil y económica. **(Kosmatka et al, 2004, p.34)**

2.2.1.2.1.3.4. Cemento Tipo IV

El cemento Tipo IV es empleado cuando se debe reducir la proporción y cantidad de calor generado por la hidratación. Por lo cual, este tipo de cemento aumenta la resistencia en una proporción más lenta a comparación con otros tipos de cemento. El cemento Tipo IV es utilizado en grandes estructuras de concreto como son las grandes presas de gravedad, donde el aumento de temperatura es causado por el calor a lo largo del endurecimiento este deba ser insignificante. No es tan comercial en el mercado este tipo de cemento. **(Kosmatka et al, 2004, p.34)**

2.2.1.2.1.3.5. Cemento Tipo V

El cemento Tipo V, es empleado en concretos que se encuentran expuestos a la acción severa de los sulfatos es decir donde el suelo entra en contacto con el agua subterránea y estos presentan elevada concentración de sulfatos. El cemento Tipo V a comparación con el cemento Tipo I, el crecimiento de la resistencia se da de manera más lenta. **(Kosmatka et al, 2004, p.34)**

La elevada resistencia a los sulfatos que se le atribuye al cemento Tipo V, se debe al bajo contenido de aluminato tricálcico (C_3A), este no debe sobrepasar al 5%. El empleo de una mínima relación agua/cemento (a/c)

y una baja permeabilidad es primordial para el buen rendimiento de cualquier tipo de estructura que se encuentre sometida a los sulfatos. Por el contrario, cuando se emplea una alta relación agua/cemento (a/c), el cemento Tipo V, ya no es capaz de soportar una exposición severa a los sulfatos. Además, como otros tipos de cementos, no es resistente a ácidos y a otras sustancias altamente corrosivas. **(Kosmatka et al, 2004, p.34)**

Según la Norma **ASTM C 150 (AASHTO M 85)**, brinda una perspectiva física y química (**ASTM C 452 ensayo de expansión**) la cual garantiza la resistencia a los sulfatos del cemento Tipo V. Se puede especificar cualquiera de los enfoques tanto físico como químico, pero no ambos simultáneamente. **(Kosmatka et al, 2004, p.34)**

2.2.1.2.1.3.6. Cemento Tipo MS

El cemento Tipo Ms es utilizado cuando se requiere tomar la cautela frente al ataque moderado por los sulfatos, por ejemplo, en estructuras de drenaje donde las acumulaciones de sulfatos en el agua subterránea son más altas de lo normal pero no peligrosas. Se emplea de la misma forma que el cemento Tipo II, es decir se debe realizar la mezcla de concreto de cemento Tipo MS con baja relación agua/cemento (a/c) dado que así logre garantizar la resistencia a los sulfatos. **(Kosmatka et al, 2004, p.37)**

2.2.1.2.1.4. Cementos en el Perú

El Perú posee una gran diversidad de cementos, determinadas por las normas NTP 334.009, NTP 334.090 y NTP 334.082. Los cementos Portland determinados en la norma NTP 334.009 (Cementos. Cemento Portland – Requisitos) son: el cemento Tipo I (normal) cuya resistencia a los 7 días alcanza 190 kg/cm^2 , el cemento Tipo II (moderada resistencia los sulfatos) a los 7 días alcanza una resistencia de 170 kg/cm^2 y contiene como máximo el 8% de aluminato tricálcico (C_3A), el cemento Tipo III cuya característica es su alta resistencia inicial, el cemento Tipo IV cuya particularidad es su bajo calor de hidratación y que a los 28 días alcanza una resistencia de 170 kg/cm^2 y el cemento Tipo V (presenta alta resistencia a los sulfatos) a los

28 días de edad logra una resistencia de 210 kg/cm^2 y no debe sobrepasar el 5% de aluminato tricálcico (C_3A); en esta norma proporciona requisitos físicos como requisitos químicos para estos tipos de cementos. **(Kosmatka et al, 2004, p.45)**

Los cementos que contienen adiciones son las siguientes: el cemento Portland Puzolánico Modificado– I (PM) que contiene hasta un 15% de puzolana, el cemento Portland de Escoria Modificado – I (SM), que contiene como máximo un 25% de escoria, el cemento Portland Puzolánico (IP y P) el que contiene como máximo entre el rango de 15% al 40% de puzolana en masa, el cemento Portland Compuesto (I Co) que logra alcanzar una adición de caliza o material inerte que alcanza hasta un 30%, desde que este material tenga, como mínimo, 75% de $CaCO_3$ y el cemento Portland de Escoria el cual contiene entre el 25% al 70% de adición de escoria de alto horno. Estos cementos pueden mostrar combinaciones de otras propiedades, como es el moderado calor de hidratación y la moderada resistencia a los sulfatos agregando los sufijos MH y MS, respectivamente. Las condiciones de resistencia a los 28 días de edad de estos cementos es de 250 kg/cm^2 con excepción de los tipos de cementos IS (MH) y IP (MH), los cuales deben alcanzar mínimamente una resistencia de 200 kg/cm^2 y el cemento P, el cual a los 28 días de edad debe alcanzar mínimamente una resistencia de 210 kg/cm^2 . **(Kosmatka et al, 2004, p.46)**

La Norma NTP 334.082 (Cementos Portland especificación de la performance) que tiene como base la ASTM C 1157, trae los requerimientos de desempeño para los cementos Portland para aplicaciones generales o especiales, sin restricciones a la composición o a los constituyentes de los cementos. Esta norma caracteriza el Cemento Portland modificado (con aditivos hasta un 15%) a partir de cementos adicionados (con más de un 15% de aditivos) y los ordena según sus propiedades; tipo GU (construcciones generales), tipo HE (resistencia inicial alta), la denominación MS conocida por su moderada resistencia a los sulfatos, tipo HS cuya característica es la alta resistencia a los sulfatos, tipo MH cuya característica es el moderado

calor de hidratación por el contrario la denominación LH cuya característica es el bajo calor de hidratación y finalmente la opción R de reactividad baja a los álcalis con agregados reactivos. **(Kosmatka et al, 2004, p.46)**

Los cementos comercializados en el Perú son: tipo I y tipo I (contenido bajo de álcalis), tipo II y tipo II (contenido bajo de álcalis), tipo V, tipo IP , tipo I(PM), tipo MS, tipo ICo y el cemento de albañilería. **(Kosmatka et al, 2004, p.46)**

2.2.1.2.2. Agregados

Los agregados son los elementos inertes del hormigón que se unen mediante la pasta de cemento para la formación de una estructura resistente. Estos representan aproximadamente las $\frac{3}{4}$ partes del volumen total por lo que la calidad de estos es de suma importancia en la obtención del producto final. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.69)**

Aunque el término de inertes es relativo, ya que no interfieren de manera directa en las reacciones químicas que se dan entre el agua y el cemento, para la formación de la pasta de cemento, sin embargo de sus propiedades depende el resultado del producto, incluso siendo a veces tan importante como el cemento mismo para proporcionarle ciertas cualidades específicas como conductibilidad, resistencia, durabilidad entre otras.

Suelen estar constituidos por granos minerales de arenisca, basalto, cuarzo, granito o una mezcla de ellos, y sus propiedades físicas y químicas afectan a casi todas las propiedades del concreto. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.69)**

La distribución del tamaño de las partículas es de suma importancia en el concreto para lograr una estructura densa y eficiente, así como una adecuada trabajabilidad. La ciencia ha demostrado que debe existir un acoplamiento entre partículas casi en su totalidad, de modo que las partículas más pequeñas abarquen el espacio entre las partículas más grandes, es decir el conjunto esté unido por la pasta de cemento. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.69)**

2.2.1.2.2.1. Agregado fino

En la Norma Técnica Peruana 400.037, se define al agregado fino como el material proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa por la malla 3/8" (9.51mm) y queda retenido en la malla N°200 (0.074 mm); deberá cumplir con los límites establecidos en la NTP. 400.037.

(NTP. 400.037, 2014, p.6)

El agregado fino se puede componer de arena natural o manufacturada, o la mezcla de ambas. Sus partículas no deben contener impurezas, de preferencia deben ser resistente, duro, compacto y angular.

No deben tener partículas quebradizas o blandas, materia orgánica, terrones, pizarras, esquistos, libres de cantidades perjudiciales de polvo, sales u otras sustancias nocivas. **(Rivva López, 1992, p.19)**

El agregado fino deberá estar graduado dentro de los límites indicados en la NTP 400.037. Es recomendable tener en cuenta lo siguiente:

- La granulometría seleccionada deberá ser preferentemente continua, con valores retenidos en las mallas: N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100 de la serie de Tyler. **(Rivva López, 1992, p.19)**
- El agregado fino no deberá retener más del 45% en dos tamices consecutivos cualesquiera. **(Rivva López, 1992, p.19)**
- Generalmente, es recomendable que la granulometría se encuentre dentro de los siguientes límites, como se indica en la **Tabla 2**:

Tabla 2
Límites granulométricos del agregado fino

Malla	% Que Pasa
3/8"	100
N°4	95 - 100
N°8	80 - 100
N°16	50 - 85
N°30	25 - 60
N°50	10 - 30
N°100	2 - 10

Fuente: *Diseño de Mezclas, Rivva; 1992, p.19*

El porcentaje que se indican para las mallas N°50 y N°100 pueden reducirse a 5% y 0% respectivamente, solo si el agregado es utilizado en concretos con aire incorporado cuyo contenido de cemento sobrepasa los 225 kg/ m^3 , por el contrario en concretos sin aire incorporado cuyo contenido de cemento sobrepasa los 300 kg/ m^3 , o si se utiliza un aditivo mineral para reemplazar la deficiencia en el porcentaje que pasa estas mallas. **(Rivva López, 1992, p.19)**

“El módulo de fineza del agregado fino se mantendrá dentro del límite de más o menos 0.2 del valor asumido para la selección de las proporciones del concreto; siendo recomendable que el valor asumido esté entre 2.35 y 3.15”. **(Rivva López, 1992, p.19)**

Si sobrepasa el límite especificado de más o menos 0.2, la supervisión puede eliminar el agregado o permitir que se ajuste la relación de mezcla para compensar la variación en el tamaño de las partículas. Estos ajustes no implicarán una reducción del contenido de cemento. **(Rivva López, 1992, p.20)**

Los agregados finos no muestran presencia de materia orgánica cuando se determinan según la Norma Técnica Peruana 400.013 o ASTM C40.

Se puede utilizar el agregado fino que no cumpla con los requisitos especificados si se cumplen con las siguientes condiciones:

- La coloración en el ensayo se deba a la presencia de pequeñas partículas de carbón, o partículas similares; o
- Después del ensayo, la resistencia a los 7 días de morteros elaborados con dicho agregado no será inferior al 95% de un mortero similar elaborado a partir de otra muestra del mismo agregado fino anteriormente lavada con una solución al 3% de hidróxido de sodio. **(Rivva López, 1992, p.20)**

El porcentaje de partículas inconvenientes en el agregado fino no deberá exceder de los siguientes límites:

- Lentes de arcilla y partículas desmenuzables
- Material más fino que la malla N°200:
 - a) Concreto sujetos a abrasión 3%
 - b) Otros concretos 5%
- Carbón:
 - a) Cuando la apariencia superficial del concreto es importante... 0.5%
 - b) Otros concretos 1%

(Rivva López, 1992, p.20)

2.2.1.2.2.2. Agregado grueso

En la Norma Técnica Peruana 400.037, se define al agregado grueso como el material proveniente de la desintegración natural o mecánica de la roca; es el agregado retenido en la malla N°4 (4,75 mm), asimismo, debe cumplir con los límites establecidos en la NTP 400.037. **(NTP. 400.037, 2014, p.6)**

El agregado grueso es utilizado en la realización de concretos livianos podrá ser natural o artificial. Asimismo, se constituye de grava natural o triturada, piedra triturada o agregados metálicos naturales o artificiales. **(Rivva López, 1992, p.21)**

Se constituye de partículas limpias, de perfil de preferencia angular o semiangular, compactas, resistentes, y preferentemente de textura rugosa. **(Rivva López, 1992, p.21)**

Las partículas deben ser químicamente estables y libres de residuos, polvo, humus, tierra, limo, incrustaciones superficiales, materia orgánica, sales y otras sustancias nocivas. **(Rivva López, 1992, p.21)**

El agregado grueso debe encontrarse graduado según el huso especificado por la Norma Técnica Peruana 400.037, como se observa en la **Tabla 3:**

**MEJORA DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO ESTRUCTURAL
MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND TIPO MS
POR NANOSÍLICE - CHIMBOTE**

Tabla 3

Requisitos granulométricos del agregado grueso

Huso	Tamaño Nominal	% Que pasa por los tamices normalizados													
		100 mm (4")	90 mm (3.5")	75 mm (3")	63 mm (2.5")	50 mm (2")	37.5 mm (1.5")	25 mm (1")	19 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	4.75 mm (N°4)	2.36 mm (N°8)	1.18 mm (N°16)	300 um (N°50)
1	90 a 37.5 mm (3 1/2" a 1 1/2")	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
2	63 a 37.5 mm (2 1/2" a 1 1/2")	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
3	50 a 25 mm (2" a 1")	-	-	-	100	90 a 100	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
357	50 a 25 mm (2" a N°4)	-	-	-	100	95 a 100	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-	-	-
4	37.5 a 19 mm (1 1/2" a 3/4")	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
467	37.5 a 4.75 mm (1 1/2" a N°4)	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-	-
5	25 a 12.5 mm (1" a 1/2")	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	-
56	25 a 9.5 mm (1" a 3/8")	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-	-
57	25 a 4.75 mm (1" a N°4)	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-	-
6	19 a 9.5 mm (3/4" a 3/8")	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-	-
67	19 a 4.75 mm (3/4" a N°4)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-
7	12.5 a 4.75 mm (1/2" a N°4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-	-
8	9.5 a 2.36 mm (3/8" a N°8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	-
89	12.5 mm a 9.5 mm (1/2 pulg a 3/8 pulg)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9A	4.75 mm a 1.18 mm (N°4 a N°16)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Fuente: NTP 400.037; 2014, p. 13

Se recomienda tener en cuenta lo expuesto a continuación:

- a) La determinación de la granulometría debe elegirse para que sea continua.
- b) La granulometría seleccionada debe asegurar la máxima densidad del concreto con la suficiente trabajabilidad y consistencia en función de las condiciones de la mezcla.
- c) La granulometría elegida no deberá contener más del 5% del agregado retenido en el tamiz de 1 ½” y no deberá exceder el 6% del agregado que pase el tamiz de ¼”.(Rivva López, 1992, p.21)

El tamaño máximo nominal del agregado grueso no debe ser mayor a:

- a) Un quinto de la menor dimensión entre las caras del encofrados; o
- b) Un tercio del peralte de las losas; o
- d) Tres cuartos del espacio libre mínimo entre barras o alambres individuales de refuerzo; paquetes de barras; torones; o ductos de presfuerzo. (Rivva López, 1992, p.21-22)

En elementos de espesor reducido o gran cantidad de refuerzo, se podrá reducir el tamaño máximo nominal del agregado grueso con la aprobación de la Supervisión, con la condición que se mantenga la trabajabilidad suficiente en el trabajo, cumpliendo los requisitos de asentamiento y comportamiento especificados. (Rivva López, 1992, p.22)

Las limitaciones anteriores también pueden eliminarse si, durante la supervisión, se aplican procedimientos de trabajabilidad y compactación en el concreto que permitan colocar el concreto sin la formación de vacíos o marcas de agrietamiento. (Rivva López, 1992, p.22)

El porcentaje de partículas nocivas en el agregado grueso no deberá exceder de los siguientes valores:

- | | |
|------------------------------|-------|
| - Arcilla | 0.25% |
| - Partículas deleznable..... | 5.00% |

- Material más fino que la malla N°200 1.00%
- Carbón o lignito:
 - a) Cuando el acabado superficial del concreto es de importancia 0.50%
 - b) Otros concretos 1.00%

(Rivva López, 1992, p.22)

Cuando los límites de partículas dañinas en el agregado grueso sobrepasen a los señalados, solamente el concreto puede ser aceptado si existe un antecedente anterior del agregado que sea de la misma procedencia y sus resultados sean satisfactorios en estudios similares, asimismo, que el concreto elaborado con el agregado tenga propiedades satisfactorias cuando hayan sido ensayados en laboratorio. **(Rivva López, 1992, p.22)**

Según las Normas ITINTEC 400.019 ó 400.020, o la Norma ASTM C131; el agregado grueso utilizado en concreto para pavimentos, o estructuras sometidas a erosión, abrasión o cavitación, no deberá perder más del 50% en las pruebas de erosión **(Rivva López, 1992, p.22)**

De preferencia debe emplearse agua potable para el lavado de las partículas de agregado grueso, en caso contrario, el agua utilizada debe encontrarse libre de materia orgánica, sólidos en suspensión o sales. **(Rivva López, 1992, p.23)**

2.2.1.2.2.3. Características de los agregados

2.2.1.2.2.3.1. Peso específico

Es el producto de dividir el peso de las partículas entre el volumen de las mismas, sin tener en cuenta los vacíos existentes entre ellas. En las normas ASTM C-127 y la ASTM C-128, disponen los métodos que se encuentran estandarizados para poder determinarlos en laboratorio, existen tres formas de exponerlo en función de las condiciones de saturación. Cabe señalar que las expresiones de la norma son adimensionales, por lo que deben multiplicarse por la densidad del agua en la unidad deseada para

conseguir el parámetro utilizado en el cálculo. Los valores se encuentran entre 2,500 y 2,750 kg/m³ para agregados normales. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.74)**

2.2.1.2.2.3.2. Peso unitario

Es el producto que se obtiene al dividir el peso de las partículas entre el volumen total considerando los vacíos existentes. Al considerar los espacios entre partículas, se ve afectado por la forma en que se organizan las partículas, lo cual lo convierte en un parámetro hasta cierto punto relativo. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.74)**

La norma ASTM C-29, especifica el método estándar para su respectiva evaluación, durante la condición de agrupación de las partículas después de haberlas compactado en un molde metálico, con una varilla de 5/8” mediante 25 golpes se realizó el apisonamiento en cada una de las 3 capas. El valor que se obtiene, es el que se utiliza en algunos métodos de diseño de mezcla para poder estimar las proporciones y asimismo para lograr realizar las conversiones de dosificaciones en peso y convertirlas en dosificaciones en volumen. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.74)**

Hay que tener en consideración que estas conversiones suponen que el material en su estado natural tiene el peso unitario alcanzado en la prueba estándar, lo cual es falso debido a las características de compactación indicadas. En algunas ocasiones algunas personas utilizan la misma prueba pero sin compactar el agregado para establecer el “peso unitario”, por el contrario este valor no es necesariamente el del material en campo, por lo que también aparecen errores al realizar conversiones de diseños en peso a volumen. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.74)**

Para tratar de aminorar el error aludido, es recomendable realizar mínimamente 5 ensayos de peso unitario suelto en porciones de muestras de agregados que simbolicen diferentes niveles de las pilas de almacenaje para reflejar las probables variaciones por segregación.

El valor del peso unitario se encuentra entre 1,500 y 1,700 kg/m^3 , para agregados normales. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.76)**

2.2.1.2.2.3.3. Porcentaje de vacíos

“Es la medida del volumen expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas de agregados. Depende también del acomodo entre partículas, por lo que su valor es relativo como en el caso del peso unitario”. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.76)**

2.2.1.2.2.3.4. Absorción

Es la facultad que tienen los agregados para llenar los vacíos dentro de las partículas con agua. Esto se crea producto de la capilaridad, debido a que no llenan en su totalidad los poros indicados debido al aire atrapado. Es de suma importancia pues se refleja en el concreto al reducir el agua de mezcla, lo que incide en sus propiedades de resistencia y trabajabilidad, por ende es necesario estar atento para realizar las correcciones que sean necesarias. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.76)**

2.2.1.2.2.3.5. Porosidad

“Es el volumen de espacios dentro de las partículas de agregados. Tiene una gran influencia en todas las demás propiedades de los agregados, pues es representativa de la estructura interna de las partículas”. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.77)**

No existe una forma estándar en ASTM para evaluarla, no obstante hay muchas maneras de determinación que a menudo son complejas y relativamente válidas. Una forma indirecta de estimarla es cuando se determina la absorción, que brinda un orden de magnitud de la porosidad generalmente un 10 % menos que el valor real, por lo cual todos los poros de las partículas no se saturan por completo. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.77)**

En agregados normales los valores usuales se encuentran entre 0 y 15% aun cuando el rango común es del 1 al 5%. Mientras en agregados ligeros, se pueden tener porosidades que oscilen entre el 15 al 50%. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.77)**

2.2.1.2.2.3.6. Humedad

Es la cantidad de agua superficial retenida en un momento dado por las partículas de agregado.

Esta es una propiedad importante ya que ayuda a aumentar el agua de mezcla en el concreto, por lo que se debe tomar en cuenta de manera conjunta con la absorción para realizar los ajustes adecuados en las proporciones de las mezclas, para que se cumplan las hipótesis asumidas. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.77)**

2.2.1.2.3. Agua

2.2.1.2.3.1. Introducción

Para la elaboración del concreto se puede utilizar prácticamente cualquier agua natural que sea potable y no presente fuerte sabor u olor, para ser usada como agua de mezcla. **(Kosmatka et al, 2004, p.95)**

El agua es esencial para la hidratación del cemento y el crecimiento de sus propiedades, como consecuencia este componente debe cumplir ciertas condiciones para realizar su función en la combinación química, sin causar problemas secundarios si contienen ciertas sustancias que pueden echar a perder al concreto.

Además, al estimar el mecanismo de hidratación del cemento, encontramos que agregar agua por curado conduce a una mayor hidratación del cemento, por lo cual está agua también debe cumplir ciertas condiciones para ser utilizado en el concreto. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.59)**

2.2.1.2.3.2. Agua de mezcla en el concreto

“El agua de mezcla en el concreto tiene tres funciones principales:

- I. Reaccionar con el cemento para hidratarlo,
- II. Actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad del conjunto
- III. Procurar la estructura de vacíos necesaria en la pasta para que los productos de hidratación tengan espacio para desarrollarse”. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.59)**

Por consiguiente, la cantidad de agua que entra en la mezcla de concreto suele ser por razones de trabajabilidad, mayor que la cantidad de agua necesaria para hidratar el cemento.

El principal problema del agua de mezcla son las impurezas y su cantidad que provocan reacciones químicas que alteran el rendimiento normal de la pasta de cemento. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.59)**

Una regla experimental que sirve para evaluar si un tipo particular de agua es apta para la producción de concreto, es determinar una fuente de agua apta para el consumo humano, dado que lo que no es dañino para una persona no es dañino para el concreto. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.60)**

En este sentido, es interesante diferenciar el agua potable según las necesidades nominales que han sido implantados por las autoridades quienes se encargan de regular su producción y uso, y asimismo el agua que se encuentra apta para el consumo humano, ya que las necesidades declaradas suelen ser más estrictas de lo necesario.

Curiosamente, se ha demostrado que muy poca “agua potable” en el Perú cumplen con los límites nominales establecidos, especialmente para el contenido de carbonatos y sulfatos, no obstante está destinada para el consumo humano y, por lo tanto, para el concreto. Por lo que no debe cometerse el error de establecer especificaciones para el agua que luego son prácticamente imposibles de cumplir. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.60)**

No existe un modelo exacto de los límites de la composición química que debe contener el agua de mezcla, debido a que aguas que no se encuentran aptas para el consumo humano es utilizada para preparar concreto, y por otra parte, depende en gran medida del tipo de cemento y las impurezas de los demás componentes.

Los efectos más peligrosos que pueden ocurrir de agua de mezcla con impurezas son: fraguado lento, resistencia reducida, manchas en el concreto endurecido, eflorescencias, contribución a la corrosión del acero, cambios en el volumen, entre otros. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.60)**

Ni el **ACI** ni el **ASTM** han establecido requisitos para el agua de mezcla para concreto, aunque, en una iniciativa realmente importante, la **Norma Nacional ITINTEC 339.88** especifica los requisitos para el agua de mezcla y el curado que se detallan a continuación en la **Tabla 4:**

Tabla 4
Límites permisibles para agua de mezcla y de curado según la Norma ITINTEC 339.088

Descripción	Límite permisible
1) Sólidos en suspensión	5,000 p.p.m máximo
2) Materia orgánica	3 p.p.m máximo
3) Alcalinidad (NaHCO_3)	1,000 p.p.m máximo
4) Sulfato (Ión SO_4)	600 p.p.m máximo
5) Cloruros (Ión Cl)	1,000 p.p.m máximo
6)Ph	5 a 8

Fuente: *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú, Pasquel; 1998, p.61*

Los valores especificados en la Norma en mención son un poco conservadores, sin embargo las experiencias demostradas señalan que son relativamente fáciles de cumplir en la mayoría de los casos. En la **Tabla 5** se muestran algunos análisis del agua utilizada para la preparación del concreto en proyectos implementados en distintas regiones de nuestro país, donde se pueden ver posibles variaciones factibles de esperarse en cuanto a la composición.

La **Tabla 6** muestra análisis típicos de agua potable en ciudades con poblaciones mayores a 20,000 habitantes en los Estados Unidos y Canadá, y un análisis típico de agua de mar, en el que también se puede evaluar la gran variación en los componentes. Es una anécdota interesante que en general esta agua contiene muchos menos sulfatos en comparación con el agua potable de nuestro entorno, que es insignificante para el caso del concreto, pero es fuente de los problemas estomacales que suelen sufrir los turistas extranjeros que se encuentran acostumbrados a niveles menores. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.60)**

Tabla 5
Análisis químicos de Agua de varias fuentes en el Perú

Descripción	San Juan de Miraflores Lima	Planta La Atarjea Lima	Sub-suelo zona Aeropuerto de Juliaca Puno	Agua de Riego Proyecto Majes Arequipa	Requisito ITINTEC 339.088
1) Sólidos en suspensión	260 ppm	500 ppm	-	28 ppm	5,000 ppm
2) Materia orgánica	-	-	-	27 ppm	3 ppm
3) Alcalinidad (NaHCO ₃)	20 ppm	25 ppm	12 ppm	186 ppm	1,000 ppm
4) Sulfato (Ión SO ₄)	156 ppm	133 ppm	34 ppm	150 ppm	600 ppm
5) Cloruros (Ión Cl)	197 ppm	45 ppm	33 ppm	141 ppm	1,000 ppm
6)Ph	7.8	7.9	7.9	7.5	5 a 8

Fuente: *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú, Pasquel; 1998, p.62*

Tabla 6

Análisis típicos de agua doméstica y de mar en USA y Canadá expresados en partes por millón

Elemento	1	2	3	4	5	6	Agua de mar
Sílice (SiO ₂)	2.4	0.0	6.5	9.4	22.0	3.0	---
Hierro (Fe)	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	---
Calcio (Ca)	0.8	15.3	29.5	96.0	3.0	1.3	50 - 480
Magnesio (Mg)	1.4	5.5	7.6	27.0	2.4	0.3	260 - 1,410
Sodio (Na)	1.7	16.1	2.3	183	215	1.4	2,190 - 12,200
Potasio (K)	0.7	0.0	1.6	18.0	9.8	0.2	70 - 550
Bicarbonato (HCO ₃)	14.0	35.8	122	334	549	4.1	---
Sulfatos (SO ₄)	9.7	59.9	5.3	121	11.0	2.6	580 - 2,810
Cloruros (Cl)	2.0	3.0	1.4	280	22	1.0	3,960 - 20,000
Nitratos (NO ₃)	0.5	0.0	1.6	0.2	0.5	0.0	---
Sólidos disueltos totales	31.0	250.0	125	983	564	19.0	35,000

Fuente: *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú, Pasquel; 1998, p.63*

Existe evidencia empírica de que el uso de agua con concentraciones individuales de sulfatos, carbonatos y cloruros superiores a 5,000 ppm da como resultado una reducción del 30% en la resistencia en comparación con concretos con agua pura.

El carbonato de sodio, el bicarbonato y el potasio aceleran o retardan el fraguado cuando la suma de sales solubles tiene una concentración de más de 1000 ppm, por lo que se recomienda en estos casos realizar pruebas de tiempo de fraguado. Existen evidencias que en estas condiciones pueden aumentar las reacciones álcali – sílice en los agregados. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.64)**

El carbonato de Magnesio y Calcio es poco soluble en agua y en concentraciones de hasta 400 ppm, dado que, no tiene un efecto notable en el concreto. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.64)**

El Sulfato de Magnesio y el Cloruro de Magnesio en niveles de hasta 25,000 ppm no causan efectos adversos en las investigaciones realizadas en los Estados Unidos, pero las sales de Plomo, Cobre y Zinc como las que presentan las aguas contaminadas con relaves mineros, en cantidades superiores a 500 ppm, debido a que tienen efectos muy negativos tanto en las resistencias como en el fraguado.

Las sustancias orgánicas que superan los 1,000 ppm reducen resistencia e incorpora aire. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.64)**

Según la **Norma Itintec 339.088** y el **Comité ACI-318**; en la evaluación del agua que será empleada en el concreto, primeramente se debe preparar el mortero según lo establecido en la norma **ASTM C-109** utilizando agua de procedencia desconocida y compararlos con el concreto elaborado similarmente con agua potable. Para la aceptación del agua apta como uso en concreto; la resistencia a la compresión de las probetas de concreto a los 7 y 28 días debe ser no menor al 90% de los testigos de control. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.64)**

Un caso particular es el concreto elaborado con agua de mar (concreto no empleado en estructuras armadas), puesto que contiene sales disueltas hasta de 35,000 ppm. Lo que conllevaría a una aceleración del fraguado y disminución de resistencia a la compresión a largo plazo, buscando como posible solución una reducción de agua/cemento, no obstante este accionar podría producir eflorescencias y manchas, por ello se recomienda usarlo en concretos simples; mientras que si se emplea en concreto armado podría ocasionar la corrosión del acero debido a la elevada cantidad de cloruros. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.65)**

En el concreto premezclado según la norma **ASTM C-94**, establece los siguientes parámetros indicados en la **Tabla 7**, la cual indica que el agua puede utilizarse tanto para el lavado del mixers como para la mezcla de concreto. (**Pasquel Carbajal, 1998, p.65**)

Tabla 7

Limitaciones en la composición de agua de lavado para su empleo en agua de mezcla

Elemento	Limitación		
Cloruros (Ión Cl)			
A) En concreto pretensado o losas de puentes.	500	ppm	máximo
B) Cualquier otro concreto armado en ambiente húmedo o con elementos embulidos de aluminio o metales diferentes o con insertos galvanizados.	1,000	ppm	máximo
Sulfatos (Ión SO ₄)	3,000	ppm	máximo
Alkalís (NaO + 0.658 K ₂ O)	600	ppm	máximo
Sólidos disueltos totales	50,000	ppm	máximo

Notas:

- 1) El agua de lavado puede superar los límites de cloruros y sulfatos si se demuestra que la concentración calculada en el agua de mezcla total incluyendo el agua de mezcla en los agregados y otras fuentes, no excede los límites establecidos.
- 2) Para proyectos en que se permite el empleo de cloruro de Calcio como acelerante, los límites de cloruros pueden ser obviados por el propietario.

Fuente: *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú, Pasquel; 1998, p.66*

Para concluir, existen parámetros para la aceptación de sustancias contaminadas presentes en el agua en donde dichas impurezas no acarrear consecuencias en la función del concreto. (**Pasquel Carbajal, 1998, p.65**)

2.2.1.2.4. Nanosílice

2.2.1.2.4.1. Descripción

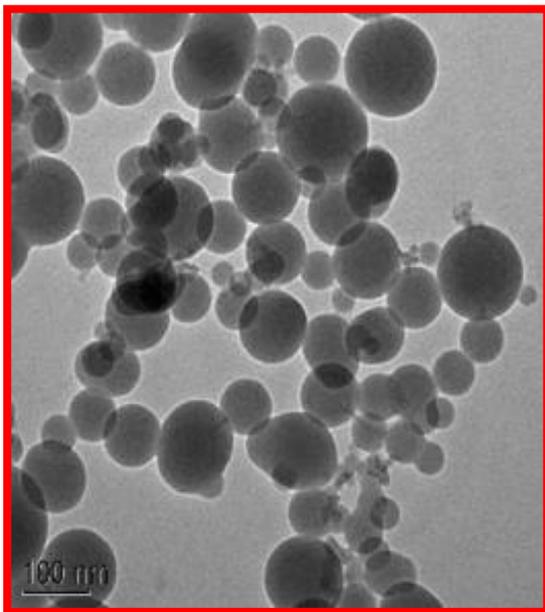
El principal problema que presenta la microsílice es el estado en que se comercializa y la forma en la que se obtiene; su carácter higroscópico y su composición en polvo hacen que las instalaciones necesarias para su adecuada conservación se vuelvan más costosa. **(BASF Construction Chemicals España, S.L.)**

Debido a ello nace un nuevo producto denominado nanosílice en estado líquido, el cual facilita su manipulación y almacenamiento. Es un material de alta pureza con un tamaño de partícula nanométrico. Este hecho otorga a la nanosílice una mayor superficie específica, aumentando su reactividad con la portlandita, requiriendo menos aditivos que cuando se utiliza microsílice. **(BASF Construction Chemicals España, S.L.)**

2.2.1.2.4.2. GAIA Nanosílice

La línea GAIA Nanosílice perteneciente a la empresa ULMEN S.A. es un nano aditivo que se encuentra en estado líquido, es elaborado a base de sílice con partículas de tamaño nanométrico. Es un gran reductor de agua, de alta actividad. Este nano aditivo transforma las nanopartículas de sílice en nanopartículas de cemento debido a las reacciones químicas causadas en el concreto. Cumple con todos los requerimientos de la norma ASTM C-494. Tipos A y F. **(Ficha técnica GAIA Nanosílice, 2008, p.1)**

Figura 4. *Fotografía electrónica de Nanosílice a 100 nm*



Fuente: *Ulmen S.A (2008), Ficha Técnica GAIA Nanosílice, p.1*

2.2.1.2.4.2.1. Aplicaciones

Debido a su alta fluidificación y mayor capacidad para facilitar el desarrollo de resistencias, especialmente a edades muy tempranas, es ideal para:

- Concreto de alto desempeño.
- Concreto ligero de baja densidad.
- Industria de concreto pretensado, concreto armado, concreto prefabricado y concreto post-tensado.
- Concreto Faz Track.
- Y todos los usos tradicionales de microsílice.

(Ficha técnica GAIA Nanosílice, 2008, p.1)

2.2.1.2.4.2.2. Propiedades

- Perfecto para concreto Fast Track.
- No produce atrasos de fraguado.
- Gran poder plastificante y reductor de agua.
- Previene la excesiva exudación y la segregación.

- Permeabilidad nula o casi nula por lo que acrecienta la durabilidad del concreto.
- Mejora el acabado y la textura de la superficie del concreto.
- Evita la formación de coqueas y nidos de grava.
- Aumento del desarrollo de alta resistencia inicial y resistencia final.

(Ficha técnica GAIA Nanosílice, 2008, p.1)

2.2.1.2.4.2.3. Características técnicas

Al quitar todo el polvo de sílice en cualquiera de sus sustitutos, y también en virtud de su alta absorción de agua, nos permite excluir los superplastificantes y reducir al mínimo los plastificantes.

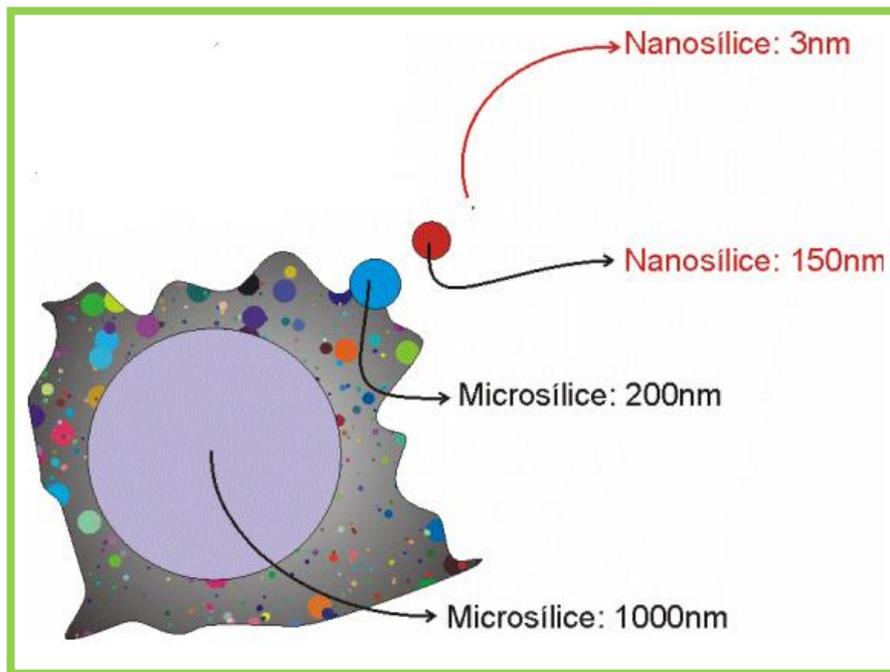
- Previene en gran proporción las eflorescencias.
- No incluye cloruros ni ningún componente corrosivo. Se puede utilizar sin problemas en concreto pretensado y concreto armado.
- Acentúa en más del 50% la resistencia a la flexotracción.
- Perfecto para concretos tipo “Fast Track”, a usar dentro de las 24 horas posteriores, con las dosificaciones convenientes.
- Cono de 78 a 50 cm, en dos horas con R1 de 44 MPa y 80 MPa a R 28.
- Concreto de alto desempeño: 70 MPa R28.

(Ficha técnica GAIA Nanosílice, 2008, p.1)

2.2.1.2.4.2.4. Nanosílice vs Microsílice

Tanto la física como la química saben que los nanomateriales adecuadamente diseñados y desarrollados dan mejores y más económicos resultados que los materiales convencionales, gracias a su estabilidad y propiedades mejoradas de la materia a un nivel mil veces más pequeño que el antiguo nivel: “micro” (0.000001 mt). **(Publicación Cognoscible Technologies)**

Figura 5. Estructura de las partículas de Microsílice y Nanosílice



Fuente: *Cognoscible Technologies*

Durante más de 80 años, la microsílice ha sido uno de los productos de concreto más utilizados a nivel mundial. Sus propiedades hacen que el concreto se vuelva impermeable a los ataques del agua y a los productos químicos, se obtenga concretos de alta resistencia; por lo cual contribuye a muchas de las estructuras de concreto que observamos en la actualidad. **(Publicación Cognoscible Technologies)**

No obstante, algunas de sus desventajas es su elevado costo, la contaminación que produce hacia el medio ambiente y que es perjudicial para la salud de las personas que manipulan este aditivo; por lo cual; se requiere una atención especial debido a que la microsílice es un material pulverizado más fino que el humo del cigarrillo, lo que puede provocar silicosis si las condiciones de seguridad no son las ideales. **(Publicación Cognoscible Technologies)**

A mediados del año 2003, Cognoscible Technologies en conjunto con la empresa Ulmen S.A; adquirieron un gran desafío el cual fue elaborar un producto que sustituyera a la microsíllice dado que este tenía efectos contaminantes y era nocivo para la salud del personal que lo manipulaba pero que tuviera los mismos resultados o incluso mejores y a un precio razonable que ameritara su uso. Haciendo uso de la nanotecnología, física y química se logró cumplir este desafío, creando un producto innovador al cual denominaron Gaia Nanosíllice, este se encuentra en estado líquido y no es contaminante para el medio ambiente e incluso en laboratorio se demuestra que se obtiene mejores resultados con respecto a la microsíllice además una botella del producto igualaba a un barril entero de microsíllice, cemento extra y superplastificantes. **(Publicación Cognoscible Technologies)**

Tabla 8
Diferencias entre Nanosíllice y Microsíllice

Diferencias entre nanosíllice y microsíllice				
Tipo	Densidad (g/ml)	Tamaño de partícula (nm)	Área específica de Superficie (m²/g)	Apariencia
Nanosíllice	1.15	3 - 150	20 - 1000	Líquido
Microsíllice	0.3	200 - 1000	15 - 20	Polvo seco

Fuente: *Cognoscible Technologies*

2.2.1.2.4.3. Influencia en la trabajabilidad

Senff et al analizaron la influencia de la nanosíllice en la reología en estado fresco y la demanda de agua mediante la introducción de nanosíllice en el mortero. Se encontró que la inclusión de nanosíllice en su estado fresco tuvo un efecto directo sobre el contenido de agua deseada en la mezcla. La alta área superficial específica de las partículas requiere más agua para mantener la trabajabilidad deseada en la mezcla. Sin embargo, la exclusión de agua al

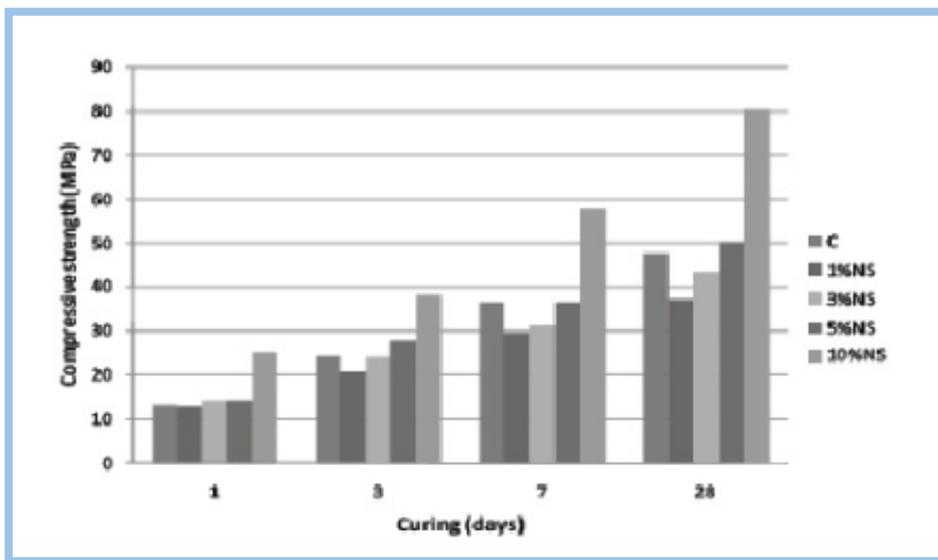
aumentar el contenido de nanosílice resultó en un mejor empaquetamiento de las partículas, logrando un menor espacio entre ellas y menor porosidad. (Senff et al, 2009, p.2487-2491)

De la misma manera, los autores encontraron en estudios reológicos que luego de agregar grandes cantidades de nanosílice, se observó una disminución en la fluidez después de dos horas de la elaboración del material. Este comportamiento podría deberse al rozamiento entre las estructuras internas y las partículas, ya que al reducir su distancia aumentaría la frecuencia de contacto y colisión entre ellas. (Senff et al, 2010, p.1432-1437)

2.2.1.2.4.4. Influencia en las resistencias a compresión

El análisis de Tobón et al, mostró el efecto del uso de nanosílice en un mortero convencional. Sus ensayos incluyeron cuantificación de 0%, 1%, 3%,5% y 10% en peso de cemento. Como se observa en la **Figura 6** muestra los valores de resistencia a la compresión obtenidos luego de varios después del proceso de curado. (Tobón et al, 2010, p. 3746)

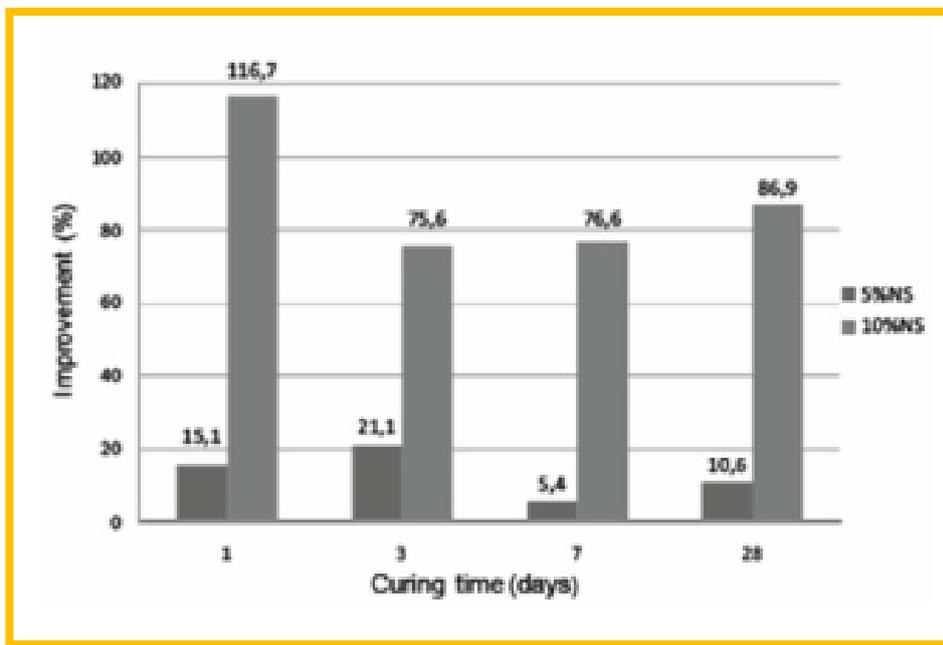
Figura 6. Resistencia a compresión de morteros de control y con sustitución de Nanosílice



Fuente: Tobón et al (2010), Comparative analysis of performance of Portland cement blended with nanosilica and sílice fume, p.3746

Analizando la **Figura 6** nos muestra que solo los morteros elaborados con un porcentaje de nanosílice igual o superior al 5%, estos mostraron una mejora en la resistencia. Especialmente, para la dosificación del 10% de nanosílice, el ensayo realizado a los 7 días de edad mostró una resistencia 10 MPa mayor que el mortero de control curado después de 28 días de edad. De la misma manera, al agregar un 5% o 10% provoca una diferencia significativa en la resistencia a tomar en cuenta. La mejora siempre fue un 25% menor cuando se usaba un 5% de nanosílice en comparación con la muestra de control. No obstante, el 10% de la resistencia alcanzó cerca del 120% a un día de edad y alrededor del 80% más alto respecto a las demás edades como se observa en la **Figura 7**. (Tobón et al, 2010, p. 3746)

Figura 7. Incremento porcentual de las Resistencias a la Compresión



Fuente: Tobón et al (2010), *Comparative analysis of performance of Portland cement blended with nanosilica and silice fume*, p.3746

El crecimiento de la resistencia a la compresión se debe a la incorporación de nanosílice se puede atribuir a dos razones. El primer método corresponde al empaquetamiento de las partículas que actúan como filler, relleno de los vacíos internos de la estructura granular, aumentando su densidad y

resistencia a la compresión. El segundo método corresponde al efecto puzolana, cuya reacción de precipitación de CSH densifica la matriz y mejora la resistencia a la compresión del material endurecido. **(Ywan et al, 2006, p.266-274)**

2.2.1.3. Propiedades del concreto

2.2.1.3.1. Propiedades del concreto fresco

2.2.1.3.1.1. Trabajabilidad

Se determina por el nivel de dificultad (mayor o menor) para el mezclado, transporte, vertimiento y compactación del concreto. Su valoración es relativa debido a que depende de los medios manuales o mecánicos que se encuentren disponibles durante las etapas del desarrollo, debido a que un concreto se ve influenciado bajo ciertas condiciones durante la colocación y compactación por ende puede ser trabajable o no trabajable. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.131)**

Se encuentra influenciada en su mayoría por el contenido de agua, la pasta y el adecuado equilibrio entre finos y gruesos que, en casos óptimos, crean un patrón continuo en el movimiento natural y/o inducido de la masa. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.131)**

Generalmente, un concreto es trabajable casi en la totalidad de los casos, cuando a lo largo de su desplazamiento conserva una capa de mortero mínimamente de ¼” sobre el agregado grueso. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.131)**

El Slump o asentamiento con el Cono de Abrams, desde hace mucho tiempo ha sido el método más utilizado para medir la trabajabilidad del concreto, debido a que, a esta propiedad se le puede asignar un valor numérico; no obstante hay que tener una idea clara que es más una prueba de uniformidad que de trabajabilidad, bajo iguales condiciones de trabajo se puede evidenciar la obtención de concretos con el mismo slump por el contrario puede presentar diferentes trabajabilidades. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.131)**

2.2.1.3.1.2. Segregación

Las diferencias que existen entre las densidades de los elementos que componen el concreto causan que las partículas más pesadas tiendan a descender, sin embargo comúnmente la densidad que presenta la pasta con los agregados finos es solamente un 20% menor que la de los agregados gruesos, lo cual añadido a su viscosidad genera que el agregado grueso permanezca suspendido y se encuentre sumergido en la matriz. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.139)**

Cuando se produce una reducción de la viscosidad del mortero debido a que presenta una pésima distribución de las partículas, una defectuosa granulometría o escasa concentración de la pasta; por lo tanto las partículas gruesas se disocian del mortero y da lugar a lo que se denomina segregación. Para concretos con contenidos de piedra > del 55% en peso del peso total del agregado, es común confundir la segregación con la apariencia normal de estos concretos, para proceder a verificar se debe adquirir dos muestras de concreto en estado fresco de diferentes lugares y comparar el contenido de gruesos por lavado, estos no deben diferir en más del 6%. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.141)**

2.2.1.3.1.3. Exudación

Es la propiedad que ocurre cuando una parte del agua de mezcla se divide de la masa y asciende hacia la superficie del concreto. Este es un caso típico del proceso de sedimentación en el que el sólido se deposita en la masa plástica. Este fenómeno se rige por las leyes físicas del flujo de fluidos en el sistema capilar, y no por la influencia de las diferencias de viscosidad y densidad. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.141)**

Se encuentra condicionada por la cantidad de partículas finas en los agregados y el grado de finura del cemento, dado que cuanto más fina sea la molienda y mayor es el porcentaje de material debajo que la malla N° 100, el

agua de mezcla es retenida por lo tanto menor será la exudación. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.141)**

Dado a que es una propiedad inherente a su estructura, la exudación no se puede evitar, por consiguiente es vital poder controlarla y evaluarla respecto al impacto negativo que puede ocasionar. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.141)**

La Norma **ASTM C-232** determina la prueba estándar para medir la exudación, solo se requiere una pipeta como equipo adicional a los moldes, balanzas y probetas graduadas. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.142)**

2.2.1.3.1.4. Contracción

Es una de las propiedades fundamentales debido a la frecuencia de los problemas de agrietamiento. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.142)**

Se le denomina contracción intrínseca al proceso irreversible donde la pasta de cemento se contrae causado por la reducción del volumen de agua inicial por combinación química. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.142)**

Asimismo, se le denomina contracción por secado al fenómeno responsable de la parte mayor de los problemas de agrietamiento, debido a que ocurre en el estado plástico así como en el estado endurecido cuando la mezcla pierde agua. Este proceso no es irreversible, dado que si se reemplaza el agua perdida por secado, se restaurará gran parte de la contracción producida.

(Pasquel Carbajal, 1998, p.142)

2.2.1.3.2. Propiedades del concreto endurecido

2.2.1.3.2.1. Elasticidad

Se le denomina a la capacidad que posee el concreto de deformarse bajo la acción de una carga, sin mantener una deformación duradera. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.142)**

El concreto no es un material elástico porque no se comporta linealmente en ninguna parte del diagrama de carga vs deformación en compresión, no obstante, es común definir un “Módulo de elasticidad estático” del concreto en la dirección de la recta tangente a la parte inicial del diagrama, o una recta secante que une el origen del diagrama con un punto establecido que normalmente es un % de la tensión última. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.142)**

Los módulos de elasticidad normales fluctúan entre 250,000 kg/cm² a 350,000 kg/cm² y es directamente proporcional con la resistencia a la compresión del concreto e inversamente proporcional a la relación a/c. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.143)**

Técnicamente, presentan módulos de elasticidad mayores y mayor capacidad de deformación las mezclas más ricas en comparación con las mezclas pobres.

La Norma **ASTM C-469**, se encarga de determinar el módulo de elasticidad estático del concreto. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.143)**

2.2.1.3.2.2. Resistencia

Se define como resistencia a la capacidad de tolerar esfuerzos y cargas, la resistencia a la compresión presenta un comportamiento superior en comparación a la resistencia a la tracción, a causa de las propiedades adhesivas de la pasta de cemento. Se basa mayormente en la concentración de la pasta de cemento y generalmente se expresa como la relación a/c en peso. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.143)**

Se ven afectados por los mismos factores que intervienen en las propiedades resistentes de la pasta (temperatura y tiempo), añadidos a otros componentes adicionales que incluyen el tipo y sus características de resistencia del cemento a utilizar y la calidad de los agregados; que conforman la estructura del concreto. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.143)**

El curado es un factor indirecto pero de gran importancia en cuanto a la resistencia, debido a que sin él no se logra alcanzar en su totalidad las propiedades resistentes del concreto ya que el curado complementa el proceso de hidratación. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.143)**

La resistencia a la compresión de los concretos normales fluctúan entre los 100 kg/cm^2 a 400 kg/cm^2 , se logró alcanzar una resistencia a la compresión por encima de los 700 kg/cm^2 a causa de haber logrado optimizar diseños sin la utilización de aditivos. Las tecnologías que utilizan los denominados polímeros, que incluyen aglomerantes sintéticos sumados a la mezcla, permiten alcanzar una resistencia a la compresión de hasta los 1,500 kg/cm^2 , y parece que todo está demostrado que el desarrollo de esta tecnología en el futuro permitirá superar aún estos niveles de resistencia. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.143)**

2.2.1.3.2.3. Extensibilidad

Es la propiedad que presenta el concreto de deformarse sin fisurarse. Se determina en función de la deformación unitaria máxima que el concreto puede soportar sin agrietarse. Se basa en la elasticidad y del flujo plástico, que incluye la deformación provocada por la exposición del concreto a cargas constantes en el tiempo. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.145)**

El flujo plástico se caracteriza por lograr una recuperación parcial, también está asociado con la contracción, aunque son dos fenómenos teóricamente independientes. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.145)**

La microfisuración se manifiesta normalmente con una deformación final de aproximadamente el 60%, y una deformación unitaria de 0.0012, y en condiciones normales, aparecen grietas visibles con una deformación unitaria de 0.003. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.145)**

2.3. Definición de términos

- ✚ **Aditivo:** “Material distinto del agua, de los agregados o del cemento hidráulico, utilizado como componente del concreto, y que se añade a éste antes o durante su mezclado a fin de modificar sus propiedades”. (NTE E 060 Concreto Armado, 2020, p.25)
- ✚ **Agregado para concreto:** “Es un conjunto de partículas, de origen natural o artificial, que pueden ser tratadas o elaboradas y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por la NTP 400.037. Se les llama también áridos”. (NTP 400.037, 2014, p.6)
- ✚ **Ataque de sulfatos:** “La forma más común de ataque químico del concreto, causada por los sulfatos en las aguas subterráneas o en el suelo, que se manifiesta por la expansión y la desintegración del concreto”. (Kosmatka et al, 2004, p.398)
- ✚ **Concreto Estructural:** “Todo concreto utilizado con propósitos estructurales incluyendo al concreto simple y al concreto reforzado”. (NTE E 060 Concreto Armado, 2020, p.26)
- ✚ **Curado:** “Proceso que consiste en controlar las condiciones ambientales (especialmente temperatura y humedad) durante el fraguado y/o endurecimiento del cemento, mortero o hormigón (concreto)”. (NTP 334.001,2001, p.10)
- ✚ **Curva granulométrica:** “Representación gráfica de la granulometría y proporciona una visión objetiva de la distribución de tamaños del agregado. Se obtiene llevando en abscisas los logaritmos de las aberturas de los tamices y en las ordenadas los porcentajes que pasan o sus complementos a 100, que son los retenidos acumulados”. (NTP 400.011,2008, p.6)
- ✚ **Dosificación:** “Proporción, en masa o volumen de los distintos materiales que integran una mezcla”. (NTP 334.001,2001, p.10)
- ✚ **Fraguado:** “Condición alcanzada por una pasta, mortero o hormigón (concreto) de cemento cuando éste ha perdido plasticidad a un grado arbitrario, generalmente medido en términos de resistencia a la penetración; fraguado inicial se refiere a la primera rigidez;

fraguado final se refiere a la adquisición de una rigidez significativa”. (NTP 334.001,2001, p.11)

- ✚ **Grava:** “Agregado grueso, proveniente de la desintegración natural de los materiales pétreos. Se encuentra comúnmente en canteras y lechos de ríos, depositado en forma natural”. (NTE E 060 Concreto Armado, 2020, p.27)
- ✚ **Nivel Freático:** “Nivel superior del agua subterránea en el momento de la exploración. El nivel se puede dar respecto a la superficie del terreno o a una cota de referencia”. (NTE E050 Suelos y Cimentaciones, 2020, p.10)
- ✚ **Piedra triturada o chancada:** “Se denomina así, al agregado grueso obtenido por trituración artificial o mecánica de rocas o gravas, escorias u otros”. (NTP 400.037, 2014, p.6)
- ✚ **Resistencia de Diseño:** “Resistencia nominal multiplicada por el factor de reducción de resistencia ϕ que corresponda”. (NTE E 060 Concreto Armado, 2020, p.29)
- ✚ **Resistencia Requerida:** “Resistencia que un elemento o una sección transversal debe tener para resistir las cargas amplificadas o los momentos y fuerzas internas correspondientes combinadas según lo estipulado en esta Norma”. (NTE E 060 Concreto Armado, 2020, p.29)
- ✚ **Tamaño Máximo Nominal:** “Es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido entre 5% y 10%”. (NTP 400.037, 2014, p.6)
- ✚ **Testigo:** “Muestra cilíndrica de concreto hidráulico o de mezcla bituminosa”. (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, p.12)

2.4. Marco normativo

➤ **NTP 339.089 – SUELOS. Obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo)**

“Norma Técnica Peruana elaborada por el Comité Técnico Permanente de Geotecnia basada en la Norma ASTM C 702 – 93, esta norma establece los procedimientos para obtener en el laboratorio la muestra necesaria para realizar los ensayos, de forma que sea representativa de la muestra total recibida”. (NTP 339.089, 1998, p.1)

➤ **NTP 339.185 – AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado**

“Norma Técnica Peruana elaborada por el Comité Técnico de Normalización de Agregados, Hormigón (concreto), Hormigón Armado y Hormigón Pretensado basada en la Norma ASTM C 566:1997, establece el procedimiento para determinar el porcentaje total de humedad evaporable en una muestra de agregado fino o grueso por secado”. (NTP 339.185, 2002, p.1)

➤ **NTP 400.012 – AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global**

“Norma Técnica Peruana elaborada por el Comité Técnico de Normalización de Agregados, Hormigón (concreto), Hormigón Armado y Hormigón Pretensado tiene como antecedente a la ASTM C 136- 96a, se encarga de establecer el método para la determinación de la distribución por tamaño de partículas del agregado fino, grueso y global por tamizado”. (NTP 400.012, 2001, p.1)

➤ **NTP 400.017 – AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados**

“Norma Técnica Peruana elaborada por el Comité Técnico de Normalización de Agregados, Concreto, Concreto Armado y Concreto Pretensado basada en la Norma ASTM C 29/C29M-2009, que establece la determinación de la densidad de masa (“Peso unitario”) del agregado en condición suelto o compactado, y calcula los vacíos entre

partículas en agregados finos, gruesos o mezcla de ambos basados en la misma determinación”. (NTP 400.017, 2011, p.1)

➤ **NTP 400.022 – AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino**

“Norma Técnica Peruana elaborada por el Comité Técnico de Normalización de Agregados, concreto, concreto armado y concreto pretensado, tiene como antecedente a la norma ASTM C128-2012, establece un procedimiento para determinar la densidad promedio de partículas de agregado fino (no incluye los orificios entre las partículas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado fino”. (NTP 400.022, 2013, p.1)

➤ **NTP 400.021 – AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso**

“Norma Técnica Peruana elaborada por el Comité Técnico de Normalización de Agregados, concreto, concreto armado y concreto pretensado, tiene como antecedente a la norma ASTM C127-2012, establece un procedimiento para determinar la densidad promedio de partículas de agregado grueso (no incluye los orificios entre las partículas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado grueso”. (NTP 400.021, 2013, p.1)

➤ **NTP 400.037 – AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto**

“Norma Técnica Peruana elaborada por el Comité Técnico de Normalización de Agregados, concreto, hormigón armado y hormigón pretensado, tiene como antecedente a la norma ASTM C33/C33M:2013, establece los requisitos de gradación (granulometría) y calidad de los agregados fino y grueso para uso en concreto de peso normal”. (NTP 400.037, 2014, p.1)

➤ **NTP 339.088 – CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos**

“Norma Técnica Peruana elaborada por el Comité Técnico de Normalización de Agregados, concreto, hormigón armado y hormigón pretensado tiene como antecedente a

la ASTM 1602/C 1602M: 2012, establece los requisitos de composición y performance para el agua utilizada como agua de mezcla en el concreto de cemento Portland”. (NTP 339.088, 2014, p.1)

➤ **NTP 339.035 – HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland**

“Norma Técnica Peruana elaborada por el Comité Técnico de Normalización de Agregados, concreto, hormigón armado y hormigón pretensado tiene como antecedente a la ASTM C 143/C143-2008, establece como método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto de cemento Portland, tanto en el laboratorio como en el campo”. (NTP 339.035, 2009, p.1)

➤ **NTP 339.034 – CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas**

“Norma Técnica Peruana elaborada por el Comité Técnico de Normalización de Agregados, concreto, concreto armado y concreto pretensado tiene como antecedente a la ASTM C 39/ C 39M: 2015, establece la determinación de la resistencia a la compresión en especímenes cilíndricos de concreto y extracciones diamantinas de concreto”. (NTP 339.034, 2015, p.1)

➤ **NTP 339.184 – CONCRETO. Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de hormigón (concreto)**

“Norma Técnica Peruana elaborada por el Comité Técnico de Normalización de Agregados, Hormigón (concreto), Hormigón Armado y Hormigón Pretensado tiene como antecedente a la ASTM C 1064/C 1064 M:1999; establece el procedimiento para determinar la temperatura de mezclas de hormigón (concreto) en estado fresco”. (NTP 339.184, 2002, p.1)

➤ **NTP 339.183 – CONCRETO. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio**

“Norma Técnica Peruana elaborada por el Comité Técnico de Normalización de Agregados, concreto, concreto armado y concreto pretensado tiene como antecedente a la ASTM C192, establece el procedimiento para la elaboración y curado de muestras de

concreto en el laboratorio bajo estricto control de materiales y condiciones de ensayo”.
(NTP 339.183, 2013, p.1)

- **NTP 334.082- CEMENTOS. Cementos Portland. Especificación de la performance**
“Norma Técnica Peruana elaborada por el Comité Técnico de Cementos y Cales, tiene como antecedente a la norma ASTM C 1157:2003, establece los requisitos de performance que cubren a los Cementos Portland para aplicaciones generales y especiales”. (NTP 334.082,2008, p.1)

- **NTP 334.045 - CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la finura del cemento Portland por el tamiz de 45 μm (N° 325)**
“Norma Técnica Peruana elaborada por el Comité Técnico de Cementos, Cales y Yesos; tiene como antecedente a la norma ASTM C 430-2008, establece la determinación de la finura del cemento por tamizado húmedo, mediante el empleo del tamiz normalizado N° 325 (μm)”. (NTP 334.045, 2010, p.1)

- **Comité ACI 318 – Requisitos de Reglamento para concreto estructural**
El American Concrete Institute (ACI), proporciona los requisitos mínimos para cualquier diseño o construcción de concreto estructural. (ACI 318, 2005, p.1)

- **Comité ACI 211 – Diseño de Mezcla**
El American Concrete Institute (ACI), proporciona los requerimientos para el diseño de mezcla. (ACI 211, 2005, p.1)

2.5. Marco contextual

El agregado fino y el agregado grueso, se obtuvieron de la cantera “La Sorpresa”, que se encuentra ubicada a 45 minutos del Centro de Chimbote del Departamento de Ancash en el Perú.

El Cemento Portland Tipo MS de la marca “Pacasmayo” utilizado en la elaboración de concreto se compró en la Empresa “DINO”, ubicada en el Distrito de Nuevo Chimbote, Departamento de Áncash en el Perú.

Se trasladó todo en una camioneta tanto los agregados como el cemento hasta la parte posterior de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Santa.

El aditivo GAIA Microsílice de la línea GAIA Nanosílice se obtuvo mediante la donación de la empresa Ulmén S.A., que se encuentra ubicada en el Distrito de Villa el Salvador en la ciudad de Lima en el Perú.

Los ensayos de los agregados para la preparación del Diseño de Mezcla para una resistencia de $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ se efectuaron en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Santa que se encuentra ubicada en el Distrito de Nuevo Chimbote, Departamento de Áncash en el Perú.

La elaboración del concreto se realizó en el Laboratorio de Tecnología del Concreto de la Facultad de Ingeniería Civil que se encuentra ubicada en el Distrito de Nuevo Chimbote, Departamento de Áncash en el Perú.

La rotura de las probetas cilíndricas de concreto se efectuó en el Laboratorio KAE Ingeniería S.A.C, ubicada específicamente en el Pueblo Joven de Miraflores Alto en la ciudad de Chimbote, Departamento de Áncash en el Perú.

Capítulo III

**MATERIALES Y
MÉTODOS**

3.1. Tipo de investigación

Aplicada, porque al encontrar el porcentaje óptimo de sustitución parcial del cemento Portland Tipo MS por Nanosílice, se logrará mejorar las propiedades del concreto estructural como resistencia y trabajabilidad, a fin de usarse en futuras construcciones en la ciudad de Chimbote.

3.2. Nivel de investigación

3.2.1. Según la naturaleza de la información

Cuasi-Experimental, porque se llevará a cabo ensayos sustituyendo parcialmente distintos porcentajes de Cemento Portland Tipo MS por Nanosílice en la elaboración del concreto estructural para el mejoramiento de sus propiedades.

3.2.2. Según el momento en que se recolectan los datos

Prospectiva, dado que los datos primarios recolectados en el estudio (resistencia a la compresión de los testigos de concreto, porcentaje óptimo de sustitución parcial del cemento portland por Nanosílice y slump de la respectiva mezcla de concreto estructural) ocurren a partir de llevar a cabo la investigación.

3.2.3. Según el tiempo en que se efectúa

Longitudinal, debido a que existe un tiempo específico (7, 14, 28 días) en los que se realizarán los ensayos de resistencia a la compresión axial a los testigos de concreto.

3.3. Unidad de análisis

Especímenes de Concreto estructural y sus distintos porcentajes de sustitución parcial del cemento portland Tipo MS por Nanosílice.

3.4. Ubicación

Región : Ancash
Provincia : Santa
Distrito : Chimbote

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población está conformada por el conjunto de probetas cilíndricas de concreto con resistencia de diseño $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, elaborados con tamaño máximo nominal de $\frac{3}{4}$ " y con sustitución parcial de Cemento Portland Tipo MS por Nanosílice.

3.5.2. Muestra

La cantidad de testigos de concreto se seleccionó mediante el muestreo no probabilístico, dado que los criterios de selección empleados se enfocaron en el objetivo de la investigación y demostración de la hipótesis, sin tomar en cuenta cálculos estadísticos, con un total de 60 probetas cilíndricas que se llevaron a cabo tal como se puede visualizar en la **Tabla 9**, donde se especifica la cantidad de probetas elaboradas en laboratorio. A la edad de 7 días se ensayaron la cantidad de 2 probetas, a los 14 días la cantidad de 2 probetas y a los 28 días de edad igualmente 2 probetas; haciendo el total de 6 probetas ensayadas solo para la muestra patrón ($F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$); de la misma manera, por cada uno de los porcentajes de sustitución parcial del cemento portland Tipo MS por nanosílice (0.3%, 0.8% y 1.3%). En total se ensayaron 24 probetas por resistencia de diseño. Posteriormente, se obtuvo un porcentaje óptimo de sustitución parcial del Cemento Portland Tipo MS por Nanosílice, el cual obtuvo una mejor resistencia, con el cual se ensayaron 36 probetas que fueron sometidas al ensayo de resistencia a la compresión axial a la edad de 28 días de curado.

Tabla 9
 Cantidad de probetas de concreto

Denominación	Cantidad de probetas ensayadas			Total
	A los 7 días	A los 14 días	A los 28 días	
	Concreto - F'c=210 kg/cm²			
Muestra patrón (concreto sin adición de nanosílice)	2	2	2	6
Concreto con 0.3% de sustitución parcial de cemento portland tipo MS por nanosílice	2	2	2	6
Concreto con 0.8% de sustitución parcial de cemento portland tipo MS por nanosílice	2	2	2	6
Concreto con 1.3% de sustitución parcial de cemento portland tipo MS por nanosílice	2	2	2	6
Concreto con % óptimo de sustitución parcial de cemento portland tipo MS por nanosílice	0	0	36	36
Total	8	8	44	60

Fuente: *Elaboración Propia, 2021*

3.6. Variables

3.6.1. Variable dependiente

- Propiedades del concreto estructural.

3.6.2. Variables independiente

- Nanosílice en porcentajes de 0.3%, 0.8% y 1.3%.

3.6.3. Matriz de consistencia

Tabla 10
 Matriz de consistencia

Pregunta de investigación	Objetivos	Hipótesis	Variable	
Pregunta principal	Objetivo principal	Hipótesis principal		
¿Cómo mejorarán las propiedades del concreto estructural mediante la sustitución parcial del Cemento Portland Tipo MS por aditivo Nanosílice en Chimbote?	Realizar la mejora de las propiedades del concreto estructural mediante sustitución parcial del Cemento Portland Tipo MS por Nanosílice.	El uso de Nanosílice como sustitución parcial de Cemento Portland Tipo MS mejorará las propiedades del concreto estructural.	Variable Dependiente	Propiedades del concreto estructural
			Variable Independiente	Nanosílice en porcentaje de 0.3%, 0.8% y 1.3%.

Fuente: *Elaboración Propia; 2021*

3.6.4. Operacionalización de variables

Tabla 11
Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual de la variable	Definición operacional de la variable	Dimensión de la variable	Indicadores	Escala de medición
Variable Dependiente Propiedades del concreto estructural	Las propiedades del concreto son sus características o cualidades básicas. (IMCYC,2004,pg.12)	Características físicas y mecánicas que se pueden medir sin afectar la composición de la mezcla.	Normativa	Asentamiento de Concreto en estado fresco (SLUMP).	Razón
				Física	Resistencia a la compresión de cilindros de concreto
			Trabajabilidad		Razón
			Impermeabilidad		Razón
			Temperatura		Intervalo
			Cohesión		Razón
			Mecánicas	Resistencia a la compresión	Razón
Elasticidad	Razón				
Resistencia a la tensión	Razón				
Resistencia a la tracción	Razón				
	Resistencia a la cortante	Razón			
	Resistencia a la Torsión	Razón			
Variable Independiente Nanosílice en porcentajes de 0.3%,0.8% y 1.3%.	Es un nano aditivo en estado líquido, a base de sílice con partículas de tamaño nanométrico. (Ficha técnica GAIA Nanosílice, 2008, Edición N°1).	Porcentajes elegidos para sustituir parcialmente al Cemento Portland Tipo MS en la mezcla de concreto estructural.	Física	Plastificante y reductor de agua	Ordinal
				Resistencia a la compresión	Ordinal

Fuente: *Elaboración Propia; 2021*

3.7. Instrumentos

La recolección de datos se realizó mediante ensayos en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y el Laboratorio de Tecnología del Concreto de la Universidad Nacional del Santa, mediante los cuales se determinaron las propiedades de los agregados. Luego de obtener los resultados del ensayo de resistencia a la compresión de las probetas cilíndricas de concreto se realizó un análisis de los resultados mediante tablas y gráficas elaboradas en Microsoft Excel.

➤ Ensayo realizados en laboratorio de los agregados

- Obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo) (NTP 339.089).
- Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado (NTP 339.185).
- Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global (NTP 400.012).
- Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados (NTP 400.017).
- Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino (NTP 400.022).
- Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso (NTP 400.021).

➤ Diseño de Mezcla

- Comité ACI 211.

➤ Elaboración de las probetas de concreto

- Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio (NTP 339.183).

➤ Ensayo a las probetas de concreto

- Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland (NTP 339.035).
- Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de hormigón (concreto) (NTP 339.184).

- Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas (NTP 339.034).

3.8. Procedimientos

3.8.1. Procedimiento de los ensayos en laboratorio para determinar las propiedades de los agregados

3.8.1.1. Obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo) (NTP 339.089/ASTM C702)

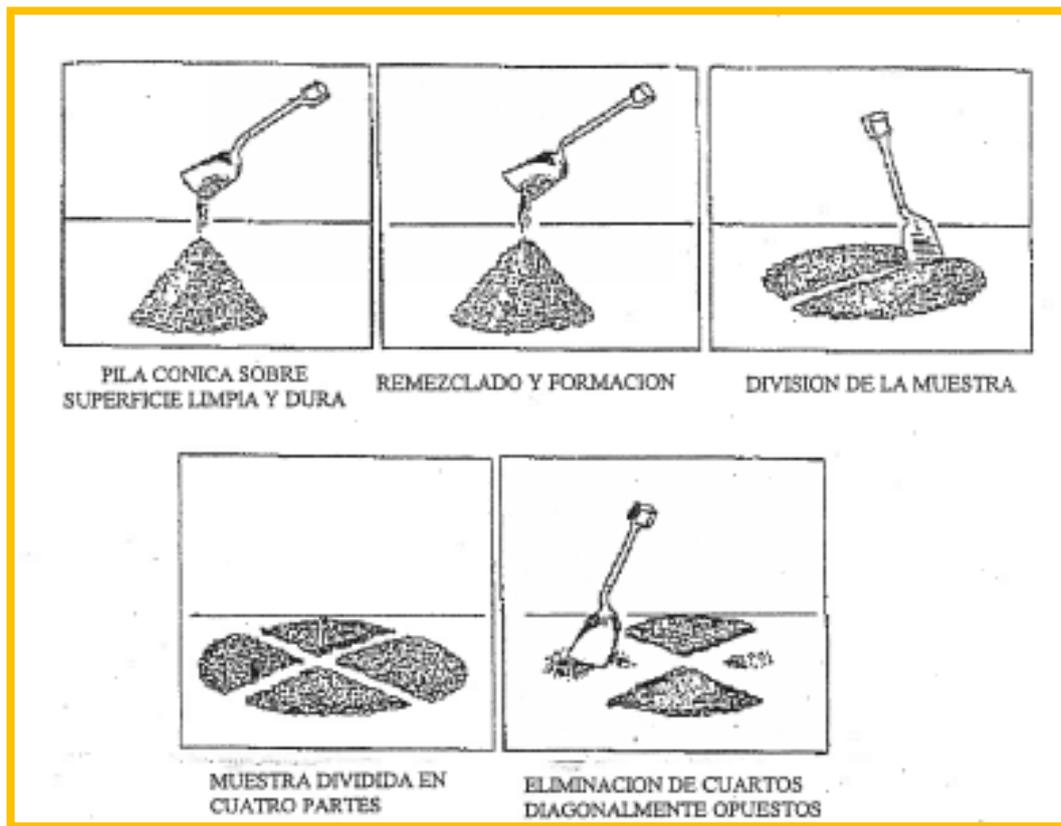
3.8.1.1.1. Equipos y Materiales:

- Cucharón metálico.
- Recipientes.
- Brocha.
- Guantes.
- Regla de madera, de longitud apropiada.

3.8.1.1.2. Procedimiento:

- La muestra se colocó sobre una superficie horizontal, compacta y limpia para así poder evitar la contaminación o pérdida de la misma.
- Luego se mezcló bien el material formando una pila en forma de cono para lo cual se tomó el material con una pala desde la base y depositándose desde arriba para que así caiga de manera uniforme hacia los lados, repitiéndose este proceso sucesivamente por cuatro veces.
- Posteriormente con mucho cuidado se aplanó y extendió la pila cónica hasta formar una base de forma circular, con espesor y diámetro uniforme, el cual debe medir aproximadamente cuatro a ocho veces el espesor.
- Con la ayuda de una regla de madera se procedió a dividir el material diametralmente en cuatro partes iguales, separando dos cuartos diagonalmente opuestos con todo el material fino incluido, y con una brocha se limpió los espacios libres.
- Finalmente con los otros dos cuartos sobrantes se mezclaron y se repite todo el procedimiento anterior hasta obtener la cantidad de muestra deseada.

Figura 8. Cuarteo sobre una superficie limpia y nivelada



Fuente: NTP 339.089; 1998, p.9

3.8.1.2. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado (NTP 339.185 / ASTM C566)

3.8.1.2.1. Equipos y Materiales

- Balanza electrónica con aproximación de 0.01 g.
- Recipientes metálicos para la muestra.
- Horno eléctrico con una temperatura uniforme de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

3.8.1.2.2. Muestra

Para la realización de este ensayo el tamaño de la muestra tomada se obtuvo de la **Tabla 12**, que se muestra a continuación:

Tabla 12
Tamaño de la Muestra

Tamaño máximo nominal del agregado mm (pulg)	Masa mínima de la muestra de agregado de peso normal en Kg
4,75 (0,187) (N°4)	0,5
9,5 (3/8)	1,5
12,5 (1/2)	2,0
19,0 (3/4)	3,0
5,0 (1)	4,0
37,5 (1 1/2)	6,0
50,0 (2)	8,0
63,0 (2 1/2)	10,0
75,0 (3)	13,0
90,0 (3 1/2)	16,0
100,0 (4)	25,0
150 (6)	50,0

Fuente: NTP 339.185; 2002, p.4

3.8.1.2.3. Procedimiento

- En primer lugar se procedió a limpiar los recipientes a utilizar para el ensayo de contenido de humedad de los agregados finos y gruesos.
- Luego se codificaron los tres recipientes vacíos a utilizar para el agregado fino y los otros tres recipientes para el agregado grueso.
- Se pesaron cada uno de los seis recipientes para así determinar su peso tara correspondiente de cada uno, utilizando una balanza con precisión del 0.01 g, para su respectivo registro.
- Luego de la reducción de la muestra por cuarteo, se seleccionó tres muestras representativas para el agregado fino y otras tres muestras representativas para el agregado grueso, los cuales se colocaron en los recipientes que se tararon con anterioridad.
- A continuación se procedió a llevar los recipientes con la muestras de agregados para ser colocados en una balanza con precisión de 0.01 g y pesarlas para su registro.

- Posteriormente se colocaron los seis recipientes con las muestras de agregado en el horno a una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, durante 24 horas.
- Pasado este tiempo se sacaron las muestras del horno y se vuelven a pesar y registrar cada uno de los recipientes con la muestra en estado seco.
- Finalmente para calcular el contenido de humedad se promedió los tres valores obtenidos del agregado fino y los otros tres valores obtenidos del agregado grueso.

3.8.1.2.4. Cálculos

- Se utilizó la siguiente fórmula para calcular el contenido de humedad:

$$P = \frac{100(W-D)}{D} \% \dots\dots\dots (1)$$

Ecuación 1: Contenido de Humedad de los Agregados

Dónde:

P = Contenido de Humedad de la muestra (%)

W = Masa de la muestra húmeda (g)

D = Masa de la muestra seca (g)

3.8.1.3. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global (NTP 400.012 / ASTM C136)

3.8.1.3.1. Equipos y Materiales

- Balanza electrónica con aproximación de 0.1 g.
- Balanza electrónica con aproximación de 0.5 g.
- Tamices normalizados: 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", N°04, N°08, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200, cazoleta y tapa.
- Horno eléctrico con una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Recipientes metálicos.
- Cucharón metálico.
- Cepillo.
- Guantes.

3.8.1.3.2. Muestra

La reducción de la muestra se realizó por cuarteo, luego se consideró lo siguiente:

Agregado Fino

Se usó la cantidad de 936 g de agregado fino después de ser secado, cumpliendo con el mínimo de 300 g según indica la norma correspondiente.

Agregado Grueso

Se utilizó la cantidad de 5 304 g de agregado grueso, siendo el mínimo de 5 Kg según indica la **Tabla 13**.

Tabla 13

Cantidad mínima de la muestra de Agregado Grueso o Global

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

Fuente: NTP 400.012; 2001, p.5

3.8.1.3.3. Procedimiento

- En primer lugar se puso a secar la muestra de agregado fino y agregado grueso en el horno eléctrico a una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Luego se seleccionaron los tamices de acuerdo al tipo de agregado a ensayar, estos fueron colocados y encajados en forma decreciente según su tamaño de

abertura del tamiz: Se utilizaron los siguientes tamices para el Agregado Fino (3/8", N°04, N°08, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200) y para el Agregado Grueso (1", 3/4", 1/2", 3/8", N°04), además de la cazoleta y tapa.

- Se realizó el tamizado de manera manual para el grupo de tamices para agregado fino y agregado grueso, colocando la muestra sobre el tamiz superior de manera parcial para evitar un exceso de retención en alguno de ellos.
- Posteriormente se determinó el peso de la muestra retenida en cada tamiz.
- Finalmente luego de haber realizado el tamizado manual se verificó que coincidiera el peso total de la muestra con el peso original de la muestra inicial.

3.8.1.3.4. Cálculos

- Se estableció el porcentaje que pasa, el porcentaje retenido, el porcentaje acumulado sobre cada tamiz; con aproximación de 0.1% en base al peso total de la muestra.
- Se determinó el Módulo de Fineza, según la siguiente fórmula:

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Retenido acumulado Tamiz } (N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100} \dots\dots (2)$$

Ecuación 2: Módulo de fineza del Agregado Fino

- Se comprobó que el módulo de fineza no sea menor de 2.3 ni mayor que 3.1 como lo señala la norma NTP 400.037 .Y que la granulometría del agregado fino (ver **Tabla 2**) y del agregado grueso (ver **Tabla 3**), se encuentre de acuerdo a los límites establecidos por la norma NTP 400.037.

3.8.1.4. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados (NTP 400.017 / ASTM C29)

3.8.1.4.1. Equipos y Materiales

- Balanza electrónica con aproximación de 1 g.
- Varilla compactadora de acero, lisa de 5/8" de diámetro y aproximadamente de 60 cm de longitud, con un extremo de forma redondeada de punta semiesférica.

- Recipientes cúbicos de madera: Agregado Fino (14.1 cm x 14.1 cm x 13.6 cm) y Agregado Grueso (19.5 cm x 16.6 cm x 27.9 cm).
- Cucharón metálico.
- Regla metálica.
- Brocha.
- Recipiente rectangular metálico, bandeja plástica.
- Guantes.

3.8.1.4.2. Muestra

- Para la obtención de la muestra a utilizar se realizó una reducción por cuarteo de los agregados fino y grueso, muestra que debe ser suficiente para realizar el ensayo durante tres veces por cada tipo de agregado.

3.8.1.4.3. Procedimiento

Peso Unitario Suelto

- Inicialmente se midió las dimensiones de los recipientes cúbicos a utilizar para hallar su volumen los cuales también se pesaron en forma individual utilizando una balanza electrónica con aproximación de 1 g; dado que se usó dos tipos de recipientes uno para el agregado fino y otro para el agregado grueso.
- Se llenaron los recipientes con los agregados hasta rebosar utilizando un cucharón metálico desde una altura no mayor a 50 mm sobre el borde del mismo.
- Luego se enrasaron cada uno de los recipientes haciendo uso de una regla metálica para el agregado fino y para el agregado grueso se utilizó la varilla lisa, se limpiaron los bordes del recipiente con una brocha eliminando el material excedente.
- Finalmente se registraron los respectivos pesos de los recipientes conteniendo los agregados en su interior.

✚ Peso Unitario Compactado

- Se limpió los recipientes luego del ensayo de peso unitario suelto, sabiendo previamente el peso y volumen de cada uno.
- Se llenaron los recipientes con los respectivos agregados hasta un tercio del total y con los dedos se procede a nivelar la superficie y apisonarla utilizando una varilla lisa compactadora de 5/8” con 25 golpes distribuidos uniformemente, evitando que la varilla golpee la parte del fondo del recipiente.
- Posterior a esta compactación, se siguió vertiendo material dentro de los recipientes, hasta alcanzar los 2/3 de su altura, emparejando nuevamente la superficie con los dedos y apisonando como en el procedimiento anterior asimismo evitando que se penetre la capa anterior.
- Se vertió material dentro de los recipientes, hasta alcanzar su capacidad máxima y se volvió a apisonar con 25 varilladas de manera uniforme y evitando que se penetre la capa anterior. Ya colmados los recipientes con la varilla lisa se enrasó la superficie para el agregado grueso y se utilizó una regla metálica para el agregado fino, limpiando con una brocha los bordes.
- Por último se registraron los respectivos pesos de los recipientes conteniendo los agregados compactados en su interior.

3.8.1.4.4. Cálculos

- Se utilizó la siguiente fórmula para calcular el peso unitario:

$$M = \frac{(G-T)}{V} \dots\dots\dots (3)$$

Ecuación 3: Peso unitario de los Agregados

Dónde:

M = Peso unitario del agregado (Kg/m^3)

G = Peso del recipiente cúbico más el agregado (Kg)

T = Peso del recipiente (Kg)

V = Volumen del recipiente (m^3)

3.8.1.5. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino (NTP 400.022 /ASTM C128)

3.8.1.5.1. Equipos y Materiales

- Balanza electrónica con precisión de 0.1 g.
- Horno eléctrico con una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Molde metálico en forma de cono con las siguientes dimensiones: 40 mm \pm 3 mm de diámetro interior en su base menor, 90 mm \pm 3 mm de diámetro interior en su base mayor y 75 mm \pm 3 mm de altura.
- Varilla compactadora metálica recta, con 340 g \pm 15 g de peso, con un extremo terminado con cara plana circular para el apisonado de 25 mm \pm 3 mm de diámetro.
- Frasco volumétrico de 500 cm^3 de capacidad.
- Secadora de cabello.
- Cocina eléctrica.
- Recipiente metálico.
- Cucharón metálico.
- Agua destilada.
- Guantes.

3.8.1.5.2. Muestra

- El agregado se reduce a través del método de cuarteo, obteniendo una muestra con la cantidad necesaria para nuestro ensayo.
- La muestra de agregado fino se coloca en un recipiente metálico para posteriormente llevarlo al horno a una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, luego se retira del horno y se deja enfriar a temperatura ambiente.
- Se vierte agua en el recipiente metálico con el agregado fino, hasta cubrir la totalidad del agregado, se deja reposar por un periodo de 24 h.
- Luego de las 24 horas, se puede asegurar que la muestra está absolutamente saturada, por lo que se procedió a verter cuidadosamente el agua del recipiente metálico para evitar la pérdida de finos de la muestra.
- Se extiende la muestra sobre un recipiente plano, revolviendo la muestra con el cucharón metálico y con la ayuda de la secadora eléctrica que emite una

corriente de aire tibia se procede a secar la superficie de las partículas del agregado de manera homogénea.

- Posteriormente, se colocó el molde cónico metálico con el diámetro mayor hacia abajo firmemente sobre una superficie plana no absorbente, se colocó una porción de la muestra del agregado fino en el molde llenándolo hasta el tope, después se apisona suavemente la superficie con 25 golpes distribuidos de manera uniforme con la varilla compactadora y luego se levanta el molde, observando si se derrumba la muestra al quitar el molde cónico, si esta se derrumba significa que el agregado alcanzó la condición de superficie seca por el contrario si el cono de agregado mantiene su forma original significa que se debe seguir secando y revolviendo constantemente hasta provocar el derrumbe.

3.8.1.5.3. Procedimiento

- Se introdujo una muestra de 500 g de material anteriormente preparado en el frasco volumétrico y se llenó parcialmente con agua destilada a una temperatura $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ hasta alcanzar la marca de enrase de 500 cm^3 .
- Se eliminaron las burbujas de aire por el método manual, al invertir, rodar y agitar el frasco volumétrico durante 20 minutos, teniendo como apoyo una cocina eléctrica para comprobar que las burbujas se hayan eliminado en su totalidad.
- Luego de haber eliminado las burbujas de aire, se ajustó la temperatura del frasco y su contenido a una temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, a continuación se procede a llenar el frasco volumétrico hasta la marca de enrase.
- Posteriormente se determina el peso total del frasco volumétrico, espécimen y agua.
- Se removió el agregado fino del frasco volumétrico y se depositó en un recipiente metálico dentro del horno eléctrico a una temperatura uniforme de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, hasta que pierda toda su humedad.
- Finalmente luego de 1 ½ h de enfriamiento se determinó el peso seco de la muestra.

3.8.1.5.4. Cálculos

- Se utilizaron las siguientes fórmulas que se muestran a continuación:

$$\text{Peso Específico de Masa} = \frac{A}{B+S-C} \dots\dots\dots (4)$$

Ecuación 4: Peso Específico de Masa del Agregado Fino

$$\text{Peso Específico de Masa (S.S.S)} = \frac{S}{B+S-C} \dots\dots\dots (5)$$

Ecuación 5: Peso Específico de Masa Saturada Superficialmente Seca del Agregado Fino

$$\text{Peso Específico Aparente} = \frac{A}{B+A-C} \dots\dots\dots (6)$$

Ecuación 6: Peso Específico Aparente del Agregado Fino

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{S-A}{A} \times 100 \dots\dots\dots (7)$$

Ecuación 7: Absorción del Agregado Fino

Dónde:

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

B = Peso del frasco volumétrico lleno de agua hasta la marca de calibración (g).

C = Peso del frasco lleno de la muestra y el agua hasta la marca de calibración (g).

S = Peso de la muestra saturada superficialmente seca (g)

3.8.1.6. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso (NTP 400.021 /ASTM C127)

3.8.1.6.1. Equipos y Materiales

- Balanza electrónica con aproximación de 1 g, equipada con un dispositivo adecuado para suspender el recipiente de la muestra en el agua desde el centro de la plataforma.
- Horno eléctrico con una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Tamiz normalizado de 4,75 mm (N° 4).
- Canastilla con malla de alambre de 3,35 mm (N° 6) con capacidad de 4 a 7 litros.
- Depósito contenedor de agua, idóneo para sumergir la canastilla de alambre dentro de él de manera suspendida.
- Toalla de gran tamaño y capacidad absorbente.
- Tamiz normalizado N° 4 (4.75 mm).
- Recipiente metálico.
- Bandeja.

3.8.1.6.2. Muestra

- Se mezcló la muestra y se redujo por cuarteo hasta que se obtuvo una cantidad de 4.108 Kg, cumpliendo con el peso mínimo de la muestra de ensayo según indica en la **Tabla 14**, para un agregado con tamaño máximo nominal igual a $\frac{3}{4}$.
- Se desechó todo el material que pase el tamiz N°4 (4.75 mm), después se lavó el material para quitar el polvo u otras impurezas superficiales.

Tabla 14
Peso mínimo de la muestra de ensayo

Tamaño Máximo Nominal mm (pulg.)	Cantidad mínima de muestra de ensayo Kg (lb)
12,5 (1/2) o menor	2 (4,4)
19,0 (3/4)	3 (6,6)
25,0 (1)	4 (8,8)
37,5 (1 1/2)	5 (11)
50 (2)	8 (18)
63 (2 1/2)	12 (26)
75 (3)	18 (40)
90 (3 1/2)	25 (55)
100 (4)	40 (88)
125 (5)	75 (165)

Fuente: NTP 400.021; 2013, p.9

3.8.1.6.3. Procedimiento

- Se introdujo la muestra dentro de un recipiente metálico para luego llevarlo al horno eléctrico a una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, después se retiró del horno eléctrico y se dejó enfriar durante 2 horas a temperatura ambiente.
- Se colocó la muestra de agregado grueso dentro de una bandeja para luego cubrirla de agua y se deja reposar por 24 horas.
- Se retiró la muestra del agua, posteriormente se secó la muestra del agregado grueso rodándolas sobre una toalla absorbente de gran tamaño, también se seca separadamente los fragmentos más grandes hasta desaparecer todas las partículas de agua visibles para luego obtener un agregado saturado con superficie seca.
- Se determinó el peso de la muestra saturada superficialmente seca.
- Se introdujo la muestra saturada superficialmente seca dentro de la canastilla metálica de tal forma que todas las partículas queden completamente inmersas

bajo el nivel de agua, se tuvo los cuidados necesarios para evitar la inclusión de aire en la muestra sumergida, agitando la canastilla cuando esta se encuentra sumergida.

- Se determinó el peso de la muestra sumergida.
- Se retiró el agregado de la canastilla metálica y se colocó en un recipiente metálico dentro del horno eléctrico a una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas, se retira el recipiente del horno eléctrico y se deja enfriar durante 2 horas a temperatura ambiente.
- Finalmente, se determinó el peso de la muestra seca.

3.8.1.6.4. Cálculos

- Se utilizaron las siguientes fórmulas que se muestran a continuación:

$$\text{Peso Específico de Masa} = \frac{A}{B-C} \dots\dots\dots (8)$$

Ecuación 8: Peso Específico de Masa del Agregado Grueso

$$\text{Peso Específico de Masa (S.S.S)} = \frac{B}{B-C} \dots\dots\dots (9)$$

Ecuación 9: Peso Específico de Masa Saturada Superficialmente Seca del Agregado Grueso

$$\text{Peso Específico Aparente} = \frac{A}{A-C} \dots\dots\dots (10)$$

Ecuación 10: Peso Específico Aparente del Agregado Grueso

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{B-A}{A} \times 100 \dots\dots\dots (11)$$

Ecuación 11: Absorción del Agregado Grueso

Dónde:

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

B = Peso en el aire de la muestra de ensayo de superficie saturada seca (g).

C = Peso sumergido en agua de la muestra saturada (g).

3.8.2. Diseño de Mezcla

El Comité 211 del ACI (American Concrete Institute), se encargó de elaborar una serie de procedimientos a través del cual se puede realizar el diseño de mezcla. El cual consiste en realizar primero los ensayos para los agregados. Este método contiene tablas de las cual podemos obtener valores que nos servirán para determinar la dosificación correcta para el diseño de mezcla.

Obtendremos los pesos de las mezclas por metro cúbico de concreto de la siguiente manera:

- 1) Selección de la Resistencia Promedio (F'_{cr}).
- 2) Selección del Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso.
- 3) Selección del Asentamiento (Slump).
- 4) Selección del volumen unitario de agua.
- 5) Selección del contenido de aire.
- 6) Selección de la relación a/c.
- 7) Cálculo del contenido de cemento.
- 8) Selección del contenido de Agregado Grueso.
- 9) Cálculo de los volúmenes absolutos.
- 10) Cálculo del contenido de Agregado Fino.
- 11) Valores de diseño.
- 12) Corrección por humedad de los agregados.
- 13) Materiales corregidos.
- 14) Proporción en peso de los materiales corregidos por humedad.

3.8.2.1. Datos necesarios para el Diseño de Mezcla

Se necesita conocer las propiedades de los materiales para realizar el diseño requerido, a continuación, resumiremos las características.

3.8.2.1.1. Cemento

- Cemento Pacasmayo Tipo MS.
- Peso específico: 3.04 gr/cm^3 .

3.8.2.1.2. Agregados

- Origen: Cantera “La Sorpresa” (Agregado Fino)
Cantera “La Sorpresa” (Agregado Grueso)

Tabla 15
Propiedades del Agregado Fino y Agregado Grueso

Propiedades	Agregado Fino	Agregado Grueso
Contenido de Humedad	0.54	0.34
Tamaño Máximo Nominal	-	3/4
Módulo de Fineza	2.80	-
Peso Unitario Suelto	1640.03	1389.84
Peso Unitario Compactado	1803.62	1503.34
Absorción	0.97	0.44
Peso Específico	2.74	2.75

Fuente: *Elaboración propia; 2021*

3.8.2.1.3. Agua

Procedencia: Agua Potable de la Universidad Nacional del Santa.

3.8.2.2. Diseño de Mezcla del concreto

3.8.2.2.1. Selección de la Resistencia Promedio (F'_{cr})

Las mezclas de concreto se diseñan para una resistencia promedio cuyo valor es siempre superior al de la resistencia de diseño.

Debido a que no se cuenta con un registro de resultados de ensayos anteriores que posibilite el cálculo de la desviación estándar, se utilizó los valores de la **Tabla 16** para determinar la resistencia promedio requerida. El F'_c de diseño utilizado para el caso de nuestra investigación es de 210 Kg/cm^2 , por ende el F'_{cr} es de 294 Kg/cm^2 .

Tabla 16
Resistencia a la Compresión Promedio

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

Fuente: *Diseño de Mezclas, Rivva; 1992, p.57*

$F'cr = 294 \text{ Kg/cm}^2$

3.8.2.2.2. Selección del tamaño máximo nominal del Agregado Grueso

Para la selección del tamaño máximo nominal del Agregado Grueso, se encuentra basado en los requerimientos de resistencia de acuerdo a la **Tabla 17**. Por lo tanto, el tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso empleado fue de ¾”, debido a que buscamos resistencias menores a 630 Kg/cm².

Asimismo, el ACI 318 señala que el tamaño máximo nominal del Agregado Grueso no debe exceder a:

- 1/5 de la menor dimensión entre caras de encofrados.
- 1/3 del peralte de las losas.
- ¾ del espacio libre mínimo entre barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barra, tendones y ductos de refuerzo.

Tabla 17
Tamaño Máximo nominal del Agregado Grueso

Resistencia requerida del Concreto (Kg/cm²)	Tamaño máximo del agregado
Menor a < 630	¾” – 1”
Mayor > a 630	3/8” – ½”

Fuente: *ACI 211.4*

Tabla 18
Porcentaje que pasa por las mallas

Tamaño Máximo Nominal	Porcentajes que pasan por las siguientes mallas							
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°8
2"	95 - 100	-	35 - 70	-	10 - 30	-	0 - 5	-
1 1/2"	100	95 - 100	-	35 - 70	-	10 - 30	0 - 5	-
1"	-	100	95 - 100	-	25 - 60	-	0 - 10	0 - 5
3/4"	-	-	100	90 - 100	-	20 - 55	0 - 10	0 - 5
1/2"	-	-	-	100	90 - 100	40 - 70	0 - 15	0 - 5
3/8"	-	-	-	-	100	85 - 100	10 - 30	0 - 10

Fuente: *Diseño de Mezclas, Rívva; 1992, p.70*

T.M.N. = 3/4"

3.8.2.2.3. Selección del Asentamiento (Slump)

Para la selección del Asentamiento (Slump) se basó de acuerdo a la **Tabla 19**, debido a que deseamos obtener una consistencia plástica, el asentamiento se encontrará entre el rango de 3" a 4".

Tabla 19
Asentamiento del concreto por su consistencia

Consistencia	Asentamiento
Seca	0"-2"
Plástica	3" - 4"
Fluida	5" a más

Fuente: *ACI 211*

De igual manera, podemos seleccionar el valor más conveniente utilizando la **Tabla 20**, de acuerdo al uso del concreto en los diferentes tipos de construcciones, por lo cual se deberá utilizar las mezclas de la consistencia más densa que pueden ser colocadas eficientemente.

Tabla 20
Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción

Tipo de Construcción	Asentamiento	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación armados	3"	1"
Cimentaciones simples, cajones, y subestructuras de muros	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas de edificios	4"	1"
Losas y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

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

Fuente: *Diseño de Mezclas, Rivva; 1992, p.73*

Slump = 3" a 4"

3.8.2.2.4. Selección del volumen unitario de agua

Cuando nos referimos al volumen unitario de agua significa establecer la cantidad de agua que se requiere añadir a la mezcladora, por unidad cúbica de concreto.

Para proceder con la selección del volumen unitario de agua nos basamos en la **Tabla 21**, que ha sido elaborada en base a las recomendaciones dadas por el Comité ACI 211. Por lo cual nos permite seleccionar el volumen unitario de agua, en concretos preparados con y sin aire incorporado, teniendo en

consideración los factores como es la consistencia deseada y el tamaño máximo nominal del Agregado Grueso seleccionado.

Debido a que el tamaño máximo nominal del Agregado Grueso es de ¾" y el asentamiento se encuentra en el rango de 3" a 4", y deseamos diseñar un concreto sin aire incorporado. De acuerdo a la **Tabla 21**, el volumen unitario de agua es igual a 205 lt/m³.

Tabla 21
Volumen unitario de Agua

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

Fuente: *Diseño de Mezclas, Rivva; 1992, p.78*

Volumen Unitario de Agua = 205 lt/m³

3.8.2.2.5. Selección del contenido de aire

Se le denomina aire atrapado a las burbujas de aire que se encuentran presentes en la pasta como resultado de las operaciones propias del proceso de puesta en obra, en cambio cuando estas han sido añadidas de manera intencional se le denomina aire incorporado. Por último, a la suma de ambos es decir de los volúmenes de aire atrapado más aire incorporado se le nombra aire total.

De acuerdo a la **Tabla 22**, podemos determinar el porcentaje de aire atrapado debido a que se encuentra en función del Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso cuyo valor es de $\frac{3}{4}$ ", en consecuencia el porcentaje de aire atrapado es de 2.0%.

Tabla 22
Contenido de aire atrapado

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

Fuente: *Diseño de Mezclas, Rivva; 1992, p.85*

Contenido de Aire Atrapado = 2.0 %

3.8.2.2.6. Selección de la relación Agua/ Cemento (A/C)

Se le denomina relación agua/ cemento de diseño, a la cantidad de agua que interviene en la mezcla cuando el agregado se encuentra en condición de saturado superficialmente, este valor se obtiene de la **Tabla 23**.

Por el contrario, en cuanto a la relación agua/cemento efectiva nos referimos a la cantidad de agua de mezcla teniendo en consideración la condición real de humedad que presenta el agregado.

Asimismo, existen dos maneras de determinar la relación agua/ cemento, una de ellas es en función de la resistencia a la compresión promedio (F'_{cr}) y la otra es mediante la durabilidad; de los dos valores se escogerá siempre el menor valor, con esto garantizamos el cumplimiento de las especificaciones. Cabe recalcar que es de suma importancia que la relación agua/cemento seleccionada en base a la resistencia también debe satisfacer los requerimientos de durabilidad.

Se determinará la relación agua/cemento (a/c), en función de la resistencia a la compresión promedio siendo este el valor de **294 Kg/cm²**.

Tabla 23
Relación Agua - Cemento por Resistencia

F' cr (28 días)	Relación agua - cemento de diseño en peso	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43
450	0.38

Fuente: *Diseño de Mezclas, Rivva; 1992, p.91*

Interpolando los valores tenemos el siguiente resultado:

Tabla 24
Cálculo de la relación agua/cemento por resistencia

F'cr	a/c
250	0.62
294	X
300	0.55

Fuente: *Elaboración propia; 2021*

Cálculo:

$$X = 0.62 - \left[\frac{(294 - 250) \times (0.62 - 0.55)}{(300 - 250)} \right]$$

$$X = 0.62 - \left[\frac{(44) \times (0.07)}{(50)} \right]$$

$$X = 0.62 - \left[\frac{(3.08)}{(50)} \right]$$

$$X = 0.62 - 0.0616$$

$$X = 0.5584$$

$$X = 0.558$$

Interpolando tenemos a/c =0.558

3.8.2.2.7. Cálculo del contenido de cemento

- Conociendo el valor del volumen unitario de agua y la relación a/c. Se determinó el factor cemento por unidad cúbica de concreto mediante la división del volumen unitario de agua entre la relación a/c.

$$C = \frac{V}{R} \dots\dots\dots(12)$$

Ecuación 12: Factor cemento

Dónde:

- C** = Factor cemento (Kg/m^3)
- V** = Volumen Unitario de Agua (lt/m^3)
- R** = Relación a/c

$$\text{Factor Cemento} = \frac{\text{Volumen Unitario de Agua}}{\text{Relación a/c}}$$

$$\text{Factor Cemento} = \frac{205 \text{ lt}/m^3}{0.558}$$

$$\text{Factor Cemento} = 367,38 \text{ Kg}/m^3$$

3.8.2.2.8. Selección del contenido de Agregado Grueso

- Se determinó el contenido de agregado grueso seco compactado por Unidad de Volumen del Concreto mediante la **Tabla 25**, elaborada por el Comité 211 del ACI, que se encuentra en función del Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso y del Módulo de Fineza del Agregado Fino. La tabla permite obtener un coeficiente b / b_o que resulta de dividir el peso seco del agregado grueso por la unidad cúbica de concreto entre el peso unitario seco compactado del agregado grueso (Kg/m^3).

Tabla 25
Peso del Agregado Grueso por Unidad de Volumen del Concreto

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso	Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de finura del fino.			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	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: *Diseño de Mezclas, Rivva; 1992, p.118*

$$b / b_o = 0.62$$

Peso del Agregado Grueso = $(b / b_o) \times$ (Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso)

Peso del Agregado Grueso = $(0.62) \times (1503.34 \text{ Kg/m}^3)$

$$\text{Peso del Agregado Grueso} = 932.070 \text{ Kg/m}^3$$

3.8.2.2.9. Cálculo de los volúmenes absolutos

Conociendo el peso del cemento, agua, agregado grueso y el contenido de aire, procedemos a calcular los volúmenes absolutos de estos materiales.

$$\text{Cemento: } \frac{\text{Factor cemento}}{(\text{Peso específico del cemento} \times 1000)}$$

$$\text{Cemento: } \frac{367.38 \text{ Kg/m}^3}{(3.04 \text{ gr/cm}^3 \times 1000)}$$

$$\text{Cemento: } 0.121 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua: } \frac{\text{Volumen Unitario de Agua}}{(\text{Peso específico del agua})}$$

$$\text{Agua: } \frac{205 \text{ lt/m}^3}{1000 \text{ Kg/m}^3}$$

$$\text{Agua: } \mathbf{0.205 \text{ m}^3}$$

$$\text{Aire: } \frac{\text{Contenido de aire total}}{100}$$

$$\text{Aire: } \frac{2}{100}$$

$$\text{Aire: } \mathbf{0.020 \text{ m}^3}$$

$$\text{Agregado Grueso: } \frac{\text{Peso del Agregado Grueso}}{(\text{Peso específico del A.G.} \times 1000)}$$

$$\text{Agregado Grueso: } \frac{932.070 \text{ Kg/m}^3}{(2.75 \text{ gr/cm}^3 \times 1000)}$$

$$\text{Agregado Grueso: } \mathbf{0.339 \text{ m}^3}$$

$$\text{Suma de Volúmenes: } 0.121 \text{ m}^3 + 0.205 \text{ m}^3 + 0.020 \text{ m}^3 + 0.339 \text{ m}^3$$

$$\text{Suma de Volúmenes : } \mathbf{0.685 \text{ m}^3}$$

Tabla 26
Volúmenes Absolutos

Materiales	Volúmenes
Cemento	0.121 m ³
Agua	0.205 m ³
Aire	0.020 m ³
Agregado Grueso	0.339 m ³
Suma de Volúmenes	0.685 m³

Fuente: *Elaboración propia; 2021*

3.8.2.2.10. Cálculo del contenido de Agregado Fino

El contenido de Agregado Fino se obtiene de la diferencia entre la unidad y la suma de los volúmenes absolutos conocidos.

Asimismo, el peso del agregado fino es igual a su volumen absoluto multiplicado por el peso específico del agregado fino.

✚ **Volumen Absoluto del Agregado Fino:** $1 \text{ m}^3 - 0.685 \text{ m}^3$

✚ **Volumen Absoluto del Agregado Fino: 0.315 m³**

✚ **Peso del Agregado Fino Seco:** $0.315 \text{ m}^3 \times (2.74 \text{ gr/cm}^3 \times 1000)$

✚ **Peso del Agregado Fino Seco: 865 Kg/m³**

3.8.2.2.11. Valores de Diseño

Las cantidades de materiales a ser empleadas como valores de diseño es:

✚ **Cemento:** $367,38 \text{ Kg/m}^3$

✚ **Agua:** 205 lt/m^3

✚ **Agregado Fino:** 865 Kg/m^3

✚ **Agregado Grueso:** 932 Kg/m^3

3.8.2.2.12. Corrección por humedad de los Agregados

Las proporciones de los materiales que conforman la unidad cúbica de concreto se corrige en función de las condiciones de humedad de los agregados (fino y grueso), por lo cual se obtienen los siguientes valores:

✚ **Peso Húmedo del Agregado Fino:** $865 \text{ Kg/m}^3 \times (1 + \frac{0.54}{100})$

✚ **Peso Húmedo del Agregado Fino:** $865 \text{ Kg/m}^3 \times 1.0054$

✚ **Peso Húmedo del Agregado Fino: 869.67 Kg/m³**

✚ **Peso Húmedo del Agregado Grueso:** $932 \text{ Kg/m}^3 \times (1 + \frac{0.34}{100})$

✚ **Peso Húmedo del Agregado Grueso:** $932 \text{ Kg/m}^3 \times 1.0034$

✚ **Peso Húmedo del Agregado Grueso: 935.13 Kg/m³**

✚ **Humedad Superficial del Agregado Fino:** 0.54% - 0.97%

✚ **Humedad Superficial del Agregado Fino: - 0.43%**

✚ **Humedad Superficial del Agregado Grueso:** 0.34% - 0.44%

✚ **Humedad Superficial del Agregado Grueso: - 0.10%**

✚ **Aporte de Humedad del Agregado Fino:** $865 \text{ Kg/m}^3 \times (\frac{-0.43}{100})$

✚ **Aporte de Humedad del Agregado Fino:** $865 \text{ Kg/m}^3 \times (-0.0043)$

✚ **Aporte de Humedad del Agregado Fino: - 3.68 lt/m³**

✚ **Aporte de Humedad del Agregado Grueso:** $932 \text{ Kg/m}^3 \times (\frac{-0.10}{100})$

✚ **Aporte de Humedad del Agregado Grueso:** $932 \text{ Kg/m}^3 \times (-0.0010)$

✚ **Aporte de Humedad del Agregado Grueso: - 0.97 lt/m³**

✚ **Aporte Total:** $(-3.68 \text{ lt/m}^3) + (-0.97 \text{ lt/m}^3)$

✚ **Aporte Total: - 4.65 lt/m³**

✚ **Agua Efectiva:** $(205 \text{ lt/m}^3) - (-4.65 \text{ lt/m}^3)$

✚ **Agua Efectiva:** $205 \text{ lt/m}^3 + 4.65 \text{ lt/m}^3$

✚ **Agua Efectiva: 209.65 lt/m³**

3.8.2.2.13. Materiales corregidos

Los pesos de los materiales ya corregidos por humedad del agregado, son los siguientes:

✚ **Cemento:** 367.38 Kg/m^3

✚ **Agua Efectiva:** 209.65 lt/m^3

✚ **Agregado Fino Húmedo:** 869.67 Kg/m^3

✚ **Agregado Grueso Húmedo:** 935.13 Kg/m^3

3.8.2.2.14. Proporción en Peso de los materiales corregidos por Humedad

La proporción en peso de los materiales corregidos por humedad, son los valores que se muestran a continuación:

✚ **Cemento:** $\frac{367.38 \text{ Kg/m}^3}{367.38 \text{ Kg/m}^3}$

✚ **Cemento: 1**

✚ **Agregado Fino Húmedo:** $\frac{869.67 \text{ Kg/m}^3}{367.38 \text{ Kg/m}^3}$

✚ **Agregado Fino Húmedo: 2.37**

✚ **Agregado Fino Grueso:** $\frac{935.13 \text{ Kg/m}^3}{367.38 \text{ Kg/m}^3}$

✚ **Agregado Fino Grueso: 2.55**

✚ **Relación Agua/Cemento Efectiva:** $\frac{209.65 \text{ lt/m}^3}{367.38 \text{ Kg/m}^3}$

✚ **Relación Agua/Cemento Efectiva: 0.5707**

✚ **Agua Efectiva:** $\left(\frac{209.65 \text{ lt/m}^3}{367.38 \text{ Kg/m}^3}\right) \times 42.5$

✚ **Agua Efectiva:** 24.3 lt/saco

Tabla 27
Proporciones en Peso

Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso
1	2.37	2.55

Fuente: *Elaboración propia; 2021*

Relación Agua/Cemento Efectiva: 0.5707

Bolsas de Cemento x m³ : 8.64 bls

Agua por Bolsa de Cemento: 24.3 Lt

3.8.2.2.15. Resumen de las proporciones del concreto

Tabla 28
Proporciones de mezcla para un m³ de concreto con Nanosílice

Proporciones por m ³	Muestra Patrón	0.3% Nanosílice	0.8% Nanosílice	1.3% Nanosílice	Porcentaje Óptimo
Cemento (Kg)	367.38	366.28	364.44	362.61	364.44
Agregado Fino (Kg)	869.67	861.62	847.55	833.47	847.55
Agregado Grueso (Kg)	935.13	935.13	935.13	935.13	935.13
Agua (lt)	209.65	209.62	209.56	209.50	197.50
Nanosílice (Kg)	0.00	1.10	2.94	4.78	2.94

Fuente: *Elaboración propia; 2021*

3.8.3. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio (NTP 339.183)

3.8.3.1. Elaboración de probetas

3.8.3.1.1. Equipos y Materiales

3.8.3.1.1.1. Equipos

- Moldes metálicos cilíndricos para pruebas verticales.
- Varilla compactadora de acero, de 5/8” de diámetro y 24” de longitud con un extremo redondeado.
- Martillo de goma.
- Mezcladora eléctrica de concreto de 120 L y motor de 13 HP.
- Carretilla tipo buggy de 4.5 pies cúbicos.
- Balanza electrónica con aproximación de 0.01 g y 1 g.
- Pala, palustre, cucharón metálico, reglas y guantes.
- Baldes y bandejas plásticas.
- Probeta graduada de laboratorio.

3.8.3.1.1.2. Materiales

- Agregado fino de la cantera “La Sorpresa”.
- Agregado grueso de la cantera “La Sorpresa” (TMN: ¾”).
- Cemento Portland Pacasmayo Tipo MS.
- Agua potable de la Universidad Nacional del Santa.
- Aditivo GAIA Microsílice de la línea GAIA Nanosílice de la empresa Ulmen S.A.
- Petróleo.

3.8.3.1.2. Muestra

- La cantidad de especímenes de concreto que fueron elaboradas para los ensayos de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días fue un total de 60 probetas con diámetro aproximado de 150 mm y altura aproximada de 300 mm.
- Se utilizaron 6 probetas para la muestra patrón, 6 probetas para sustitución parcial de 0.3% de Cemento Portland Tipo MS por Nanosílice, 6 probetas para

sustitución parcial de 0.8% de Cemento Portland Tipo MS por Nanosílice, 6 probetas para sustitución parcial de 1.3% de Cemento Portland Tipo MS por Nanosílice y las 36 probetas restantes fueron diseñadas con el porcentaje óptimo de sustitución parcial (0.8%) de Cemento Portland Tipo Ms por Nanosílice.

3.8.3.1.3. Procedimiento

3.8.3.1.3.1. Mezcla de concreto

- Antes de iniciar la preparación de la mezcla de concreto, se procede a limpiar los moldes metálicos cilíndricos con petróleo para que estos queden engrasados y listos para ser utilizados.
- La mezcla de concreto debe ser tal, que deje un 10% de residuo después de haber moldeado el espécimen de ensayo.
- Se utilizó la mezcladora de concreto, antes de dar inicio a la rotación de la mezcladora se introdujo el agregado grueso con un poco del agua a utilizarse en la mezcla y la solución del aditivo GAIA Microsílice, se procede a dar inicio a la mezcladora, al cabo de unas cuantas revoluciones se agrega el agregado fino, el cemento y se termina de verter el agua restante cuando esta se encuentra en funcionamiento. Cuando todos los materiales se encuentran en la mezcladora estos se mezclan durante 3 minutos, luego se procede a apagar la mezcladora durante otros 3 minutos y finalmente se vuelve a encender para mezclar nuevamente todos los materiales durante 2 minutos más. Debido a que es difícil recobrar la mezcla que queda impregnada en las paredes de la mezcladora, para compensar esto se sobre proporciona la mezcla con una cantidad de mortero en exceso, para conservar las proporciones del diseño de mezcla. A continuación se recibe la mezcla de concreto en la carretilla tipo buggy que se encuentra limpia y seca, para remezclar la mezcla haciendo uso de un cucharón metálico, para que de esta manera la mezcla sea uniforme y asimismo evitar la segregación.

3.8.3.1.3.2. Determinación del asentamiento

- Ver Ítem (3.8.4.1.).

3.8.3.1.3.3. Determinación de la temperatura

- Ver Ítem (3.8.4.2.).

3.8.3.1.3.4. Vaciado del Concreto

➤ Colocación del concreto

- Se coloca la mezcla de concreto en los moldes metálicos cilíndricos haciendo uso de un cucharón metálico o palustre, se selecciona cada palada de concreto de la tanda de manera que sea representativa asimismo la mezcla de concreto se mezcla continuamente durante el moldeo de los especímenes para evitar la segregación. Se mueve el palustre alrededor del borde superior del molde a medida que se descarga el concreto asegurando una distribución simétrica de éste y minimizando la segregación del agregado grueso dentro del molde.
- Finalmente, se distribuyó el concreto con la varilla compactadora antes de iniciar la compactación.

➤ Número de capas

- Se determinó el número de capas requeridas en la elaboración de los especímenes de concreto según la **Tabla 29**.

Tabla 29
Número de capas requeridas en la elaboración de las muestras

Tipo de tamaño de la muestra en mm (pulgadas)	Método de compactación	Número de capas	Altura aproximada de la capa en mm (pulgadas)
CILINDROS			
Hasta 300 (12)	Apisonado (varillado)	3 iguales	
Mayor que 300 (12)	Apisonado (varillado)	Las requeridas	100 (4)
Hasta 460 (18)	Vibración	2 iguales	200 (4)
Mayor que 460 (18)	Vibración	3 ó más	
PRISMAS			
Hasta 200 (8)	Apisonado (varillado)	2 iguales	100 (4)
Mayor que 200 (8)	Apisonado (varillado)	3 o más	
Hasta 200 (8)	Vibración	1	200 (8) C 172
Mayor que 200 (8)	Vibración	2 o más	

Fuente: MTC, *Manual de Ensayo de Materiales*; 2016, p.777

- Debido a que el tamaño de la muestra es de 300 mm de altura, le corresponde el método de compactación mediante apisonado por varillado siendo estas 3 capas iguales.

3.8.3.1.3.5. Compactación del Concreto

- Se apisonó cada una de las 3 capas con el extremo redondeado de la varilla compactadora de 5/8” mediante 25 golpes distribuidos uniformemente según lo señala la **Tabla 30**, cuando el diámetro del cilindro es 150 mm.
- Después se golpeó ligeramente los lados del molde utilizando el martillo de goma para así lograr un mejor acomodo del concreto.

Tabla 30
Diámetro de varilla y número de golpes por capa

Cilindros		
Diámetro del cilindro en mm (pulgadas)	Diámetro de varilla en mm (pulgadas)	Número de golpes por capa
50 (2) a 150 (6)	10 (3/8)	25
150 (6)	16 (5/8)	25
200 (8)	16 (5/8)	50
250 (10)	16 (5/8)	75
Vigas y Prismas		
Área de la superficie superior de la muestra en cm^2 (pulg²)	Diámetro de varilla en mm (pulgadas)	Número de golpes por capa
160 (25)	10 (3/8)	25
165 (26) a 310 (49)	10 (3/8)	1 por cada 7 cm^2 (1 pulg ²) de área
320 (50) o más	16 (5/8)	1 por cada 14 cm^2 (2 pulg ²) de área

Fuente: MTC, *Manual de Ensayo de Materiales*; 2016, p.778

3.8.3.1.3.6. Acabado de cilindros

- Posteriormente de haber terminado el proceso de compactación, se procedió a enrasar la superficie del cilindro ejerciendo pequeños golpes con la varilla compactadora y así evitar cualquier depresión o protuberancia.

3.8.3.2. Curado de probetas

- Se removieron los testigos de concreto de sus moldes metálicos, posterior a las 24 horas de su elaboración.
- Los testigos de concreto fueron introducidos dentro de una piscina con 0.75m³ de agua potable a una temperatura de 23,0°C ± 2,0 °C, la cual fue previamente saturada con 1550 gr. de cal (hidróxido de calcio), cumpliendo con la dosificación de 2 gr. por litro, y permanecieron allí por 7 días, 14 días, 28 días para su posterior ensayo de resistencia a la compresión axial.

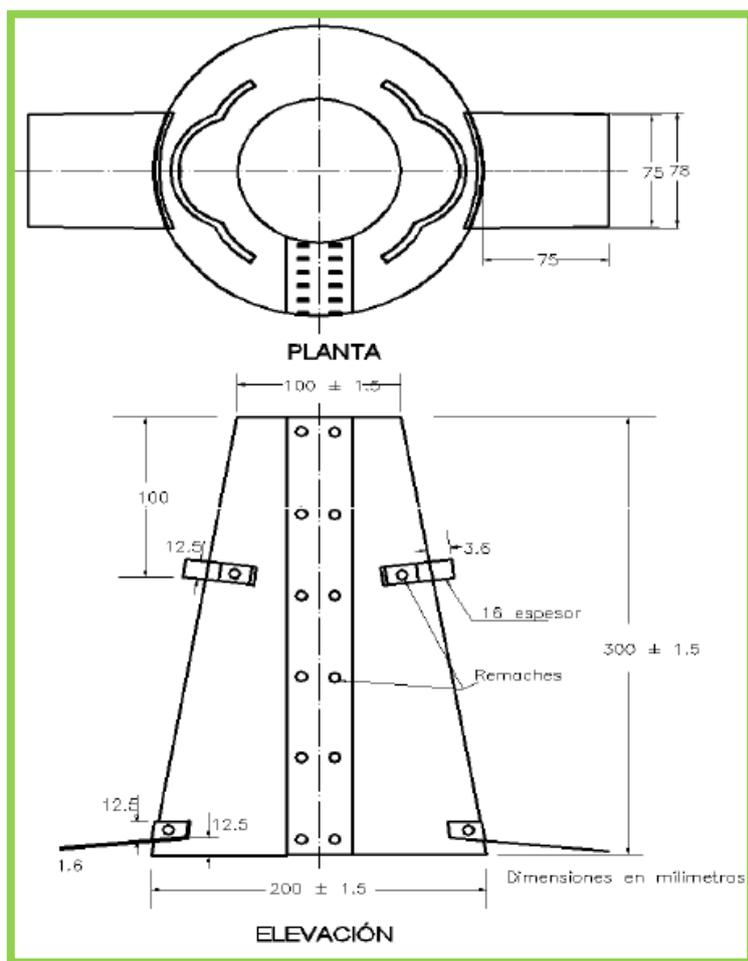
3.8.4. Ensayo realizados a las probetas de concreto estructural

3.8.4.1. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland (NTP 339.035)

3.8.4.1.1. Equipos y Materiales

- Molde metálico, inatacable por el concreto (con forma de tronco cónico) con espesor de lámina no menor a 0.045” (1.14 mm), de bases abiertas; el diámetro de la base mayor es de 8” ± 1/8” (203 mm ± 2 mm), el diámetro de la base menor es de 4” ± 1/8” (102 mm ± 2 mm) y la altura es de 12” ± 1/8” (305 mm ± 2 mm), las bases deben ser paralelas entre sí asimismo perpendiculares al eje del cono, provisto de agarraderas y dispositivos que permitan sujetarlo con los pies, debe ser liso en su interior, no presentar restos de concreto en su interior, libre de abolladuras; además debe contar con una plataforma horizontal metálica de apoyo.

Figura 9. Molde para determinar el asentamiento del concreto



Fuente: Manual de Ensayo de Materiales (2016), p.802

- Varilla compactadora de acero liso de 5/8" de diámetro y de 24" de longitud, con un extremo de compactación redondeado de radio de 5/16".
- Cucharón metálico, de tamaño y forma apropiada para obtener una cantidad representativa de concreto y colocarla sin derramar en el molde.
- Flexómetro.

3.8.4.1.2. Muestra

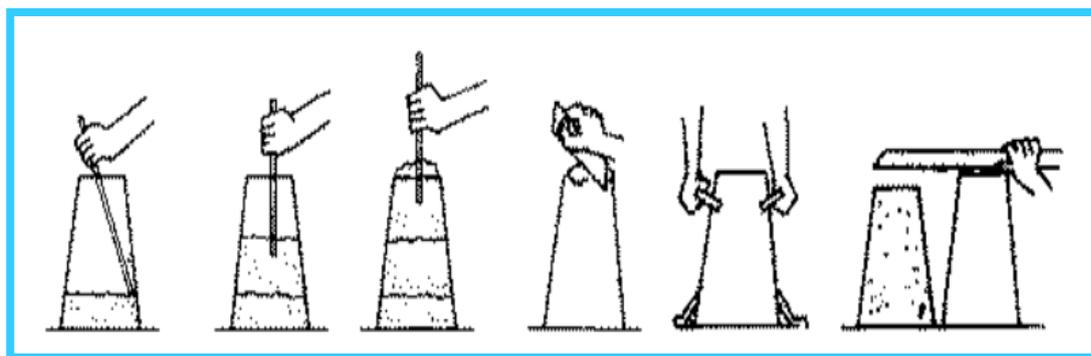
- Se obtuvo una muestra representativa de la tanda del concreto en estado fresco, según lo indicado en la **NTP 339.036**.

3.8.4.1.3. Procedimiento

- Se humedeció el molde y se colocó sobre la plataforma metálica horizontal de apoyo, también humedecida, la cual es rígida, plana y no absorbente.
- Se sujetó el molde firmemente con los pies, teniendo como apoyo las agarraderas y el dispositivo sujetador, se llenó con la muestra de concreto en 3 capas (cada una aproximadamente de un tercio del volumen del molde).
- Se compactó cada capa de la muestra con 25 golpes distribuidos uniformemente sobre su sección transversal utilizando el extremo redondeado de la varilla lisa compactadora, en la capa del fondo se necesitó inclinar un poco la varilla y se dio la mitad de los golpes cerca del perímetro, luego se avanzó con golpes verticales en forma de espiral hacia el centro, la capa del fondo se debe compactar en todo su espesor, la capa intermedia y la capa superior en su espesor correspondiente, de tal manera que la varilla penetre ligeramente en la capa inmediata inferior.
- Cuando se llenó la capa superior, se saturó el molde de concreto antes de compactar, si al hacerlo se asienta por debajo del borde superior, se debe agregar concreto adicional para que en todo momento haya concreto sobre el molde. Posteriormente cuando la última capa fue compactada, se alisó a ras la superficie del concreto con ayuda de la varilla compactadora de acero de 5/8".
- Se aseguró el molde de manera firme contra la plataforma y se procedió a eliminar el concreto sobrante que se encuentra alrededor del molde.

- Enseguida, se retiró el dispositivo sujetador y luego el molde, con suma precaución de mantener la verticalidad al levantarlo, el alzado del molde se realizó en un tiempo aproximado de 5 segundos, mediante un movimiento uniforme hacia arriba, sin impartir ningún movimiento lateral o de torsión al concreto.
- Desde que se comenzó a llenar el molde hasta su retiro, esta operación se realizó sin interrupción en un tiempo aproximado de 150 segundos. De igual manera, el ensayo se realizó aproximadamente 5 minutos después de haber tomado la muestra.
- Finalmente se midió el asentamiento del concreto (Slump) con la ayuda de un flexómetro, tomando como parámetro la diferencia de alturas entre el molde metálico y el centro de la base superior de la muestra de concreto luego de levantado el molde. Hay que tener en consideración de que si ocurre un derrumbamiento pronunciado del concreto hacia un lado del espécimen, el ensayo se debe repetir sobre otra parte de la muestra.

Figura 10. *Procedimiento del asentamiento del concreto en estado fresco*



Fuente: <https://concretoyensayosmariafermin.blogspot.com>

3.8.4.1.4. Cálculos

- Se anotó el asentamiento del concreto (Slump) con aproximación al medio centímetro.

3.8.4.2. Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de hormigón (concreto) (NTP 339.184)

3.8.4.2.1. Equipos y Materiales

- Termómetro digital Tech Industry.

3.8.4.2.2. Muestra

- Se obtuvo una muestra representativa del concreto en estado fresco, obtenida en la primera tanda de mezclado, con un volumen semejante al de una carretilla.

3.8.4.2.3. Procedimiento

- Se colocó el dispositivo de medición de temperatura de modo que se sumerja al menos 75 mm dentro del concreto fresco recién mezclado.
- Se presionó suavemente el concreto alrededor del vacío que dejó la inmersión del aparato hasta cerrarlo, para evitar que la temperatura del aire afecte el resultado.
- Se registró la temperatura indicada en el Termómetro digital.

3.8.4.2.4. Cálculos

- Se anotó la temperatura indicada en el Termómetro digital con aproximación al 0.5°C (25°C).

3.8.4.3. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas (NTP 339.034)

3.8.4.3.1. Equipos y Materiales

- Máquina hidráulica de Ensayo de Resistencia a la Compresión (PERUTEST), debidamente calibrada.
- 02 bloques de carga, de acero con caras endurecidas.

3.8.4.3.2. Muestra

- Se comprobó que los testigos de concreto no presenten una diferencia de más del 2% entre la medida de sus diámetros, para que se valide el ensayo.

- Se comprobó que los testigos de concreto no presenten una diferencia de más de 0.5° respecto a sus ejes, para asegurar la suficiente perpendicularidad de los mismos para que el ensayo se valide.

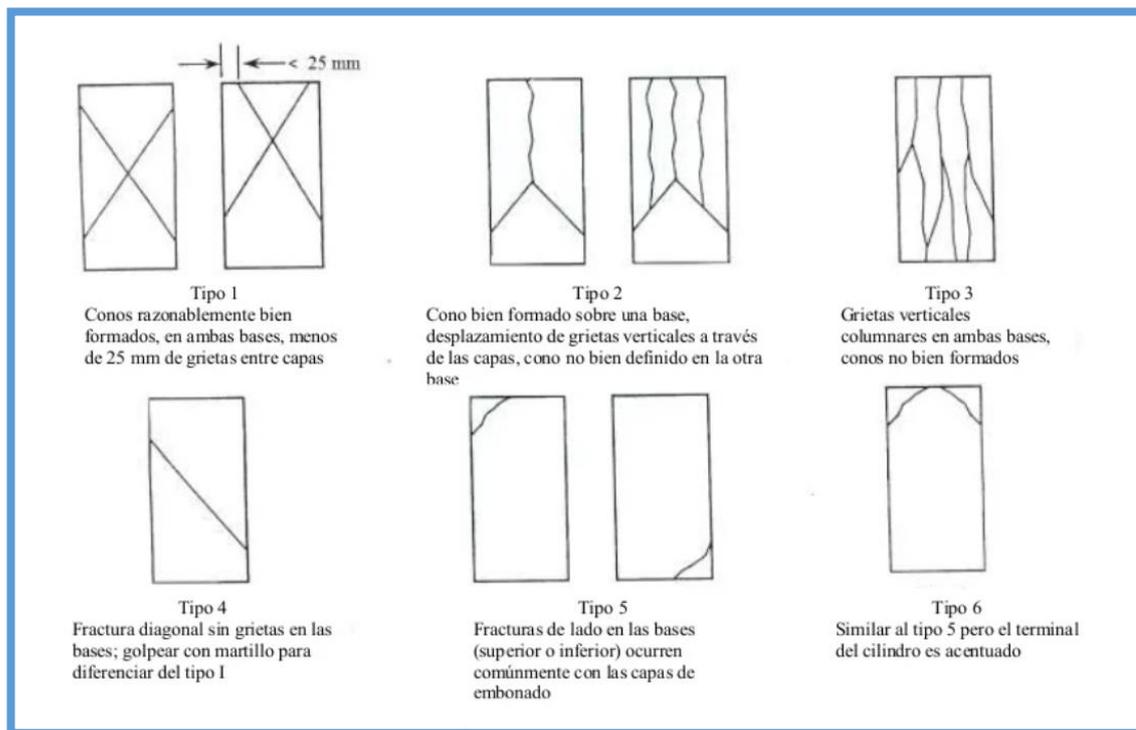
3.8.4.3.3. Procedimiento

- El ensayo de resistencia a la compresión se realizó con los testigos de concreto en estado húmedo, después de ser retirados de la piscina de curado hasta que fueron trasladados hasta el laboratorio externo.
- Se colocó el bloque de carga inferior sobre la plataforma de la máquina de ensayo, de manera alineada y debajo del bloque de carga superior.
- Se limpió con un trapo las superficies de los bloques de carga superior e inferior y se colocó el testigo de concreto cuidadosamente sobre el bloque inferior y alineándolo con el bloque superior.
- Se verificó que antes de ensayar los testigos de concreto, el indicador de carga este ajustado en cero.
- Se aplicó la carga de manera continua y sin golpes bruscos, a una velocidad correspondiente a una tasa de aplicación de carga comprendida en el rango de 0.25 ± 0.05 MPa/s (35 ± 7 psi/s).
- Se aplicó esta carga hasta que el indicador marcó la falla en el testigo cilíndrico de concreto, registrando el valor de carga soportada.

3.8.4.3.4. Cálculos

- Se determinó la resistencia a la compresión axial de los testigos cilíndricos de concreto, hallando el cociente de la carga máxima tolerada por el testigo respecto al promedio de área de la sección transversal determinada, obteniendo un resultado con aproximación de 0,1 MPa (10 psi).
- Se registraron los valores de resistencia a la compresión.

Figura 11. Esquema de los patrones de tipos de fracturas



Fuente: NTP 339.034(2008), p.15

Capítulo IV:

**RESULTADOS Y
DISCUSIÓN**

4.1. Análisis e interpretación de resultados

En este capítulo se exponen los resultados de los ensayos realizados en laboratorio de los agregados, y el Diseño de Mezcla empleando el Método ACI-211.

Mediante el resultado que se obtuvo por medio de los ensayos de los agregados elaborados en laboratorio se realizó el Diseño de Mezcla para un $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$, con la dosificación obtenida se trabajó en pesos para posteriormente continuar con la elaboración de los testigos de concreto de $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$; luego estos fueron curados a la edad de 7,14 y 28 días respectivamente para luego someterlos al Ensayo de Resistencia a la Compresión. Los testigos de concreto fueron diseñados con 0% de sustitución parcial de Nanosílice (muestra patrón), también se elaboraron testigos de concreto con sustitución parcial de Cemento Portland Tipo MS por Nanosílice en los porcentajes de 0.3%, 0.8% y 1.3% respectivamente.

Con estos 3 porcentajes podemos analizar cuál de ellos presenta un mejor comportamiento de sus propiedades físicas y mecánicas; mejorando en una mayor proporción la Resistencia a la Compresión promedio del concreto, así como presentado una adecuada trabajabilidad de la mezcla. Se elaboraron las probetas de concreto en el Laboratorio de Tecnología de Concreto de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Santa.

4.1.1. Relación a/c de la Muestra Patrón

Se muestran los resultados de los Ensayos realizados en laboratorio de los Agregados Finos y Agregados Gruesos, con los cuales se pudo elaborar el Diseño de Mezcla de la muestra patrón y así obtener la relación a/c de esta mezcla de concreto estructural.

4.1.1.1. Agregado fino de la cantera “La sorpresa”

Tabla 31

Resultado de los ensayos realizados al Agregado Fino

Agregado Fino (Arena Gruesa)	
Módulo de fineza	2.80
Contenido de Humedad (%)	0.54
Peso Específico (gr/cm^3)	2.74
Absorción (%)	0.97
Peso Unitario Suelto (Kg/m^3)	1640.03
Peso Unitario Compactado (Kg/m^3)	1803.62

Fuente: *Elaboración propia; 2021*

4.1.1.2. Agregado grueso de la cantera “La sorpresa”

Tabla 32

Resultado de los ensayos realizados al Agregado Grueso

Agregado Grueso (Piedra Zarandeada)	
Tamaño Máximo Nominal	3/4"
Contenido de Humedad (%)	0.34
Peso Específico (gr/cm^3)	2.75
Absorción (%)	0.44
Peso Unitario Suelto (Kg/m^3)	1389.84
Peso Unitario Compactado (Kg/m^3)	1503.34

Fuente: *Elaboración Propia; 2021*

4.1.1.3. Diseño de mezcla de la Muestra Patrón

Se muestra la dosificación en peso del Diseño de Mezcla de la Muestra Patrón, el cual se puede revisar a detalle en el **Anexo 03**.

4.1.1.3.1. Dosificación en peso del Diseño de Mezcla para un $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ y relación a/c (Muestra Patrón)

Tabla 33

Dosificación en peso del Diseño de Mezcla para un $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ y relación a/c (Muestra Patrón)

Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Agua	a/c (Diseño)	a/c (Efectiva)
1	2.37	2.55	24.3	0.5580	0.5707

Fuente: *Elaboración Propia; 2021*

4.1.2. Propiedades Físicas y Mecánicas de la Muestra Patrón

4.1.2.1. Dosificación en peso del Diseño de Mezcla para un $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ (Muestra Patrón)

En la **Tabla 33**, se muestra la dosificación en peso del Diseño de Mezcla para un $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ de la mezcla de concreto estructural sin adición de Nanosílice (muestra patrón).

4.1.2.2. Slump de la Muestra Patrón

En el ensayo de trabajabilidad del concreto patrón, elaborado bajo una resistencia de diseño de $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$, se obtuvo una mezcla trabajable de consistencia plástica con un Slump de 2.8”.

**4.1.2.3. Resultados de los Ensayos de Resistencia a la Compresión de testigos de concreto
 – Muestra Patrón (0% Nanosílice)**

Tabla 34
Especímenes $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ – 0% Nanosílice

TESTIGOS DE CONCRETO - MUESTRA PATRÓN (0% NANOSÍLICE)				
DOSIFICACIÓN: 1 : 2.37 : 2.55 : 24.3				
RESISTENCIA A LOS 7 DÍAS				
PROBETA	FUERZA	DIÁMETRO	ÁREA	F'C
1	32674.1 Kg	15.04 cm	177.658 cm^2	183.9 Kg/cm^2
2	33233.2 Kg	15.22 cm	181.960 cm^2	182.6 Kg/cm^2
RESISTENCIA PROMEDIO:			183.3 Kg/cm^2	
RESISTENCIA A LOS 14 DÍAS				
PROBETA	FUERZA	DIÁMETRO	ÁREA	F'C
3	43377.6 Kg	15.11 cm	179.411 cm^2	241.8 Kg/cm^2
4	43571.3 Kg	15.16 cm	180.505 cm^2	241.4 Kg/cm^2
RESISTENCIA PROMEDIO:			241.6 Kg/cm^2	
RESISTENCIA A LOS 28 DÍAS				
PROBETA	FUERZA	DIÁMETRO	ÁREA	F'C
5	50402.2 Kg	15.04 cm	177.658 cm^2	283.7 Kg/cm^2
6	51331.7 Kg	15.16 cm	180.505 cm^2	284.4 Kg/cm^2
RESISTENCIA PROMEDIO:			284.0 Kg/cm^2	

Fuente: *Elaboración Propia; 2021*

**4.1.3. Propiedades Físicas y Mecánicas de las Mezclas de Concreto Estructural con
 Sustitución Parcial de Cemento Portland Tipo MS por Nanosílice**

**4.1.3.1. Propiedades Físicas y Mecánicas de la Mezcla de Concreto Estructural con 0.3%
 de Sustitución Parcial de Nanosílice**

**4.1.3.1.1. Dosificación en peso del Diseño de Mezcla para un $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
 (0.3% de Sustitución parcial de Nanosílice)**

Tabla 35

Dosificación en peso del Diseño de Mezcla para un $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ (0.3% de Sustitución parcial de Nanosílice)

Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Nanosílice	Agua	a/c (Diseño)	a/c (Efectiva)
1	2.35	2.55	0.003	24.3	0.5597	0.5723

Fuente: *Elaboración Propia; 2021*

**4.1.3.1.2. Slump de la Mezcla de concreto con Sustitución Parcial de Nanosílice al
 0.3%**

En el ensayo de trabajabilidad del concreto con Sustitución Parcial de Nanosílice al 0.3%, elaborado bajo una resistencia de diseño de $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$, se obtuvo una mezcla trabajable de consistencia plástica con un Slump de 3.3”.

4.1.3.1.3. Resultados de los Ensayos de Resistencia a la Compresión de testigos de concreto con sustitución parcial de Nanosíllice al 0.3%

Tabla 36

Especímenes $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ – Sustitución 0.3% Nanosíllice

TESTIGOS DE CONCRETO - SUSTITUCIÓN 0.3 % NANOSÍLICE

DOSIFICACIÓN: 1 : 2.35 : 2.55 : 0.003 : 24.3

RESISTENCIA A LOS 7 DÍAS

PROBETA	FUERZA	DIÁMETRO	ÁREA	F'C	%
1	45310.9 Kg	15.02 cm	177.115 cm ²	255.8 Kg/cm ²	121.8%
2	45522.7 Kg	15.15 cm	180.171 cm ²	252.7 Kg/cm ²	120.3%
RESISTENCIA PROMEDIO:				254.2 Kg/cm²	121.1%

RESISTENCIA A LOS 14 DÍAS

PROBETA	FUERZA	DIÁMETRO	ÁREA	F'C	%
3	53266.0 Kg	15.12 cm	179.553 cm ²	296.7 Kg/cm ²	141.3%
4	53544.1 Kg	15.04 cm	177.658 cm ²	301.4 Kg/cm ²	143.5%
RESISTENCIA PROMEDIO:				299.0 Kg/cm²	142.4%

RESISTENCIA A LOS 28 DÍAS

PROBETA	FUERZA	DIÁMETRO	ÁREA	F'C	%
5	62780.0 Kg	15.14 cm	180.029 cm ²	348.7 Kg/cm ²	166.1%
6	63201.6 Kg	15.02 cm	177.186 cm ²	356.7 Kg/cm ²	169.9%
RESISTENCIA PROMEDIO:				352.7 Kg/cm²	168.0%

Fuente: *Elaboración Propia, 2021*

**4.1.3.2. Propiedades Físicas y Mecánicas de la Mezcla de Concreto Estructural con 0.8 %
 de Sustitución Parcial de Nanosílice**

4.1.3.2.1. Dosificación en peso del Diseño de Mezcla para un $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ (0.8% de Sustitución parcial de Nanosílice)

Tabla 37

Dosificación en peso del Diseño de Mezcla para un $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ (0.8% de Sustitución parcial de Nanosílice)

Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Nanosílice	Agua	a/c (Diseño)	a/c (Efectiva)
1	2.33	2.57	0.008	24.4	0.5625	0.5750

Fuente: *Elaboración Propia; 2021*

4.1.3.2.2. Slump de la Mezcla de concreto con Sustitución Parcial de Nanosílice al 0.8%

En el ensayo de trabajabilidad del concreto con Sustitución Parcial de Nanosílice al 0.8% elaborado bajo una resistencia de diseño de $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$, se obtuvo una mezcla trabajable de consistencia plástica con un Slump de 4.1”.

**4.1.3.2.3. Resultados de los Ensayos de Resistencia a la Compresión de testigos de
 concreto con sustitución parcial de Nanosíllice al 0.8%**

Tabla 38
Especímenes $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ – Sustitución 0.8% Nanosíllice

TESTIGOS DE CONCRETO - SUSTITUCIÓN 0.8 % NANOSÍLICE

DOSIFICACIÓN: 1 : 2.33 : 2.57 : 0.008 : 24.4

RESISTENCIA A LOS 7 DÍAS

PROBETA	FUERZA	DIÁMETRO	ÁREA	F'C	%
1	57085.5 Kg	15.23 cm	182.128 cm^2	313.4 Kg/cm^2	149.3%
2	57535.2 Kg	15.17 cm	180.695 cm^2	318.4 Kg/cm^2	151.6%
RESISTENCIA PROMEDIO:				315.9 Kg/cm^2	150.4%

RESISTENCIA A LOS 14 DÍAS

PROBETA	FUERZA	DIÁMETRO	ÁREA	F'C	%
3	63188.6 Kg	15.18 cm	180.981 cm^2	349.1 Kg/cm^2	166.3%
4	62894.5 Kg	15.02 cm	177.186 cm^2	355.0 Kg/cm^2	169.0%
RESISTENCIA PROMEDIO:				352.1 Kg/cm^2	167.6%

RESISTENCIA A LOS 28 DÍAS

PROBETA	FUERZA	DIÁMETRO	ÁREA	F'C	%
5	71774.1 Kg	15.16 cm	180.505 cm^2	397.6 Kg/cm^2	189.3%
6	71600.4 Kg	15.02 cm	177.186 cm^2	404.1 Kg/cm^2	192.4%
RESISTENCIA PROMEDIO:				400.9 Kg/cm^2	190.9%

Fuente: *Elaboración Propia; 2021*

4.1.3.3. Propiedades Físicas y Mecánicas de la Mezcla de Concreto Estructural con 1.3% de Sustitución Parcial de Nanosílice

4.1.3.3.1. Dosificación en peso del Diseño de Mezcla para un $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ (1.3% de Sustitución parcial de Nanosílice)

Tabla 39

Dosificación en peso del Diseño de Mezcla para un $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ (1.3% de Sustitución parcial de Nanosílice)

Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Nanosílice	Agua	a/c (Diseño)	a/c (Efectiva)
1	2.30	2.58	0.013	24.6	0.5653	0.5778

Fuente: *Elaboración Propia; 2021*

4.1.3.3.2. Slump de la Mezcla de concreto con Sustitución Parcial de Nanosílice al 1.3 %

En el ensayo de trabajabilidad del concreto con Sustitución Parcial de Nanosílice al 1.3%, elaborado bajo una resistencia de diseño de $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$, se obtuvo una mezcla muy trabajable de consistencia blanda con un Slump de 5.3”.

**4.1.3.3. Resultados de los Ensayos de Resistencia a la Compresión de testigos de
 concreto con sustitución parcial de Nanosíllice al 1.3%**

Tabla 40
Especímenes $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ – Sustitución 1.3% Nanosíllice

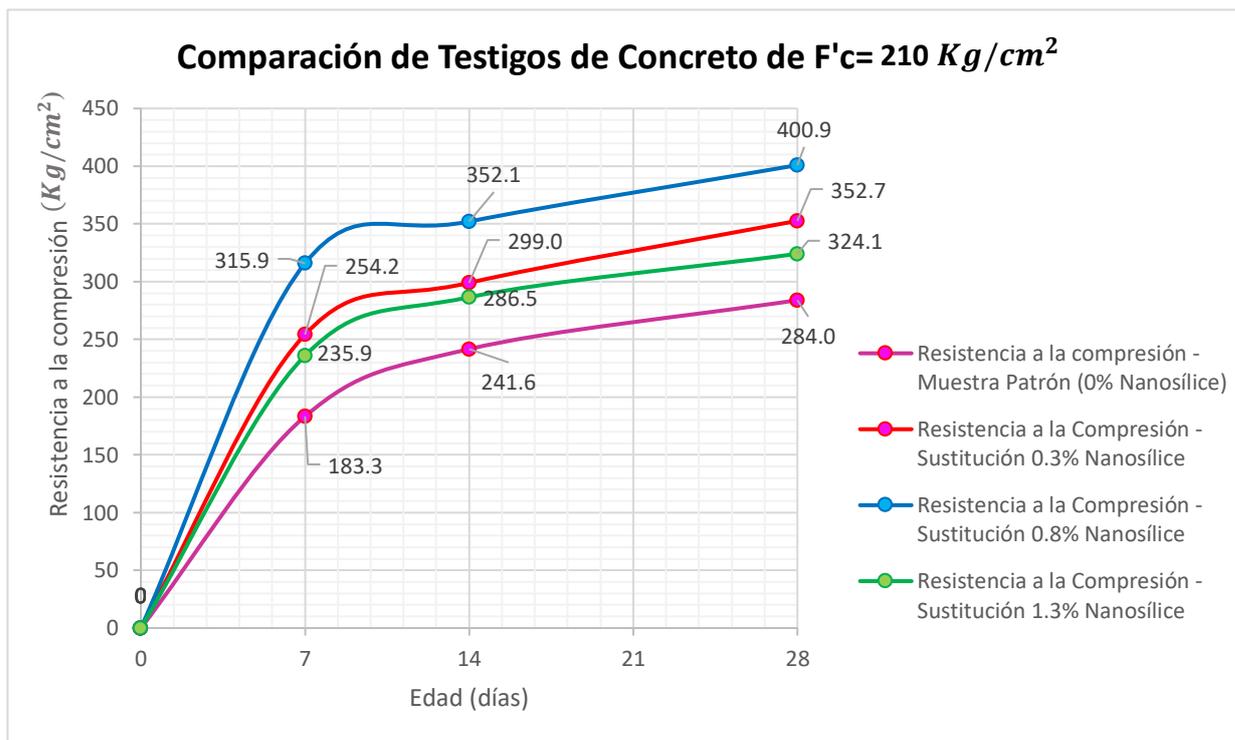
TESTIGOS DE CONCRETO - SUSTITUCIÓN 1.3% NANOSÍLICE					
DOSIFICACIÓN: 1 : 2.30 : 2.58 : 0.013 : 24.6					
RESISTENCIA A LOS 7 DÍAS					
PROBETA	FUERZA	DIÁMETRO	ÁREA	F'C	%
1	41453.3 Kg	14.91 cm	174.624 cm^2	237.4 Kg/cm^2	113.0%
2	42267.4 Kg	15.15 cm	180.314 cm^2	234.4 Kg/cm^2	111.6%
RESISTENCIA PROMEDIO:				235.9 Kg/cm^2	112.3%
RESISTENCIA A LOS 14 DÍAS					
PROBETA	FUERZA	DIÁMETRO	ÁREA	F'C	%
3	51401.0 Kg	15.13 cm	179.791 cm^2	285.9 Kg/cm^2	136.1%
4	51344.8 Kg	15.09 cm	178.841 cm^2	287.1 Kg/cm^2	136.7%
RESISTENCIA PROMEDIO:				286.5 Kg/cm^2	136.4%
RESISTENCIA A LOS 28 DÍAS					
PROBETA	FUERZA	DIÁMETRO	ÁREA	F'C	%
5	57290.3 Kg	15.04 cm	177.658 cm^2	322.5 Kg/cm^2	153.6%
6	58182.6 Kg	15.08 cm	178.605 cm^2	325.8 Kg/cm^2	155.1%
RESISTENCIA PROMEDIO:				324.1 Kg/cm^2	154.3%

Fuente: *Elaboración Propia; 2021*

4.1.4. Comparación de las propiedades del Concreto Patrón y el Concreto con Sustitución Parcial de Cemento Portland Tipo MS por Nanosílice

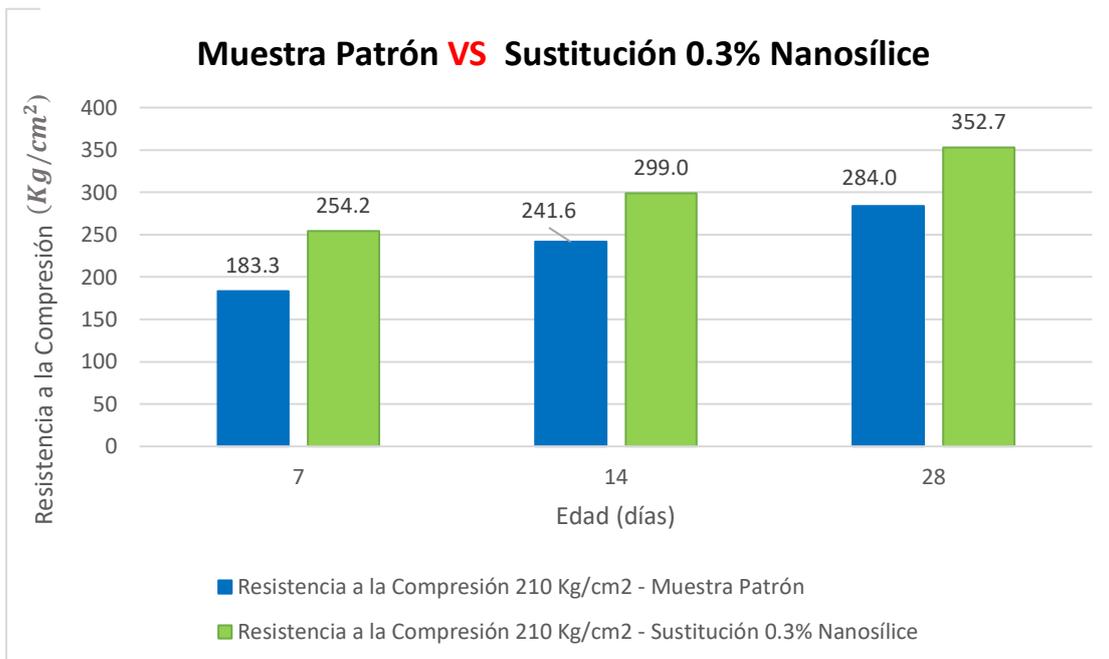
4.1.4.1. Gráficos de Resistencia a la Compresión de testigos de concreto sin y con sustitución parcial del Cemento Portland tipo MS por Nanosílice al 0.3%, 0.8% y 1.3% para $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$

Figura 12. Comparación de Testigos de Concreto de 210 Kg/cm^2



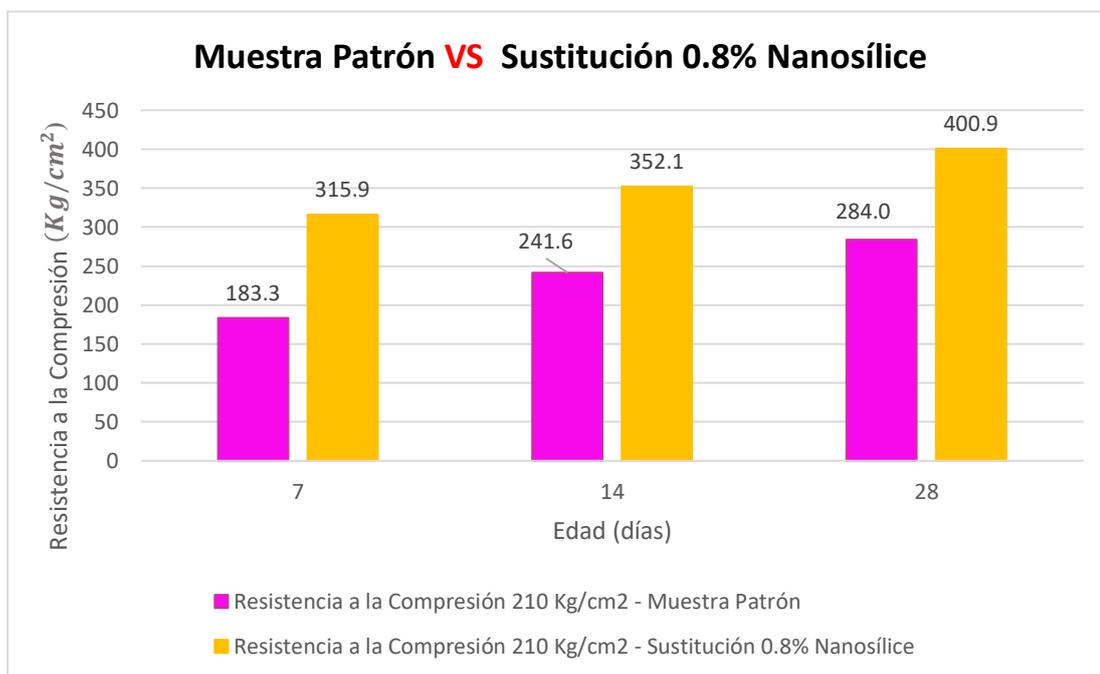
Fuente: Elaboración Propia, 2021

Figura 13. Diagrama de barra de testigos de concreto de $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ VS Sustitución 0.3% Nanosílice



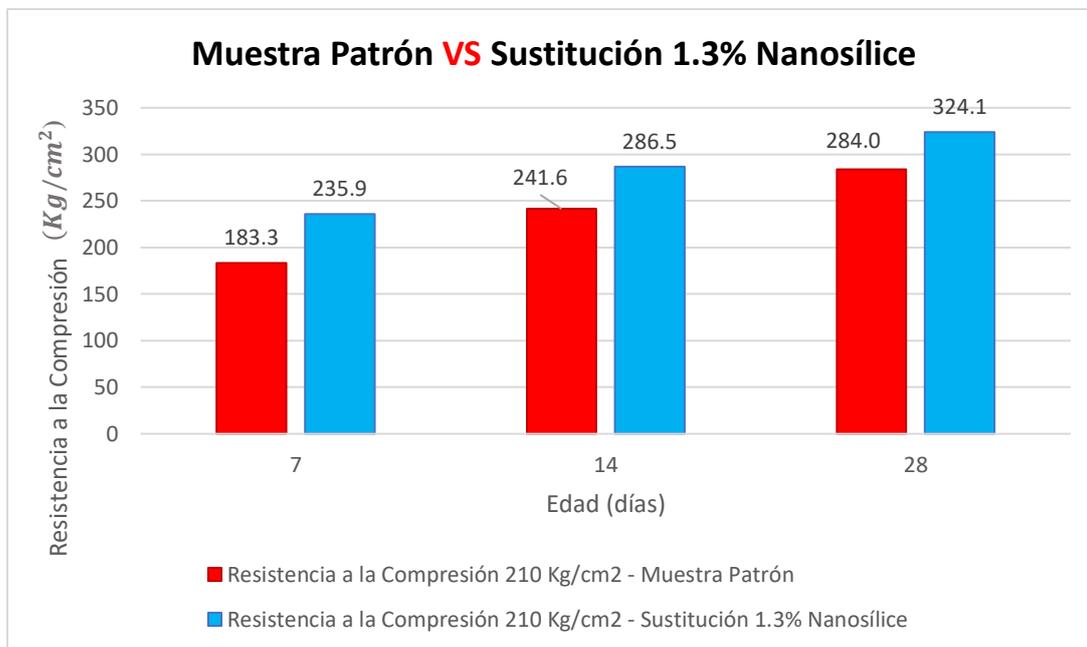
Fuente: Elaboración Propia, 2021

Figura 14. Diagrama de barra de testigos de concreto de $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ VS Sustitución 0.8% Nanosílice



Fuente: Elaboración Propia, 2021

Figura 15. Diagrama de barra de testigos de concreto de $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ VS Sustitución 1.3% Nanosílice



Fuente: Elaboración Propia, 2021

- ✚ Al sustituir parcialmente cemento Portland Tipo MS por Nanosílice en los porcentajes de 0.3%, 0.8% y 1.3% en la muestra de concreto estructural de 210 Kg/cm^2 se puede visualizar que existe un aumento de la resistencia respecto a la muestra patrón (M.P.) Ver **Figura 12, 13, 14 y 15**.
- ✚ En la **Figura 13** se observa que para una sustitución parcial de 0.3% de cemento Portland Tipo MS por Nanosílice para un $F'c= 210 \text{ Kg/cm}^2$, se evidencia un aumento de la resistencia respecto a la muestra patrón (M.P.).
 - A la edad de 7 días, supera en 70.9 Kg/cm^2 a la resistencia del concreto patrón.
 - A la edad de 14 días, supera en 57.4 Kg/cm^2 a la resistencia del concreto patrón.
 - A la edad de 28 días, supera en 68.7 Kg/cm^2 a la resistencia del concreto patrón.
- ✚ En la **Figura 14** se visualiza que para una sustitución parcial de 0.8% de cemento Portland Tipo MS por Nanosílice para un $F'c= 210 \text{ Kg/cm}^2$, se observa un incremento de la resistencia respecto a la muestra patrón (M.P.).
 - A la edad de 7 días, supera en 132.6 Kg/cm^2 a la resistencia del concreto patrón.

- A la edad de 14 días, supera en 110.5 Kg/cm^2 a la resistencia del concreto patrón.
 - A la edad de 28 días, supera en 116.9 Kg/cm^2 a la resistencia del concreto patrón.
- ✚ En la **Figura 15** se observa que para una sustitución parcial de 1.3% de cemento Portland Tipo MS por Nanosílice para un $F'c= 210 \text{ Kg/cm}^2$, se evidencia un incremento de la resistencia respecto a la muestra patrón (M.P.).
- A la edad de 7 días, supera en 52.6 Kg/cm^2 a la resistencia del concreto patrón.
 - A la edad de 14 días, supera en 44.9 Kg/cm^2 a la resistencia del concreto patrón.
 - A la edad de 28 días, supera en 40.1 Kg/cm^2 a la resistencia del concreto patrón.

4.1.4.2. Slump del Concreto Patrón y el Concreto con Sustitución Parcial de Cemento Portland Tipo MS por Nanosílice

En la **Tabla 41** se muestra un resumen de los asentamientos (Slump) y resistencias obtenidas en la presente investigación:

Tabla 41
Resultados de la Investigación - $F'c= 210 \text{ Kg/cm}^2$

Muestra	Slump	Resistencia (Kg/cm^2)		
		7 días	14 días	28 días
Patrón	2.8"	183.3	241.6	284.0
0.3% Nanosílice	3.3"	254.2	299.0	352.7
0.8% Nanosílice	4.1"	315.9	352.1	400.9
1.3% Nanosílice	5.3"	235.9	286.5	324.1
%Óptimo de Sustitución Parcial	3.5"	-	-	426.5

Fuente: *Elaboración Propia; 2021*

- ✚ El Slump que se obtuvo del concreto sin sustitución parcial de Nanosílice (muestra patrón) para el diseño de 210 Kg/cm^2 fue de 2.8", evidenciando una mezcla trabajable de consistencia plástica.

- ✚ El Slump de la mezcla de concreto estructural para el diseño de 210 Kg/cm^2 comenzó a aumentar al sustituir parcialmente nanosílice por cemento Portland Tipo MS. Luego de hallar el mejor porcentaje de sustitución parcial se pudo verificar lo siguiente:
 - Aumenta el Slump de la muestra de concreto estructural y asimismo la trabajabilidad cuando el porcentaje de sustitución parcial es mayor.

4.1.4.3. Evaluación de las propiedades del Concreto con Sustitución Parcial de Cemento Portland Tipo MS por Nanosílice y selección del mejor porcentaje de Sustitución Parcial

Mediante la realización del Ensayo de Resistencia a la Compresión de los especímenes de concreto y el Ensayo de Trabajabilidad de las mezclas de concreto, se logró determinar el mejor porcentaje de Sustitución Parcial de Cemento Portland Tipo MS por Nanosílice, siendo este de 0.8% con una resistencia de diseño de $F^c = 210 \text{ Kg/cm}^2$; con el cual se obtuvo un mayor aumento de la resistencia a la compresión axial (alcanzando los 400.9 Kg/cm^2); así como una trabajabilidad adecuada de la mezcla de concreto (presentando una mezcla trabajable de consistencia plástica con un Slump de 4.1”).

4.1.5. Optimización de la relación a/c del Concreto con mejor porcentaje de S.P. de Cemento Portland Tipo MS por Nanosílice

Tras determinar el mejor porcentaje de Sustitución Parcial del Cemento Portland Tipo MS por Nanosílice, se buscó la optimización de la relación a/c de la mezcla de concreto estructural, procurando obtener la mayor resistencia a la compresión posible sin afectar la consistencia plástica de la mezcla; para lo cual se optimizó la dosificación en peso del Diseño de Mezcla con el mejor porcentaje de Sustitución Parcial de Cemento Portland Tipo MS por Nanosílice (Ver **Anexo 03**); asimismo se elaboraron 36 testigos cilíndricos de concreto a los 28 días de edad con el porcentaje óptimo de sustitución parcial de 0.8% para un diseño de 210 Kg/cm^2 , para la evaluación estadística de los resultados de su Ensayo de Resistencia a la Compresión y se realizó un análisis

costo/beneficio a fin de dar respuesta a la hipótesis planteada al inicio de la investigación.

**4.1.5.1. Dosificación en peso del Diseño de Mezcla para un $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$
 (optimización del mejor% de Sustitución parcial de Nanosílice)**

Tabla 42

Dosificación en peso del Diseño de Mezcla para un $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ (0.8% Porcentaje Óptimo de Sustitución de Nanosílice)

Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Nanosílice	Agua	a/c (Diseño)	a/c (Efectiva)	a/c (Nanosílice)
1	2.33	2.57	0.008	23.0	0.5625	0.5750	0.5419

Fuente: *Elaboración Propia; 2021*

4.1.5.2. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de testigos de concreto con mejor comportamiento resistente (Porcentaje Óptimo)

Tabla 43

Testigos de concreto de $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ Sustitución Parcial de 0.8% de Cemento Portland MS por Nanosílice evaluados a los 28 días

DOSIFICACIÓN: 1 : 2.33 : 2.57 : 0.008 : 23.0							
Probeta	Tiempo de Curado (días)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm^2)	Fuerza (Kg)	Resistencia a la Compresión (Kg/cm^2)	%
N-01	28	15.05	30.05	177.895	75086.6	422.1	201.0%
N-02	28	15.04	30.15	177.682	75512.2	425.0	202.4%
N-03	28	15.09	30.06	178.841	76363.5	427.0	203.3%
N-04	28	15.14	30.01	180.029	76306.3	423.9	201.8%
N-05	28	15.12	30.31	179.553	76097.5	423.8	201.8%
N-06	28	15.19	30.28	181.220	76779.0	423.7	201.8%
N-07	28	15.08	30.15	178.605	76009.1	425.6	202.7%
N-08	28	15.02	30.05	177.186	75873.6	428.2	203.9%
N-09	28	15.14	30.12	180.029	76520.1	425.0	202.4%
N-10	28	15.06	30.06	178.131	76005.1	426.7	203.2%
N-11	28	15.12	30.08	179.553	76405.6	425.5	202.6%
N-12	28	15.08	30.04	178.605	76421.7	427.9	203.8%
N-13	28	15.02	30.15	177.186	75701.0	427.2	203.4%
N-14	28	15.04	30.13	177.658	75335.6	424.0	201.9%
N-15	28	15.16	30.17	180.505	76923.6	426.2	202.9%

N-16	28	15.07	30.15	178.368	77246.8	433.1	206.2%
N-17	28	15.13	30.04	179.791	77311.1	430.0	204.8%
N-18	28	15.20	30.02	181.458	77121.3	425.0	202.4%
N-19	28	15.14	30.05	180.029	77109.3	428.3	204.0%
N-20	28	15.08	30.08	178.605	76853.3	430.3	204.9%
N-21	28	15.12	30.12	179.553	77171.5	429.8	204.7%
N-22	28	15.23	30.12	182.175	77733.7	426.7	203.2%
N-23	28	15.09	30.16	178.841	77224.7	431.8	205.6%
N-24	28	15.18	30.17	180.981	77352.2	427.4	203.5%
N-25	28	15.21	30.15	181.697	77277.9	425.3	202.5%
N-26	28	15.03	30.08	177.422	74661.0	420.8	200.4%
N-27	28	15.14	30.12	180.029	76909.5	427.2	203.4%
N-28	28	15.08	30.21	178.605	75111.7	420.5	200.3%
N-29	28	15.12	30.15	179.553	76902.5	428.3	204.0%
N-30	28	15.15	30.15	180.267	76421.7	423.9	201.9%
N-31	28	15.05	30.17	177.895	76072.4	427.6	203.6%
N-32	28	15.13	30.20	179.791	77356.2	430.3	204.9%
N-33	28	15.18	30.08	180.981	76607.4	423.3	201.6%
N-34	28	15.04	30.01	177.658	75789.3	426.6	203.1%
N-35	28	15.09	30.23	178.841	76129.6	425.7	202.7%
N-36	28	15.08	30.17	178.605	76880.4	430.5	205.0%

Fuente: *Elaboración Propia; 2021*

4.1.5.3. Análisis estadístico

4.1.5.3.1. Análisis estadístico de los testigos de concreto de $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con sustitución parcial óptima de 0.8% de Nanosílice

Tabla 44

Resultado de la Estadística Descriptiva de los Testigos de Concreto de $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con sustitución parcial óptima de 0.8% de Nanosílice

Estadística Descriptiva	
Media	426.5
Desviación Estándar	2.91
Coefficiente de Variación	0.68
Mínimo	420.5
Máximo	433.1
Muestra	36

Fuente: *Elaboración Propia; 2021*

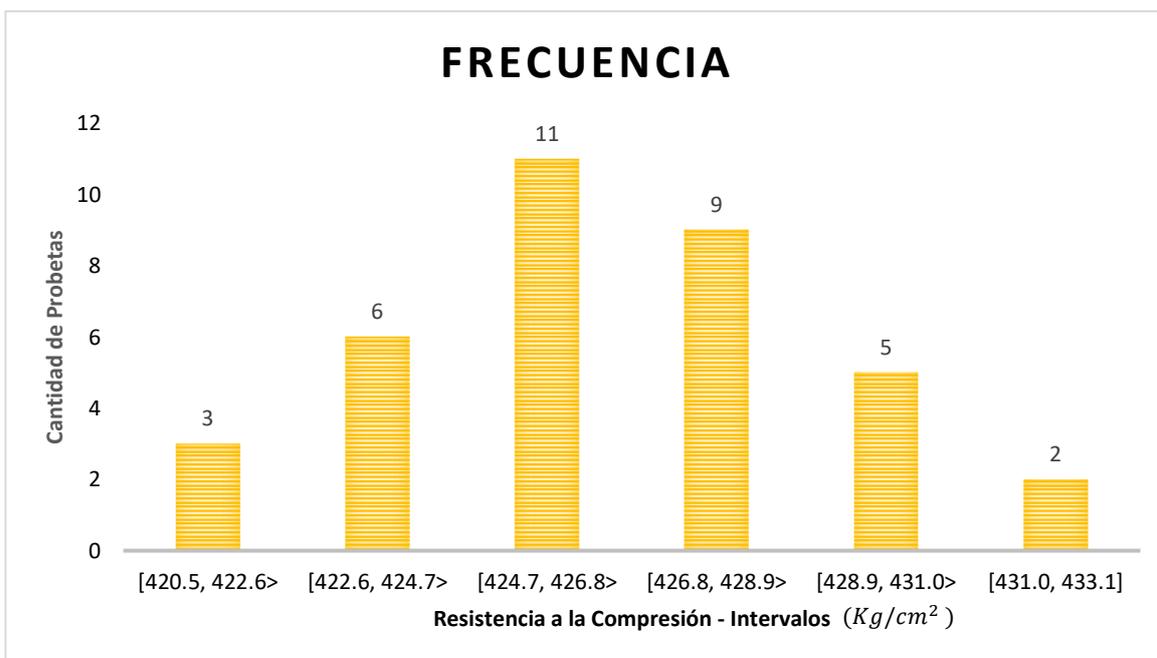
Tabla 45

Frecuencia de Concreto de $F'c= 210 \text{ Kg/cm}^2$ con sustitución parcial óptima de 0.8% de Nanosílice

Intervalo	Frecuencia
[420.5, 422.6>	3
[422.6, 424.7>	6
[424.7, 426.8>	11
[426.8, 428.9>	9
[428.9, 431.0>	5
[431.0, 433.1]	2

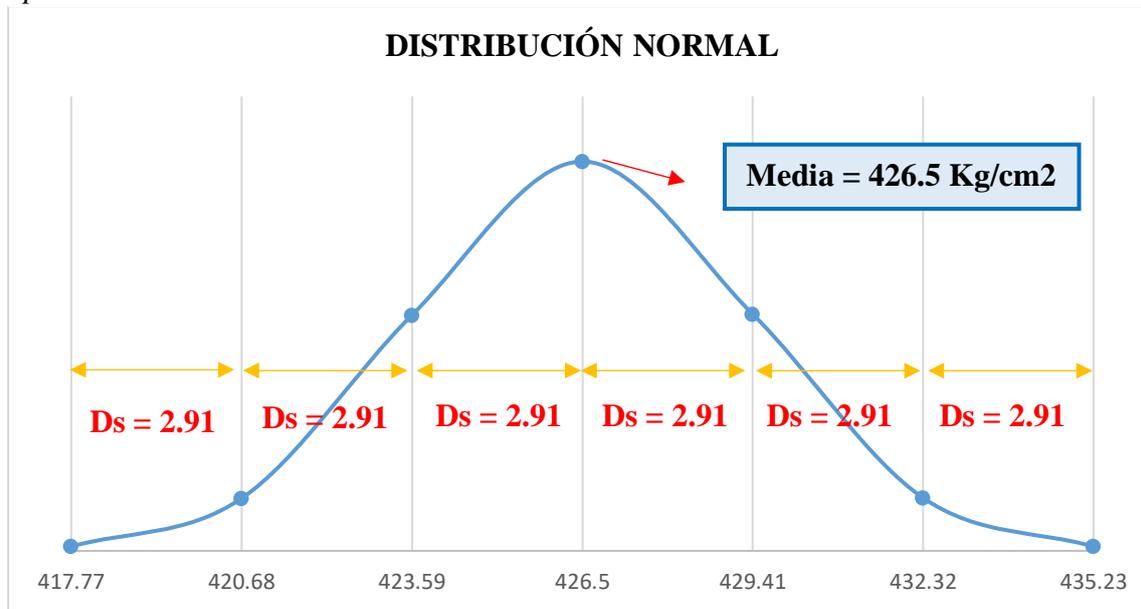
Fuente: *Elaboración Propia; 2021*

Figura 16. *Histograma de testigos de concreto de $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con sustitución parcial óptima de 0.8% de Nanosílice*



Fuente: *Elaboración propia, 2021*

Figura 17. Distribución Normal- Concreto de $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ sustitución parcial óptima de 0.8% de Nanosílice



Fuente: Elaboración propia, 2021

De la gráfica de distribución normal podemos afirmar lo siguiente:

- Existe la probabilidad de que el 68.0% de los testigos de concreto elaborados con 0.8 % de sustitución parcial óptima de cemento Portland tipo MS por Nanosílice presenten una resistencia a la compresión entre 423.59 Kg/cm^2 y 429.41 Kg/cm^2 a los 28 días de edad.
- Existe la probabilidad de que el 95.1% de los testigos de concreto elaborados con 0.8 % de sustitución parcial óptima de cemento Portland tipo MS por Nanosílice presenten una resistencia a la compresión entre 420.68 Kg/cm^2 y 432.32 Kg/cm^2 a los 28 días de edad.
- Existe la probabilidad de que el 99.7% de los testigos de concreto elaborados con 0.8 % de sustitución parcial óptima de cemento Portland tipo MS por Nanosílice presenten una resistencia a la compresión entre 417.77 Kg/cm^2 y 435.23 Kg/cm^2 a los 28 días de edad.

4.1.5.4. Evaluación estadística

Para un concreto de $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$, se observó que existió un mejor comportamiento con la sustitución parcial de Nanosílice al 0.8% por ello se elaboraron un total de 36 testigos de concreto con este porcentaje, con el cual se realizó una evaluación estadística como se visualiza en la **Tabla 43**.

4.1.5.4.1. Concreto con $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

✚ Mediante cálculos estadísticos se obtuvo los siguientes datos que se visualizan en la **Tabla 44**, donde la desviación estándar es de 2.91 y el coeficiente de variación es de 0.68.

$$C.V. = \left(\frac{ds}{\bar{x}}\right) \times 100 \dots \dots \dots (13)$$

Ecuación 13: Coeficiente de Variación

Dónde:

C.V. = Coeficiente de Variación

ds = Desviación Estándar

\bar{x} = Media

Cálculo:

$$C.V. = \left(\frac{ds}{\bar{x}}\right) \times 100$$

$$C.V. = \left(\frac{2.91 \text{ Kg/cm}^2}{426.5 \text{ Kg/cm}^2}\right) \times 100$$

$$C.V. = 0.68 \%$$

✚ Al observar la **Tabla 45** de un total de 36 probetas de concreto, 11 de ellas se encuentran en el intervalo de $[424.7, 426.8>$.

Tabla 46
Tabla de Dispersión del concreto

Dispersión del Concreto					
Dispersión Total					
Clase de Operación	Desviación Estándar para Diferentes Grados de Control (Kg/cm²)				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en Obra	< a 28.1	28.1 a 35.2	35.2 a 42.2	42.2 a 49.2	> a 49.2
Concreto en Laboratorio	< a 14.1	14.1 a 17.6	17.6 a 21.1	21.1 a 24.6	> a 24.6
Dispersión entre Testigos					
Clase de Operación	Coefficiente de variación V para diferentes grados de control (%)				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en Obra	< a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	5.0 a 6.0	> a 6.0
Concreto en Laboratorio	< a 2.0	2.0 a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	> a 5.0

Fuente: *Diseño de Mezclas, Rivva; 1992*

- ✚ Al clasificar la desviación estándar obtenida, en los intervalos de dispersión total del concreto según la **Tabla 46**, se puede concluir que el concreto obtenido en laboratorio es de condición “excelente”, dado que la $D_s=2.91 < 14.1$.
- ✚ Al evaluar el coeficiente de variación en la dispersión entre testigos en la **Tabla 46**, se visualiza que el coeficiente de variación del concreto elaborado en laboratorio tiene un valor de 0.68 y se encuentra en el rango de $< a 2.0$, por lo que presenta una condición “excelente”.

- El gráfico de distribución normal que se visualiza en la **Figura 17** para las probetas de concreto con sustitución parcial de 0.8% de Nanosíllice (porcentaje óptimo), señala lo expuesto en la **Tabla 47**.

Tabla 47
Probabilidad de ocurrencia de los testigos de concreto de $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2 - 0.8\%$ de Nanosíllice a los 28 días

Probabilidad de ocurrencia		
Porcentaje	Intervalo	
	A - B	
68.00%	423.59	429.91
95.10%	420.68	432.32
99.70%	417.77	435.23

Fuente: *Elaboración Propia; 2021*

- Considerando los resultados obtenidos y mediante el análisis estadístico realizado a los testigos de concreto con sustitución parcial de Nanosíllice al 0.8% respecto al peso del cemento, como se muestra en la **Tabla 47**, se evidencia que existe la probabilidad de que el 99.70 % de los testigos de concreto alcancen una resistencia de 417.77 Kg/cm^2 con amplia superioridad respecto a la resistencia de diseño de $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$, por ende, la hipótesis se da por validada.

4.1.5.5. Análisis comparativo del Beneficio - Costo

Se llevó a cabo el análisis costo – beneficio por metro cúbico, entre el concreto patrón y el concreto con porcentaje óptimo de sustitución parcial de Cemento Portland Tipo MS por Nanosílice; y a su vez en sus diferentes dosificaciones de 0.3%, 0.8% y 1.3%, a fin de hallar la mezcla de concreto estructural más rentable en términos de resistencia y precio, tal cual se muestran en las siguientes tablas y gráficos.

Cabe destacar que el aumento de porcentaje de sustitución parcial del Cemento Portland Tipo MS por Nanosílice aumenta considerablemente la resistencia de la mezcla de concreto hasta el punto de inflexión (porcentaje óptimo de sustitución), a cambio de un aumento en el precio del concreto por metro cúbico.

4.1.5.5.1. Análisis de Costos para una Resistencia a la Compresión de 210 Kg/cm²

Tabla 48
Costo del Concreto Patrón

Descripción	Und	Cantidad	P.U.	Parcial
Cemento	bls.	8.64	S/ 25.50	S/ 220.43
Agregado Fino	m ³	0.48	S/ 30.00	S/ 14.47
Agregado Grueso	m ³	0.62	S/ 71.00	S/ 44.16
Agua	m ³	0.21	S/ 4.50	S/ 0.94
TOTAL				S/ 280.00

Fuente: *Elaboración Propia; 2021*

MEJORA DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO ESTRUCTURAL MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND TIPO MS POR NANOSÍLICE - CHIMBOTE

Tabla 49
Costo del Concreto con 0.3% de sustitución parcial

Descripción	Und	Cantidad	P.U.	Parcial
Cemento	bls.	8.62	S/ 25.50	S/ 219.77
Agregado Fino	m ³	0.48	S/ 30.00	S/ 14.33
Agregado Grueso	m ³	0.62	S/ 71.00	S/ 44.16
Agua	m ³	0.21	S/ 4.50	S/ 0.94
Nanosílice 0.3%	Kg	1.14	S/ 20.70	S/ 23.50
TOTAL				S/ 302.71

Fuente: *Elaboración Propia; 2021*

Tabla 50
Costo del Concreto con 0.8% de Sustitución Parcial

Descripción	Und	Cantidad	P.U.	Parcial
Cemento	bls.	8.58	S/ 25.50	S/ 218.67
Agregado Fino	m ³	0.47	S/ 30.00	S/ 14.10
Agregado Grueso	m ³	0.62	S/ 71.00	S/ 44.16
Agua	m ³	0.21	S/ 4.50	S/ 0.94
Nanosílice 0.8%	Kg	3.03	S/ 20.70	S/ 62.66
TOTAL				S/ 340.54

Fuente: *Elaboración Propia; 2021*

Tabla 51
Costo del Concreto con 1.3% de Sustitución Parcial

Descripción	Und	Cantidad	P.U.	Parcial
Cemento	bls.	8.53	S/ 25.50	S/ 217.56
Agregado Fino	m ³	0.46	S/ 30.00	S/ 13.86
Agregado Grueso	m ³	0.62	S/ 71.00	S/ 44.16
Agua	m ³	0.21	S/ 4.50	S/ 0.94
Nanosílice 1.3%	Kg	4.92	S/ 20.70	S/ 101.83
TOTAL				S/ 378.36

Fuente: *Elaboración Propia; 2021*

Tabla 52
Costo del Concreto con Porcentaje Óptimo de Sustitución Parcial

Descripción	Und	Cantidad	P.U.	Parcial
Cemento	bls.	8.58	S/ 25.50	S/ 218.67
Agregado Fino	m ³	0.47	S/ 30.00	S/ 14.10
Agregado Grueso	m ³	0.62	S/ 71.00	S/ 44.16
Agua	m ³	0.20	S/ 4.50	S/ 0.89
Nanosílice 0.8%	Kg	3.03	S/ 20.70	S/ 62.66
TOTAL				S/ 340.48

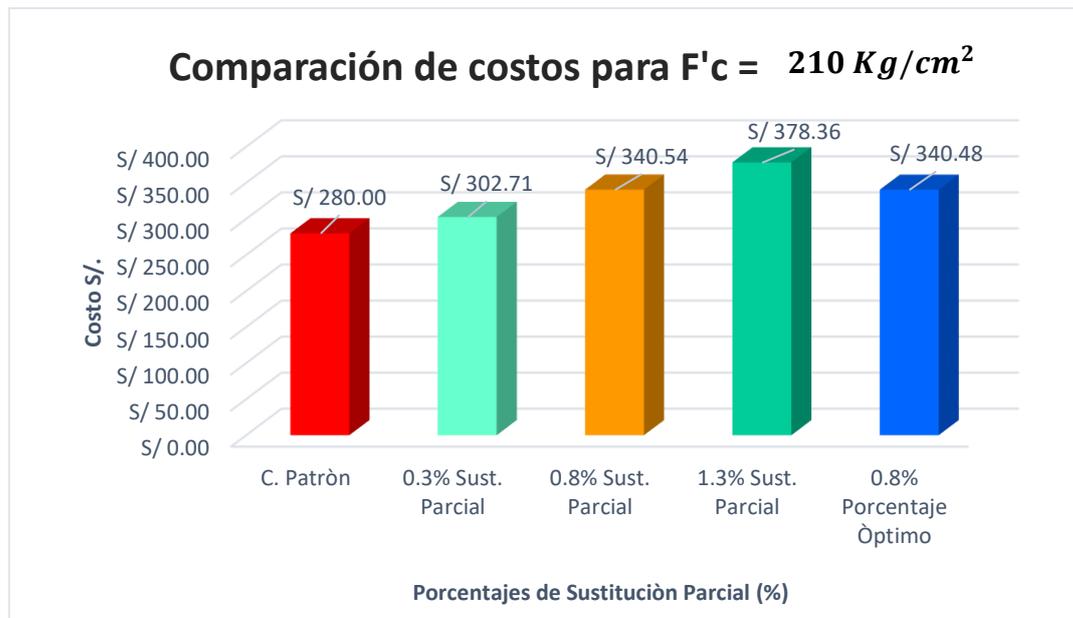
Fuente: *Elaboración Propia; 2021*

Tabla 53
Comparación de los costos para $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

Resistencia de Estudio $F'c = 210 \text{ Kg} - f/\text{cm}^2$			
Ítem	Costo	$F'c (\text{Kg} - f/\text{cm}^2)$	$S/. (\text{Kg} - f/\text{cm}^2)$
Concreto Patrón	S/ 280.00	284.0	1.00
0.3% Sustitución Parcial	S/ 302.71	352.7	1.15
0.8% Sustitución Parcial	S/ 340.54	400.9	1.16
1.3% Sustitución Parcial	S/ 378.36	324.1	0.84
0.8% Porcentaje Óptimo	S/ 340.48	426.5	1.23

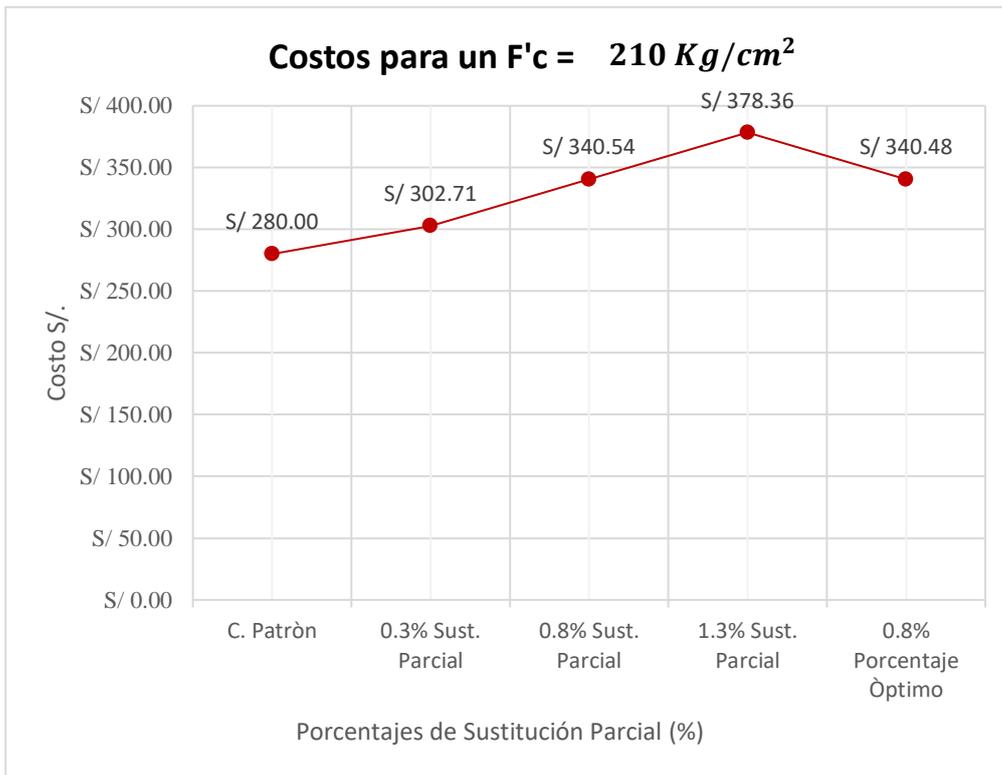
Fuente: Elaboración Propia; 2021

Figura 18. Histograma de comparación de costos para un $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$



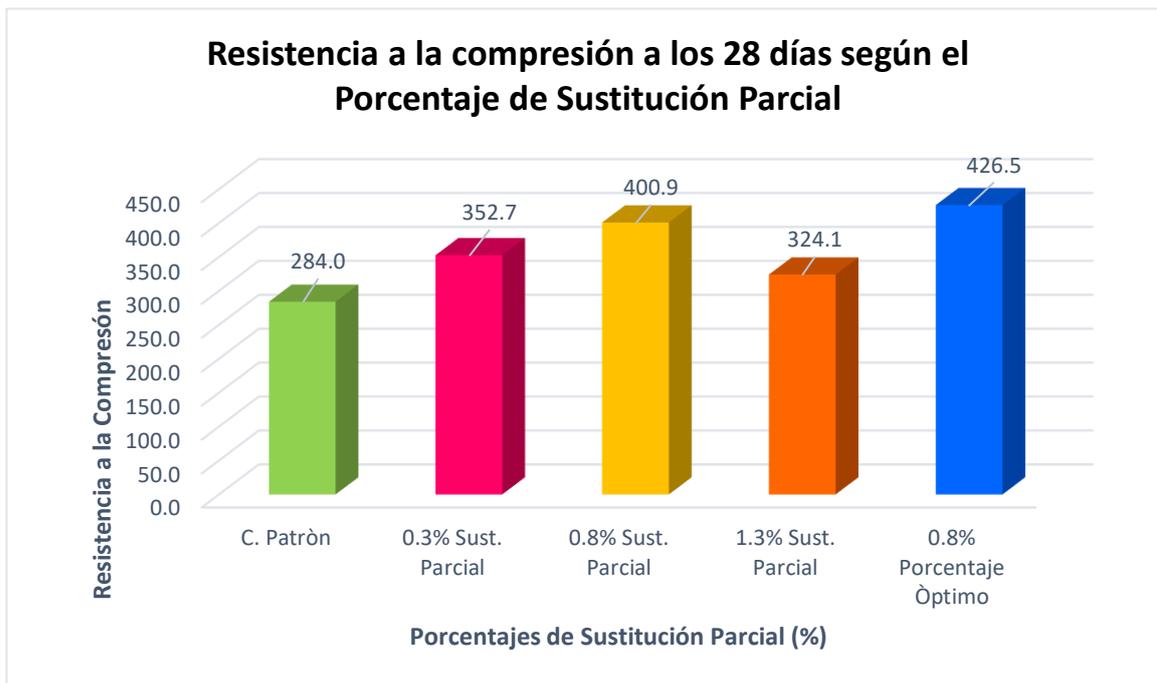
Fuente: Elaboración Propia, 2021

Figura 19. Gráfico de dispersión de costos para un concreto con $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$



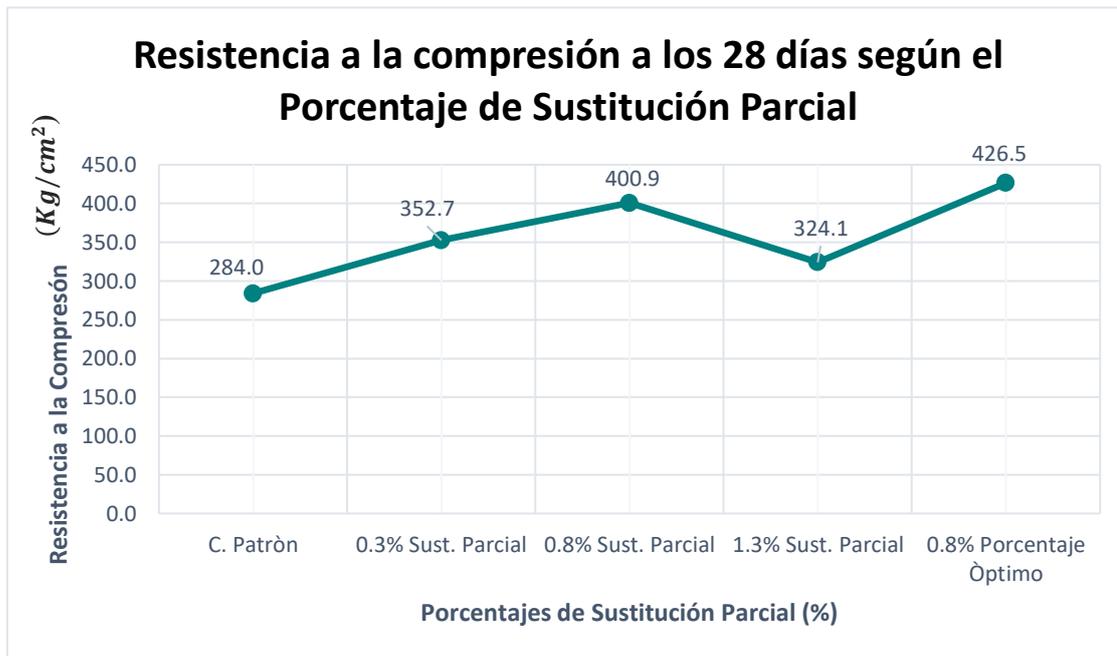
Fuente: *Elaboración Propia, 2021*

Figura 20. Histograma de la comparación de Resistencia a la Compresión para un concreto $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$



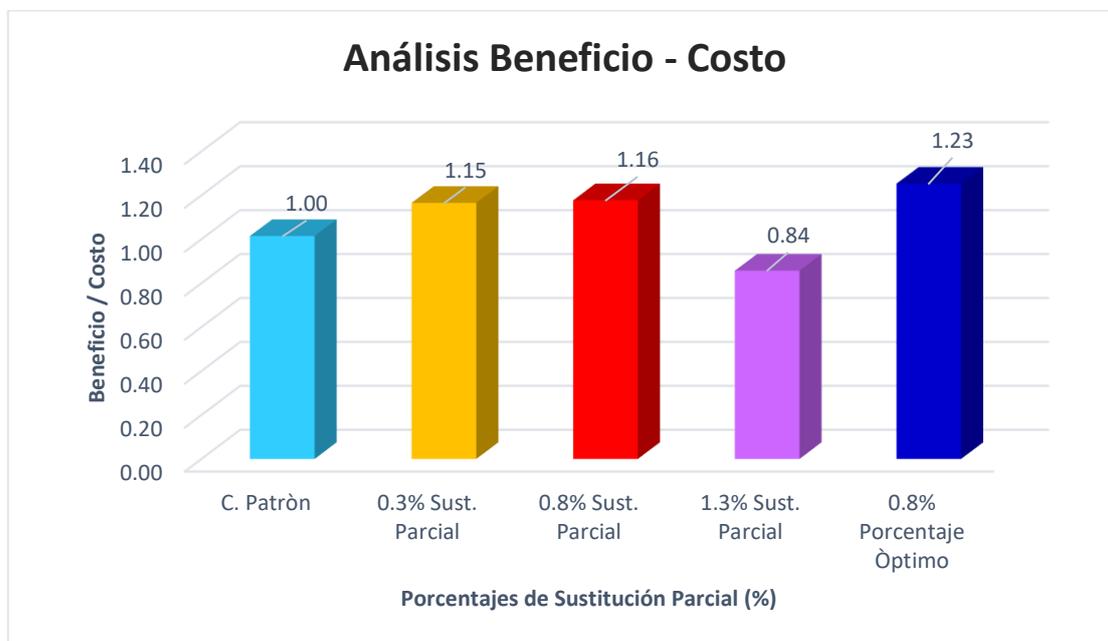
Fuente: *Elaboración Propia, 2021*

Figura 21. Gráfico de dispersión de la comparación de Resistencia a la Compresión para un concreto $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$



Fuente: Elaboración Propia, 2021

Figura 22. Histograma del Análisis comparativo del Beneficio / Costo de las mezclas de concreto estructural.



Fuente: Elaboración propia, 2021

La relación Beneficio / Costo se interpreta de tal manera que:

> 1 Siempre que esta sea mayor que 1, el uso del aditivo en la mezcla será rentable de tal modo que, a mayor relación Beneficio / Costo, la rentabilidad en el uso del Nanosíllice en la mezcla de concreto estructural como sustituto parcial del Cemento Portland Tipo MS, será mayor.

< 1 En contraposición, si la relación Beneficio / Costo es menor a 1, el uso del Nanosíllice en la dosificación indicada no será rentable.

- Se puede apreciar que el costo del concreto con sustitución parcial del Cemento Portland Tipo MS por Nanosíllice se incrementa a medida que aumenta la cantidad de aditivo en la mezcla de concreto estructural. **(Figura 18 y 19)**
- Se infiere que la relación Beneficio / Costo crece de manera directamente proporcional al porcentaje de Sustitución Parcial, solo hasta el punto de inflexión (porcentaje óptimo de sustitución parcial) y luego decrece. **(Figura 22)**
- Se evidencia que la mezcla de concreto estructural con el porcentaje óptimo de sustitución parcial del Cemento Portland Tipo MS por Nanosíllice, es la mezcla que ofrece mayor rentabilidad al presentar una mayor relación Beneficio / Costo que las demás, con un factor adimensional de 1.23. **(Figura 22)**

4.1.5.6. Análisis de la hipótesis de la investigación

4.1.5.6.1. Hipótesis de la Investigación

“El uso de Nanosílice como sustitución parcial de Cemento Portland Tipo MS mejorará las propiedades del concreto estructural.”

La hipótesis planteada al inicio de la investigación fue aceptada, al conocer la resistencia a la compresión de las probetas de concreto con porcentaje óptimo de sustitución parcial a los 28 días de edad, previamente curadas, obteniéndose resultados satisfactorios, mejorando las propiedades del concreto patrón con un aumento de la resistencia a la compresión del 50.18% (142.5 Kg/cm²); como también al evaluar que exista una correcta trabajabilidad de la mezcla de concreto (3.5” de Slump) en concordancia a la relación A/C según la resistencia de diseño requerida $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$.

A su vez, se realizó un análisis costo/beneficio, en el que se demuestra que la mezcla de concreto estructural con el porcentaje óptimo de sustitución parcial del Cemento Portland Tipo MS por Nanosílice (0.8% respecto al peso del cemento y una relación A/C=0.54), es la mezcla que ofrece mayor rentabilidad de todas (con un factor adimensional de 1.23), reafirmando la hipótesis considerada inicialmente.

4.2. Discusión

- En la presente investigación se elaboró un concreto patrón de resistencia de diseño $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ con una relación A/C = 0.5707, el cual presentó una mezcla trabajable de consistencia plástica con un asentamiento (Slump) de 2.8”, alcanzando una resistencia a la compresión de 284.0 Kg/cm² a la edad de 28 días. Esta investigación se relaciona con lo expuesto por **Caballero (2019)**, en su tesis titulada: “Optimización del concreto mediante la adición de Nanosílice, empleando agregados de la cantera de Añashuayco de Arequipa”, donde presenta un concreto patrón $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ elaborado con una relación A/C=0.65, obteniendo una mezcla de 4” de asentamiento (Slump) y logrando a los 28 días una resistencia a la compresión de 262.25 Kg/cm².

- **(Cabanillas, 2020)**, en su tesis de pregrado titulada: “Concreto de alta resistencia, utilizando Nanosílice y Superplastificante”, señala que el uso de la adición de Nanosílice y/o del superplastificante no perjudica la trabajabilidad asimismo proporciona un tiempo adecuado para un buen acabado del concreto. Teoría que se rechaza, dado que, en contraparte, mediante la presente investigación se pudo comprobar que, existe un porcentaje óptimo de sustitución parcial de Nanosílice (0.8% del peso del cemento) en la mezcla de concreto estructural hasta el cual la trabajabilidad y la resistencia se ven favorecidas, sin embargo al exceder el mismo la mezcla presenta exudación, exceso de trabajabilidad y sumas dificultades para componerse.
- **(Mendoza, 2021)**, en su tesis titulada “Influencia del Nanosílice por Sustitución Parcial al cemento en el diseño de mezcla de concreto de Alta Resistencia, en la ciudad de Puno 2017”, logra evidenciar que la resistencia a la compresión en los grupos de concreto 99% C + 1% NS, 98.5% C + 1.5% NS, 98% C + 2% NS, 97.5% C + 2.5% NS, 97% C + 3% NS, para un $F'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$, se incrementa en los porcentajes de 14.5%, 19.95%, 29.51%, 19.33% y 5.33% respecto a la resistencia del concreto patrón; logrando validar de esta manera su hipótesis general planteada. Teoría que se correlaciona con la presente investigación al obtener un incremento en la resistencia a la compresión de 24.19 %, 41.16 % y 14.12 %; según las dosificaciones de (99.7% C + 0.3% NS, 99.2% C + 0.8% NS, 98.7% C + 1.3% NS), para un $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$, por lo que ambas investigaciones dan por aprobadas las hipótesis planteadas previamente, dado que se visualiza un aumento significativo de la resistencia a la compresión con los diferentes porcentajes de sustitución parcial.
- **(Caballero, 2019)**, en su tesis de pregrado “Optimización del concreto mediante la adición de Nanosílice, empleando agregados de la cantera de Añashuayco de Arequipa”, donde logró comprobar que al controlar el agua en la elaboración de las diferentes mezclas de concreto con aditivo según diseño se logra mantener el Slump de 2 a 4 pulgadas, de esta manera evita que el concreto segregue y no funcione en la práctica. Además, concluye que el contenido óptimo de aditivo Nanosílice para concretos de 210 Kg/cm^2 es del 1% respecto al peso del cemento el cual logra un incremento de 16.62%, equivalente a una resistencia a la compresión de 422.45 Kg/cm^2 . Teoría que se aprueba en la presente investigación al evidenciar que, en cuanto a la realización de las probetas de concreto con

las diferentes dosificaciones de aditivo Nanosíllice, los Slump variaron desde 2.8” hasta 5.3”, e incluso al controlarse el agua (reduciendo el agua de mezcla hasta en un 5.75%) se pudo mantener el Slump de diseño de 3” a 4” en el concreto con el porcentaje óptimo de sustitución parcial y una relación $A/C=0.54$, evitando la segregación y asegurando la funcionalidad en obra del mismo. Asimismo, se evidencia que el porcentaje de incremento de la resistencia a la compresión, respecto a la muestra patrón, fue mayor, al elaborarse una mezcla de concreto con un porcentaje óptimo de 0.8% de Nanosíllice como sustitución parcial del Cemento Portland Tipo MS para un concreto de 210 Kg/cm^2 , obteniéndose un incremento de 50.18 % que equivale a una resistencia a la compresión de 426.5 Kg/cm^2 .

Capítulo V:

**CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES**

5.1. Conclusiones

- Con el desarrollo de la presente investigación, se logró demostrar que la sustitución parcial de Cemento Portland Tipo MS por Nanosílice en la dosificación de 0.8% del peso del cemento, mejoró las propiedades del concreto estructural, obteniendo un incremento de la resistencia a la compresión axial del concreto en 50.18 % respecto a la muestra patrón, para un concreto trabajable con Slump de 3.5” de relación $A/C=0.54$, con lo cual la hipótesis se da por aceptada.
- Se elaboró una mezcla de concreto patrón de $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$, con una relación A/C efectiva de 0.57, que presentó un asentamiento (Slump) de 2.8” equivalente a 7.11 cm, mientras que, a los 28 días de edad, su resistencia promedio fue de 284.0 Kg/cm^2 .
- Se elaboraron 03 mezclas de concreto estructural de $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ con distintos porcentajes de sustitución parcial de cemento Portland Tipo MS por Nanosílice, los cuales presentaron las siguientes características:
 - La mezcla con sustitución parcial de 0.3 % presentó un asentamiento (Slump) de 3.3” equivalente a 8.38 cm, mientras que, a los 28 días de edad, su resistencia promedio es de 352.7 Kg/cm^2 .
 - La mezcla con sustitución parcial de 0.8 % presentó un asentamiento (Slump) de 4.1” equivalente a 10.41 cm, mientras que, a los 28 días de edad, su resistencia promedio es de 400.9 Kg/cm^2 .
 - La mezcla con sustitución parcial de 1.3 % presentó un asentamiento (Slump) de 5.3” equivalente a 13.46 cm, mientras que, a los 28 días de edad, su resistencia promedio es de 324.1 Kg/cm^2 .
- Al comparar las 03 mezclas de concreto estructural con distintos porcentajes de sustitución parcial, se comprobó que el mejor porcentaje de sustitución parcial de Cemento Portland Tipo MS por Nanosílice es el de 0.8% con el cual se obtuvo un mayor aumento de la resistencia a la compresión axial respecto a la muestra patrón (alcanzando los 400.91 Kg/cm^2); así como una trabajabilidad adecuada de la mezcla

de concreto (presentando una mezcla trabajable de consistencia plástica con un Slump de 4.1"); y que al exceder este porcentaje la mezcla presenta exudación, exceso de trabajabilidad y suma dificultad para componerse.

- Se optimizó el porcentaje ideal de sustitución parcial de Cemento Portland Tipo MS por Nanosílice el cuál es de 0.8%, elaborando una mezcla de concreto con una relación $A/C = 0.54$ y un Slump de 3.5" equivalente a 8.89 cm, reduciendo el agua de mezcla en un 5.8% y alcanzando una resistencia promedio de 426.5 Kg/cm^2 , y una resistencia máxima de 433.1 Kg/cm^2 ; y ofreciendo una mejor rentabilidad al presentar una mayor relación Beneficio/Costo (1.23) mejorando las propiedades del concreto patrón, con un considerable aumento de la resistencia a la compresión del 50.18% (142.5 Kg/cm^2), a cambio de un aumento del costo de producción del 21.6% (S/.60.48).

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda a: las empresas de construcción involucradas en la elaboración de concreto, los técnicos de laboratorio de concreto y a futuros tesisistas; el uso del Nanosílice en 0.8% respecto al peso del Cemento Portland Tipo MS como porcentaje óptimo de sustitución.
- Se recomienda a futuros tesisistas continuar con la línea de investigación respecto a la utilización de otros tipos de cementos en otras zonas del Perú, otros tamaños máximos nominales y otras resistencias de diseño requeridas.
- Se recomienda a futuros tesisistas y Técnicos de Laboratorio de Concreto tener precaución al momento de verter la cantidad necesaria de Nanosílice en la mezcladora, debido a que si existiera una alteración en el porcentaje esto involucraría a que se modifique sus propiedades físicas y mecánicas.
- Se recomienda a futuros tesisistas y Técnicos de Laboratorio de Concreto el uso de EPP'S como guantes, lentes de seguridad, mascarilla, casco con barbiquejo para prevenir accidentes en la manipulación del aditivo y durante la elaboración de las probetas.
- Se recomienda a futuros tesisistas y Técnicos de Laboratorio de Concreto verter el aditivo Nanosílice como componente final en la elaboración de la mezcla de concreto estructural realizado en laboratorio.

- Se recomienda a futuros tesisistas ampliar esta investigación dándole un enfoque económico, social o ambiental en la producción de concretos a grandes escalas que involucren el uso de aditivo Nanosílice.
- Se recomienda a futuros tesisistas efectuar mayor cantidad de ensayos de resistencia a la compresión del concreto estructural con sustitución parcial de cemento Portland Tipo MS por Nanosílice después de los 28 días de edad de los mismos.
- Se recomienda a futuros tesisistas en futuras investigaciones tener como base los requerimientos de las Normas Técnicas Peruanas e Internacionales para que de esta manera lograr estandarizar los procedimientos y lograr resultados óptimos durante la realización de los ensayos.
- Se recomienda a futuros tesisistas que los equipos a ser usados en laboratorio se encuentren debidamente calibrados, para que los resultados de los ensayos a realizar sean confiables.

Capítulo VI:

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6.1. Referencias bibliográficas

- Aguilar Mundaca, R. P. (2007). Determinación de la influencia de las nanomoléculas de sílice en el concreto frente a un factor que afecta su durabilidad. *[Tesis de pregrado]*. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- BASF Construction Chemicals España, S.L. "MEYCO MS 685". (s.f.). *Adición líquida de nanosílice para hormigón y hormigón proyectado*.
- Caballero Arredondo, P. W. (2019). Optimización del concreto mediante la adición de Nanosílice, empleando agregados de la cantera de Añashuayco de Arequipa. *[Tesis de pregrado]*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.
- Cabanillas Guillén, H. H. (2020). Concreto de alta resistencia, utilizando nanosílice y superplastificante. *[Tesis de pregrado]*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Castillo Linton, C. E. (2015). Modificación de las propiedades de matrices cementantes mediante la adición de nanopartículas de sílice. *[Tesis de grado]*. Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México.
- Curbelo B. J. (2015). *Concreto estructural (Tomo I). Concreto Estructural Reforzado y Concreto Estructural Simple*. Armenia, Colombia.
- Escobedo Portal, G. (2014). Incidencia de la Nanosílice en la resistencia mecánica de un concreto de Alta Resistencia con Cemento Portland Tipo I. *[Tesis de pregrado]*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Flores Peña, P. (2020). Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto de alta resistencia con microsílice y nanosílice. *[Tesis de pregrado]*. Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Huincho Salvatierra, E. (2011). Concreto de Alta Resistencia usando Aditivo Superplastificante, Microsílice y Nanosílice con Cemento Portland Tipo I. *[Tesis de pregrado]*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Jo, B. W., Kim, C. H., & Lim, J. H. (2007). *Investigaciones sobre el desarrollo de hormigón en polvo con nanopartículas de SiO₂*. doi:<https://doi.org/10.1007/BF02823370>
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto* (1° ed.). Illinois, Estados Unidos: Portland Cement Association.

- León Arzapalo, C. R. (2018). Las partículas de nanosílice y su influencia en la resistencia a la compresión del concreto autocompactante en la ciudad de Huancayo-2017. [*Tesis de pregrado*]. Universidad Continental, Huancayo, Perú.
- Mendoza Almonte, H. (2021). Influencia de nanosílice por sustitución parcial al cemento en el diseño de mezcla de concreto de alta resistencia, en la ciudad de Puno 2017. [*Tesis de pregrado*]. Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2020). *NTE E050 Suelos y Cimentaciones*. Lima, Perú: SENCICO.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2020). *NTE E060 Concreto Armado*. Lima, Perú: SENCICO.
- Molina Villar, F. R., & Chara Surco, H. (2017). Influencia de la adición de nanosílice en las propiedades de un concreto de alta resistencia para la ciudad de Arequipa. [*Tesis de pregrado*]. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.
- Nilson A. H. & Darwin D. (2001). *Diseño de estructuras de concreto* (12° ed.). Santa fé de Bogotá, Colombia: Quebecor World Bogotá S.A.
- Pasquel Carbajal, E. (1998). *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú* (2° ed.). Lima, Perú.
- Perez Bahamonde, M. H. (2008). Caracterización de morteros con adición de combinaciones de Microsílice y Nanosílice. [*Tesis de pregrado*]. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Portugal Barriga P. (2007). *Tecnología del Concreto de Alto Desempeño*. Junín, Perú: Lafayette.
- Puerto Suárez, J. D. (2019). Efecto de la nanosílice sobre las propiedades reológicas de la matriz cementante y su influencia en el estado endurecido del concreto hidráulico. [*Tesis de grado*]. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Rivera G. A. (2010). *Concreto Simple*. Universidad del Cauca.
- Rivva López E. (1992). *Diseño de Mezclas*. Lima, Perú: Hozlo S.CR.L.
- Senff, L., Hotza, D., Repette, W.L., Ferreira, V.M., & Labrincha, J.A. (2010). *Mortars with nano- SiO₂ and micro - SiO₂ investigated by experimental design*. (Construction and Building Material 24 ed.).
- Senff, L., Labrincha, J.A., Ferreira, V.M., Hotza, D., & Repette, W.L. (2009). *Effect of nanosilica on rheology and fresh properties of cement pastes and mortars* (Construction and Building Materials 23 ed.).
-

Tobón, J.I., Restrepo, O.J., & Payá, J. (2010). *Comparative analysis of performance of Portland cement blended with nanosilica and silica fume*. (Vol. 77). Dyna.

Ywan Shih, J., Peng Chang, T., & Chin Hsiao, T. (2006). *Effect of nanosilica on characterization of Portland cement composite*. (Materials Science and Engineering A 424 ed.).

Capítulo VII:

ANEXOS

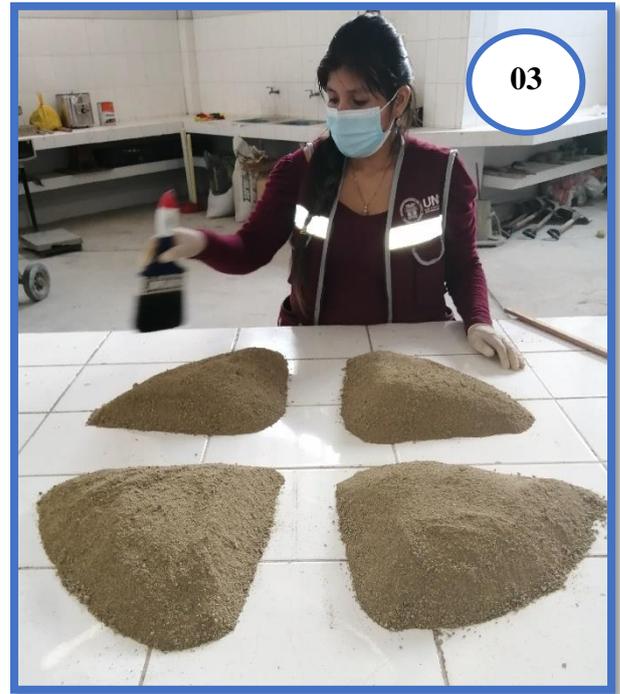
ANEXO 01



7.1. ANEXO 01 – Panel fotográfico



Fotografía N°01: Extracción de los Agregados de la cantera “La Sorpresa”.



Fotografía N°02 y N°03: Realizando el cuarteo del Agregado Fino.



Fotografía N°04 y N°05: Realizando el cuarteo del Agregado Grueso.



Fotografía N°06: Taras limpias que se utilizarán para el ensayo de contenido de humedad.



Fotografía N°07: Muestras de Agregado Fino y Agregado Grueso para el ensayo de contenido de humedad.



08



09



10

Fotografía N°08, N°09 y N°10: Pesando las taras más muestras de suelo para el ensayo de contenido de humedad del agregado fino.



11

Fotografía N°11: Poniendo al horno las muestras de suelo de Agregado Fino para el ensayo de contenido de humedad.



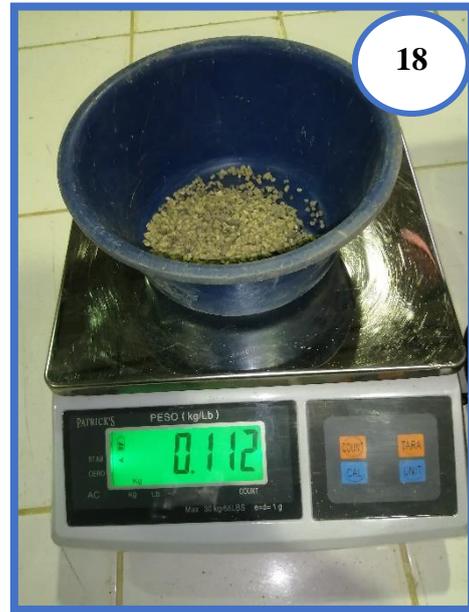
Fotografía N°12, N°13 y N°14: Pesando las taras más muestras de suelo para el ensayo de contenido de humedad del agregado grueso.



Fotografía N°15: Poniendo al horno las muestras de suelo de Agregado Grueso para el ensayo de contenido de humedad.



Fotografía N°16: Realizando el tamizado manual para luego calcular la granulometría del Agregado Fino.



Fotografía N°17 y N°18: Pesando las muestras de agregado fino de cada una de las mallas para luego calcular la granulometría del Agregado Fino.



Fotografía N°19: Realizando el tamizado manual para luego calcular la granulometría del Agregado Grueso.



Fotografía N°20: Pesando el recipiente cúbico para realizar el ensayo de peso unitario suelto y compactado del Agregado Fino.



Fotografía N°21 y N°22: Realizando las mediciones respectivas para calcular el volumen del recipiente cúbico para el ensayo de peso unitario suelto y compactado del Agregado Fino.



Fotografía N°23: Llenando el recipiente cúbico con Agregado Fino con ayuda de un cucharón metálico desde una altura no mayor de 50 mm por encima de la parte superior del recipiente.



Fotografía N°24 y N°25: Enrasando con la ayuda de una regla metálica para calcular el peso unitario suelto del Agregado Fino.



Fotografía N°26: Limpiando los bordes del recipiente cúbico para eliminar el exceso de material.



Fotografía N°27, N°28 y N°29: Pesando el recipiente cúbico más la muestra suelta para el ensayo de peso unitario suelto del Agregado Fino, se realizó tres veces el ensayo.



Fotografía N°30: Llenando el recipiente cúbico con Agregado Fino para el ensayo de peso unitario compactado.



Fotografía N°31 v N°32: Apisonando con la varilla compactadora de 5/8" mediante 25 golpes distribuidos uniformemente en cada una de las tres capas.



Fotografía N°33: Enrasando con la ayuda de una regla metálica para el ensayo de peso unitario compactado del Agregado Fino.



Fotografía N°34: Limpiando los bordes del recipiente cúbico para eliminar el exceso de material.



Fotografía N°35, N°36 y N°37: Pesando el recipiente cúbico más la muestra compactada para el ensayo de peso unitario compactado del Agregado Fino, se realizó tres veces el ensayo.



Fotografía N°38: Pesando el recipiente cúbico para realizar el ensayo de peso unitario suelto y compactado del Agregado Grueso.



Fotografía N°39 y N°40: Realizando las mediciones respectivas para calcular el volumen del recipiente cúbico para el ensayo de peso unitario suelto y compactado del Agregado Grueso.



Fotografía N°41: Llenando el recipiente cúbico con Agregado Grueso utilizando un cucharón metálico desde una altura no mayor de 50 mm por encima de la parte superior del recipiente.



Fotografía N°42 y N°43: Enrasando con la ayuda de la varilla compactadora para calcular el peso unitario suelto del Agregado Grueso.



Fotografía N°44: Pesando el recipiente cúbico más la muestra suelta para el ensayo de peso unitario suelto del Agregado Grueso.



Fotografía N°45: Llenando el recipiente cúbico con Agregado Grueso para el ensayo de peso unitario compactado.



Fotografía N°46 y N°47: Apisonando con la varilla compactadora de 5/8" mediante 25 golpes distribuidos uniformemente en cada una de las tres capas.



Fotografía N°48: Nivelando con la ayuda de la varilla compactadora para el ensayo de peso unitario compactado del Agregado Grueso.



Fotografía N°49: Pesando el recipiente cúbico más la muestra compactada para el ensayo de peso unitario compactado.



Fotografía N°50: Muestra a utilizar para el ensayo de absorción y peso específico del Agregado Fino.



Fotografía N°51 y N°52: Recipiente metálico con muestra de Agregado Fino cubierta de agua, está se deja reposar durante 24 horas.



Fotografía N°53: Agregado fino extendido sobre un recipiente plano expuesta a una corriente de aire tibio para el secado uniforme.



Fotografía N°54: La muestra se coloca en el molde cónico para poder apisonar la superficie con 25 golpes distribuidos uniformemente utilizando la varilla compactadora.



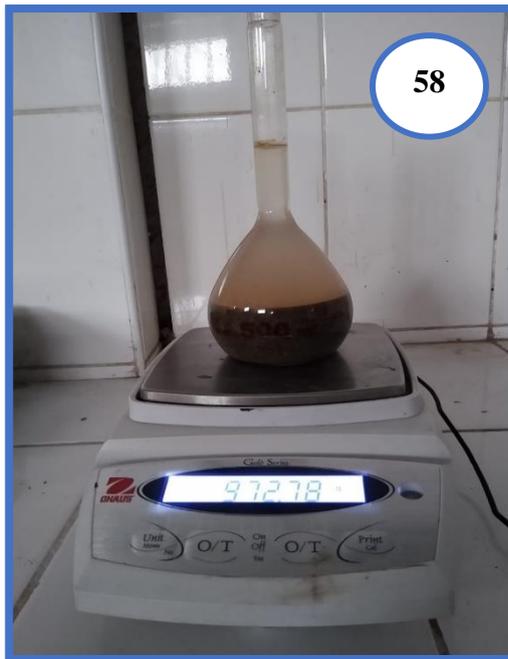
Fotografía N°55: Se retira el molde cónico, cuando la muestra de agregado fino se derrumba esto debe cuando la muestra se encuentra saturada superficialmente seca.



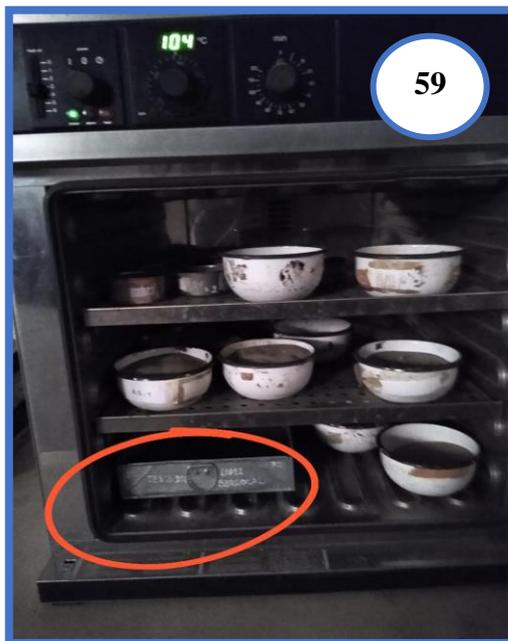
Fotografía N°56: Muestra de 500 g de material preparado dentro del frasco volumétrico llenada con agua destilada hasta la marca de enrase.



Fotografía N°57: Eliminando las burbujas de aire haciendo uso de una cocina eléctrica.



Fotografía N°58: Determinando el peso total del frasco volumétrico, espécimen y agua.



Fotografía N°59: Se deposita la muestra en un recipiente metálico dentro del horno a una temperatura constante de $110 \pm 5^\circ\text{C}$, luego se deja enfriar a temperatura ambiente por una 1 ½ hora posteriormente se procede a pesar. Para finalmente determinar el peso específico y absorción del Agregado Fino.



Fotografía N°60: Muestra a utilizar para el ensayo de absorción y peso específico del Agregado Grueso.



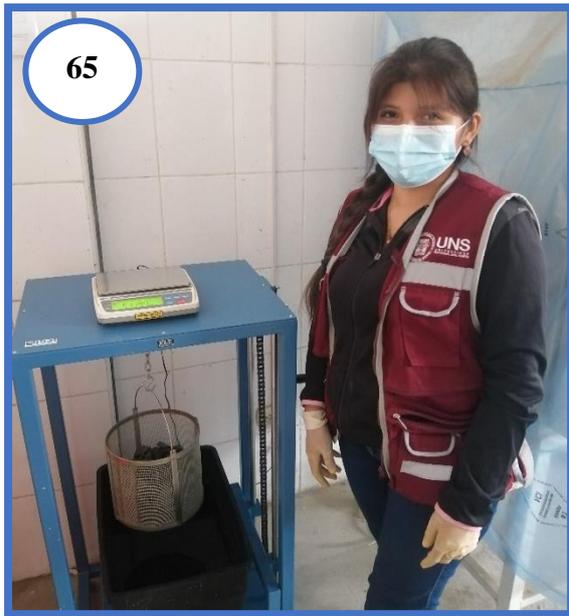
Fotografía N°61: Bandeja con muestra de Agregado Grueso cubierta de agua, se deja reposar durante 24 horas.



Fotografía N°62 y N°63: Se retiró la muestra del agua y se hace rodar sobre una toalla grande y absorbente, se seca separadamente los fragmentos más grandes. Luego se obtiene el peso de la muestra saturada con superficie seca.



Fotografía N°64: Canastilla metálica a utilizar para el ensayo de peso específico y absorción.



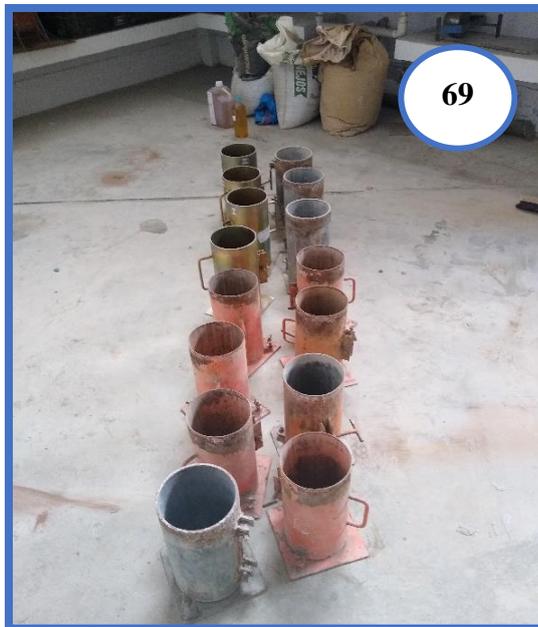
Fotografía N°65 y N°66: Se coloca la muestra al interior de la canastilla metálica y se determina su peso sumergido en el agua, se seca la muestra a una temperatura entre $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ y se deja enfriar a temperatura ambiente, durante 2 horas luego se procede a pesar.



Fotografía N°67: Aditivo GAIA Microsílice a utilizar para el ensayo de resistencia a la compresión con sustituciones parciales al 0.3%, 0.8% y 1.3%.



Fotografía N°68: Petróleo a utilizar para la limpieza de las probetas.



Fotografía N°69: Moldes metálicos cilíndricos limpios y engrasados, listos para ser utilizados.



Fotografía N°70, N°71, N°72, N°73 y N°74: Materiales a utilizar para la elaboración de la mezcla de concreto.



Fotografía N°75: Vertiendo la cantidad necesaria de aditivo nanosílice en la probeta graduada.



Fotografía N°76: Mezcladora de concreto lista para utilizarse.



77

Fotografía N°77: Vaciando el agregado grueso en la mezcladora.



78

Fotografía N°78: Vaciando el aditivo nanosílice conjuntamente con agua en la mezcladora.



Fotografía N°79: Vaciando el agregado fino a la mezcladora, luego se agrega el cemento y se termina de verter el agua restante.



Fotografía N°80: Mezclándose todos los materiales para la elaboración de la mezcla de concreto.



Fotografía N°81: Mezcla de concreto lista para ser vaciada a las probetas cilíndricas.



Fotografía N°82: Cono de Abrams a utilizar para el ensayo de asentamiento (Slump).



83

Fotografía N°83: Compactando cada una de las 3 capas mediante 25 golpes distribuidos uniformemente utilizando la varilla compactadora de 5/8".



84

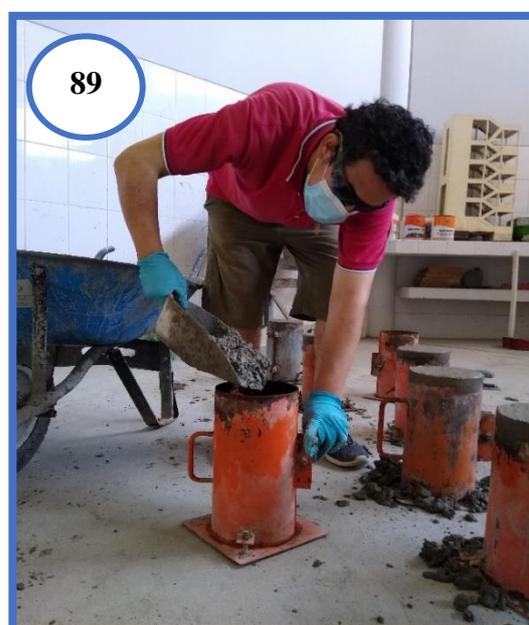


85

Fotografía N°84 y N°85: Retirando el molde cuidadosamente en dirección vertical.



Fotografía N°86 y N°87: Midiendo el asentamiento (Slump).



Fotografía N°88 y N°89: Vaciado del concreto del buggy a los moldes metálicos cilíndricos utilizando un cucharón metálico.



Fotografía N°90: Compactando el concreto con la varilla compactadora de 5/8 mediante 25 golpes distribuidos uniformemente en cada una de las 3 capas.



Fotografía N°91: Vibrado del concreto utilizando el martillo de goma.



Fotografía N°92 y N°93: Enrasando las probetas de concreto.



Fotografía N°94 y N°95: Fraguado del concreto por 24 horas.



96

Fotografía N°96: Cal necesaria para el curado de concreto.



97

Fotografía N°97: Colocando las probetas de concreto a la piscina para el curado.



98

Fotografía N°98: Curado de las probetas de concreto.



99

Fotografía N°99: Colocación de la probeta en la máquina de resistencia a la compresión.



Fotografía N°100 y N°101: Ensayo de resistencia a la compresión de los testigos de concreto (muestra patrón – 28 días).



Fotografía N°102: Ensayo de resistencia a la compresión de los testigos de concreto (0.8% Nanosílice – 28 días).



Fotografía N°103: Ensayo de resistencia a la compresión de los testigos de concreto (1.3% Nanosílice – 28 días).



Fotografía N°104: Ensayo de resistencia a la compresión de los testigos de concreto (0.8% porcentaje óptimo de nanosílice– 28 días).

ANEXO 02

**ENSAYO DE LOS
AGREGADOS**

7.2. ANEXO 02 – Ensayo de los agregados

LUGAR : NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH – PERÚ

FECHA : MARZO 2021

TESISTAS : BACH. DÍAZ DÍAZ, YURIKO YOSSELYN BANET
BACH. ESTRADA SAAVEDRA JONATHAN FABIAN

ASESOR : ING. RIVASPLATA DÍAZ JULIO CÉSAR

MUESTRA : AGREGADO FINO DE LA CANTERA “LA SORPRESA”

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA - ESPECIALIDAD CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y TECNOLOGÍA DEL CONCRETO



CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D-2216-80 / NTP 339.185)

	DESCRIPCIÓN	M1	M2	M3
01	Peso de la tara (gr)	28.382	29.644	28.588
02	Peso tara + suelo húmedo (gr)	156.947	149.935	155.328
03	Peso tara + suelo seco (gr)	156.224	149.292	154.678
04	Peso del agua (gr)	0.72	0.64	0.65
05	Peso del suelo seco (gr)	127.84	119.65	126.09
06	Contenido de humedad (%)	0.57	0.54	0.52
	<u>Contenido de humedad (%):</u>		<u>0.54</u>	

Fuente: *Elaboración propia, 2021*

LUGAR : NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH – PERÚ

FECHA : MARZO 2021

TESISTAS : BACH. DÍAZ DÍAZ, YURIKO YOSSELYN BANET
BACH. ESTRADA SAAVEDRA JONATHAN FABIAN

ASESOR : ING. RIVASPLATA DÍAZ JULIO CÉSAR

MUESTRA : AGREGADO GRUESO DE LA CANTERA “LA SORPRESA”

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA - ESPECIALIDAD CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y TECNOLOGÍA DEL CONCRETO



CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D-2216-80 / NTP 339.185)

DESCRIPCIÓN	M1	M2	M3
01 Peso de la tara (gr)	28.219	28.720	28.159
02 Peso tara + suelo húmedo (gr)	154.389	155.974	153.231
03 Peso tara + suelo seco (gr)	153.917	155.470	152.939
04 Peso del agua (gr)	0.47	0.50	0.29
05 Peso del suelo seco (gr)	125.70	126.75	124.78
06 Contenido de humedad (%)	0.38	0.40	0.23
<u>Contenido de humedad (%):</u>		<u>0.34</u>	

Fuente: *Elaboración propia, 2021*

LUGAR : NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH – PERÚ
FECHA : MARZO 2021
TESISTAS : BACH. DÍAZ DÍAZ, YURIKO YOSSELYN BANET
BACH. ESTRADA SAAVEDRA JONATHAN FABIAN
ASESOR : ING. RIVASPLATA DÍAZ JULIO CÉSAR
MUESTRA : AGREGADO FINO DE LA CANTERA “LA SORPRESA”

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA - ESPECIALIDAD CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y TECNOLOGÍA DEL CONCRETO



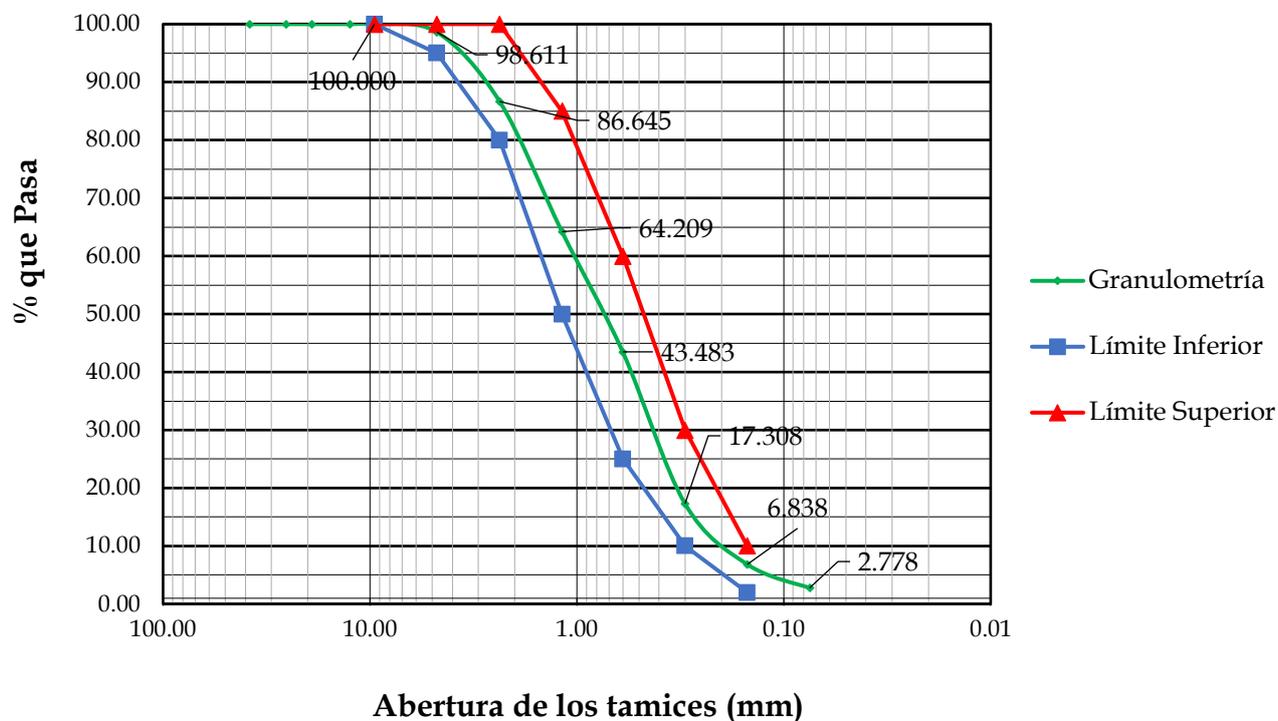
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C136 / NTP 400.037)

Peso inicial seco (gr) **936.00**

Mallas	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	% que Pasa
1 1/2"	38.100	0.000	0.000	0.000	100.000
1"	25.400	0.000	0.000	0.000	100.000
3/4"	19.050	0.000	0.000	0.000	100.000
1/2"	12.500	0.000	0.000	0.000	100.000
3/8"	9.500	0.000	0.000	0.000	100.000
N° 04	4.750	13.000	1.389	1.389	98.611
N° 08	2.360	112.000	11.966	13.355	86.645
N° 16	1.180	210.000	22.436	35.791	64.209
N° 30	0.600	194.000	20.726	56.517	43.483
N° 50	0.300	245.000	26.175	82.692	17.308
N° 100	0.150	98.000	10.470	93.162	6.838
N° 200	0.074	38.000	4.060	97.222	2.778
Cazoleta		26.000	2.778	100.000	0.000
TOTAL		936.000	100.000		

MÓDULO DE FINEZA = 2.8

CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO FINO



Fuente: *Elaboración propia, 2021*

LUGAR : NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH – PERÚ

FECHA : MARZO 2021

TESISTAS : BACH. DÍAZ DÍAZ, YURIKO YOSSELYN BANET
BACH. ESTRADA SAAVEDRA JONATHAN FABIAN

ASESOR : ING. RIVASPLATA DÍAZ JULIO CÉSAR

MUESTRA : AGREGADO GRUESO DE LA CANTERA “LA SORPRESA”

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA - ESPECIALIDAD CIVIL

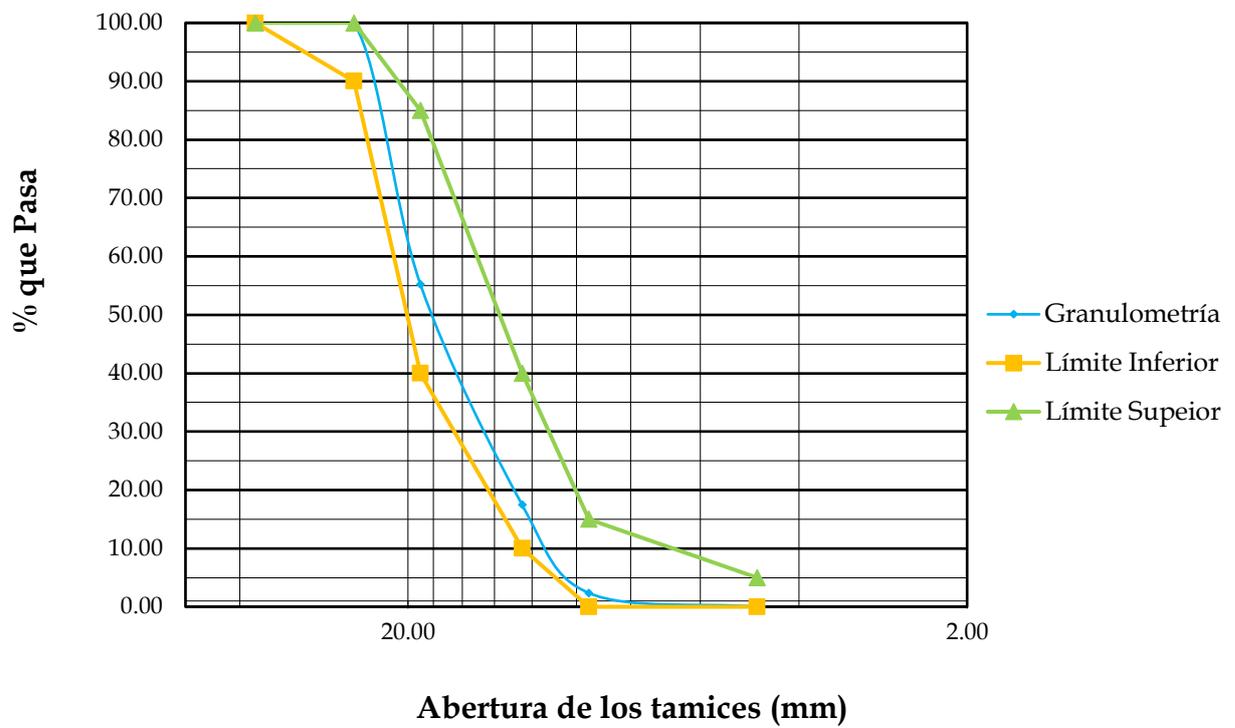
LABORATORIO DE SUELOS Y TECNOLOGÍA DEL CONCRETO



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C136 / NTP 400.037)

Peso inicial seco (gr)		5304.00				
Mallas	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	% que Pasa	Tamaño Máximo Nominal
1 1/2"	38.100	0.000	0.000	0.000	100.000	
1"	25.400	0.000	0.000	0.000	100.000	
3/4"	19.000	2376.000	44.796	44.796	55.204	
1/2"	12.500	2001.000	37.726	82.523	17.477	3/4"
3/8"	9.500	801.000	15.102	97.624	2.376	
N° 04	4.750	126.000	2.376	100.000	0.000	
Cazoleta		0.000	0.000	100.000	0.000	
TOTAL		5304.000	100.000			

CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO



Fuente: *Elaboración propia, 2021*

LUGAR : NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH – PERÚ

FECHA : MARZO 2021

TESISTAS : BACH. DÍAZ DÍAZ, YURIKO YOSSELYN BANET
BACH. ESTRADA SAAVEDRA JONATHAN FABIAN

ASESOR : ING. RIVASPLATA DÍAZ JULIO CÉSAR

MUESTRA : AGREGADO FINO DE LA CANTERA “LA SORPRESA”

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA - ESPECIALIDAD CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y TECNOLOGÍA DEL CONCRETO



PESO UNITARIO SUELTO (ASTM C-29 / NTP 400.017)

	DESCRIPCIÓN	M1	M2	M3	PROMEDIO
1	Peso del molde (gr)	1967.00	1967.00	1967.00	
2	Volumen del molde (cm^3)	2703.82	2703.82	2703.82	
3	Peso del molde + muestra suelta (gr)	6396.00	6379.00	6429.00	
4	Peso de la muestra suelta (gr)	4429.00	4412.00	4462.00	
5	Peso Unitario Suelto (Kg/m^3)	1638.06	1631.77	1650.26	1640.03

Fuente: *Elaboración propia, 2021*

LUGAR : NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH – PERÚ

FECHA : MARZO 2021

TESISTAS : BACH. DÍAZ DÍAZ, YURIKO YOSSELYN BANET
BACH. ESTRADA SAAVEDRA JONATHAN FABIAN

ASESOR : ING. RIVASPLATA DÍAZ JULIO CÉSAR

MUESTRA : AGREGADO FINO DE LA CANTERA “LA SORPRESA”

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA - ESPECIALIDAD CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y TECNOLOGÍA DEL CONCRETO



PESO UNITARIO COMPACTADO (ASTM C-29 / NTP 400.017)

	DESCRIPCIÓN	M1	M2	M3	PROMEDIO
1	Peso del molde (gr)	1967.00	1967.00	1967.00	
2	Volumen del molde (cm^3)	2703.82	2703.82	2703.82	
3	Peso del molde + muestra compactada (gr)	6819.00	6852.00	6860.00	
4	Peso de la muestra compactada (gr)	4852.00	4885.00	4893.00	
5	Peso Unitario Compactado (Kg/m^3)	1794.50	1806.71	1809.66	1803.62

Fuente: *Elaboración propia, 2021*

LUGAR : NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH – PERÚ

FECHA : MARZO 2021

TESISTAS : BACH. DÍAZ DÍAZ, YURIKO YOSSELYN BANET
BACH. ESTRADA SAAVEDRA JONATHAN FABIAN

ASESOR : ING. RIVASPLATA DÍAZ JULIO CÉSAR

MUESTRA : AGREGADO GRUESO DE LA CANTERA “LA SORPRESA”

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA - ESPECIALIDAD CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y TECNOLOGÍA DEL CONCRETO



PESO UNITARIO SUELTO (ASTM C-29 / NTP 400.017)

	DESCRIPCIÓN	M1	M2	M3	PROMEDIO
1	Peso del molde (gr)	3561.00	3561.00	3561.00	
2	Volumen del molde (cm^3)	9031.23	9031.23	9031.23	
3	Peso del molde + muestra suelta (gr)	16129.00	16035.00	16175.00	
4	Peso de la muestra suelta (gr)	12568.00	12474.00	12614.00	
5	Peso Unitario Suelto (Kg/m^3)	1391.62	1381.21	1396.71	1389.84

Fuente: *Elaboración propia, 2021*

LUGAR : NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH – PERÚ

FECHA : MARZO 2021

TESISTAS : BACH. DÍAZ DÍAZ, YURIKO YOSSELYN BANET
BACH. ESTRADA SAAVEDRA JONATHAN FABIAN

ASESOR : ING. RIVASPLATA DÍAZ JULIO CÉSAR

MUESTRA : AGREGADO GRUESO DE LA CANTERA “LA SORPRESA”

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA - ESPECIALIDAD CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y TECNOLOGÍA DEL CONCRETO



PESO UNITARIO COMPACTADO (ASTM C-29 / NTP 400.017)

	DESCRIPCIÓN	M1	M2	M3	PROMEDIO
1	Peso del molde (gr)	3561.00	3561.00	3561.00	
2	Volumen del molde (cm^3)	9031.23	9031.23	9031.23	
3	Peso del molde + muestra compactada (gr)	17106.00	17200.00	17170.00	
4	Peso de la muestra compactada (gr)	13545.00	13639.00	13609.00	
5	Peso Unitario Compactado (Kg/m^3)	1499.80	1510.20	1506.88	1503.34

Fuente: *Elaboración propia, 2021*

LUGAR : NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH – PERÚ
FECHA : MARZO 2021
TESISTAS : BACH. DÍAZ DÍAZ, YURIKO YOSSELYN BANET
BACH. ESTRADA SAAVEDRA JONATHAN FABIAN
ASESOR : ING. RIVASPLATA DÍAZ JULIO CÉSAR
MUESTRA : AGREGADO FINO DE LA CANTERA “LA SORPRESA”

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA - ESPECIALIDAD CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y TECNOLOGÍA DEL CONCRETO



PESO ESPECÍFICO - ABSORCIÓN (ASTM C 127 / NTP 400.021)

1	S = Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	500.00
2	A = Peso de la muestra seca (gr)	495.22
3	B = Peso del picnómetro + agua (gr)	657.99
4	C = Peso del picnómetro + muestra saturada superficialmente seca + agua (gr)	972.78
5	Peso Específico Nominal (gr/cm^3)	2.74
6	Absorción (%)	0.97

Fuente: *Elaboración propia, 2021*

LUGAR : NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH – PERÚ
FECHA : MARZO 2021
TESISTAS : BACH. DÍAZ DÍAZ, YURIKO YOSSELYN BANET
BACH. ESTRADA SAAVEDRA JONATHAN FABIAN
ASESOR : ING. RIVASPLATA DÍAZ JULIO CÉSAR
MUESTRA : AGREGADO GRUESO DE LA CANTERA “LA SORPRESA”

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA - ESPECIALIDAD CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y TECNOLOGÍA DEL CONCRETO



<u>PESO ESPECÍFICO - ABSORCIÓN (ASTM C 127 / NTP 400.021)</u>		
1	A = Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	4108.00
2	B = Peso de la muestra seca (gr)	4090.00
3	C = Peso de la muestra sumergida (gr)	2602.60
4	Peso Específico Nominal (gr/cm^3)	2.75
5	Absorción (%)	0.44

Fuente: *Elaboración propia, 2021*

ANEXO 03

**DISEÑO DE
MEZCLA**

7.3. ANEXO 03 – Diseño de mezcla

Diseño de Mezcla $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ – Muestra Patrón

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA - ESPECIALIDAD CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y TECNOLOGÍA DEL CONCRETO



DISEÑO DE MEZCLAS USANDO EL MÉTODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI

Fecha de Diseño : 12/04/2021
Realizado por : DIAZ - ESTRADA
Revisado por : Laboratorio de Tecnología de Concreto - UNS

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES A USAR PARA LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO
Cantera de donde se extraen los materiales : LA SORPRESA

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO

Resistencia a la compresión especificada del Concreto ($f'c$) = 210 kg/cm^2
Desviación estándar de antiguos ensayos realizados en esta Cantera (σ) = 84 kg/cm^2
Resistencia promedio a la compresión del Concreto ($f'cr$) = 294 kg/cm^2

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

AGREGADO FINO

Peso específico de masa : 2.74
Absorción (%) : 0.97
Contenido de Humedad (%) : 0.54
Módulo de finura : 2.80
Peso seco compactado (kg/m^3) : 1803.62

AGREGADO GRUESO

Tamaño máximo nominal (Pulg.) : 3/4"
Peso seco compactado (kg/m^3) : 1503.34
Peso específico de masa : 2.75
Absorción (%) : 0.44
Contenido de Humedad (%) : 0.34

CEMENTO

Tipo de Cemento : ASTM Tipo MS
Portland a usar : "Pacasmayo"
Peso Específico : 3.04

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA - ESPECIALIDAD CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y TECNOLOGÍA DEL CONCRETO



Fecha de Diseño : 12/04/2021
Realizado por : DIAZ - ESTRADA
Revisado por : Laboratorio de Tecnología de Concreto - UNS

DISEÑO DE MEZCLA

Selección del Asentamiento :		Tipo de consistencia :	Plástica
Tipo de Concreto a diseñar :		Asentamiento :	3 " a 4 "
Volumen unitario de Agua :			Concreto sin aire incorporado
Contenido de aire atrapado :			205.00 lt / m ³
Relación Agua / Cemento :			2.00 %
Factor cemento :	Factor Cemento =		0.56
	Factor Cemento =		367.38 kg / m ³
	Agregado Grueso Seco Compactado por Unidad		8.64 Bolsas / m ³
Contenido de Agregado Grueso	de Volumen del Concreto :		0.62 m ³
	Peso del Agregado Grueso :		932.070 kg / m ³
	Cemento :		0.121 m ³
	Agua :		0.205 m ³
	Aire :		0.020 m ³
	Agregado Grueso :		0.339 m ³
	Suma de Volúmenes :		0.685 m ³
	Volumen Absoluto de Agregado Fino :		0.315 m ³
	Peso del Agregado Fino seco :		865 kg / m ³
	Cemento :		367.38 kg / m ³
	Agua de diseño :		205.00 lt / m ³
	Agregado Fino seco :		865.00 kg / m ³
	Agregado Grueso seco :		932.00 kg / m ³
	Cemento :		42.50 kg / saco
	Agua de diseño :		23.72 lt / saco
	Agregado Fino seco :		100.07 kg / saco
	Agregado Grueso seco :		107.82 kg / saco
	Cemento :		1
	Agregado fino seco :		2.35
	Agregado grueso seco :		2.54
	Agua de Diseño :		23.7 lt / saco

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA - ESPECIALIDAD CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y TECNOLOGÍA DEL CONCRETO



CORRECCIÓN POR HUMEDAD USANDO EL MÉTODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI

Fecha de Diseño : 12/04/2021
Realizado por : DIAZ - ESTRADA
Revisado por : Laboratorio de Tecnología de Concreto - UNS

CORRECCIÓN POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS DE LOS VALORES DE DISEÑO

Cantera de donde se extraen los materiales	:	LA SORPRESA		
Contenido de Humedad de los Agregados	:	Agregado Fino	:	0.54 %
	:	Agregado Grueso	:	0.34 %
Peso Húmedo de los Agregados	:	Agregado Fino	:	869.67 kg / m ³
	:	Agregado Grueso	:	935.13 kg / m ³
Humedad Superficial de los Agregados	:	Agregado Fino	:	-0.43 %
	:	Agregado Grueso	:	-0.10 %
Aporte de Humedad de los Agregados	:	Agregado Fino	:	-3.68 lt / m ³
	:	Agregado Grueso	:	-0.97 lt / m ³
	:	Aporte Total	:	-4.65 lt / m ³
Agua Efectiva	:	Agua Efectiva	:	209.65 lt / m ³
Relación Agua / Cemento de Diseño	:			0.5580
Peso de los materiales corregidos por humedad a ser empleados en las mezclas de prueba por m ³	:	Cemento	:	367.38 kg / m ³
	:	Agua Efectiva	:	209.65 lt / m ³
	:	Agregado Fino Húmedo	:	869.67 kg / m ³
	:	Agregado Grueso Húmedo	:	935.13 kg / m ³
Relación Agua / Cemento Efectiva	:			0.5707
Cantidad de materiales corregidos por humedad que se necesitan en una tanda de un saco de Cemento	:	Cemento	:	42.5 kg / saco
	:	Agua Efectiva	:	24.3 lt / saco
	:	Agregado fino húmedo	:	100.6 kg / saco
	:	Agregado grueso húmedo	:	108.2 kg / saco
Proporción en peso de los materiales corregidos por humedad del Agregado	:	Cemento	:	1
	:	Agregado fino húmedo	:	2.37
	:	Agregado grueso húmedo	:	2.55
	:	Agua Efectiva	:	24.3 lt / saco

**Diseño de Mezcla $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 - 0.3\%$ Sustitución parcial de Nanosílice por
Cemento Portland Tipo MS**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA - ESPECIALIDAD CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y TECNOLOGÍA DEL CONCRETO



DISEÑO DE MEZCLAS USANDO EL MÉTODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI

Fecha de Diseño : 12/04/2021

Realizado por : DIAZ - ESTRADA

Revisado por : Laboratorio de Tecnología de Concreto - UNS

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES A USAR PARA LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO

Cantera de donde se extraen los materiales :

LA SORPRESA

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO

Resistencia a la compresión especificada del Concreto ($f'c$) = 210 kg/cm^2

Desviación estándar de antiguos ensayos realizados en esta Cantera (σ) = 84 kg/cm^2

Resistencia promedio a la compresión del Concreto ($f'cr$) = 294 kg/cm^2

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

AGREGADO FINO

Peso específico de masa : 2.74
Absorción (%) : 0.97
Contenido de Humedad (%) : 0.54
Módulo de finura : 2.80
Peso seco compactado (kg/m^3) : 1803.62

AGREGADO GRUESO

Tamaño máximo nominal (Pulg.) : 3/4"
Peso seco compactado (kg/m^3) : 1503.34
Peso específico de masa : 2.75
Absorción (%) : 0.44
Contenido de Humedad (%) : 0.34

CEMENTO

Tipo de Cemento : ASTM Tipo MS
Portland a usar : "Pacasmayo"
Peso Específico : 3.04

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA - ESPECIALIDAD CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y TECNOLOGÍA DEL CONCRETO



Fecha de Diseño : 12/04/2021
Realizado por : DIAZ - ESTRADA
Revisado por : Laboratorio de Tecnología de Concreto - UNS

DISEÑO DE MEZCLA

Selección del Asentamiento :	Tipo de consistencia :	Plástica
	Asentamiento :	3 " a 4 "
Tipo de Concreto a diseñar :	Concreto sin aire incorporado	
Volumen unitario de Agua :	205.00	lt / m ³
Contenido de aire atrapado :	2.00	%
Relación Agua / Cemento :	0.56	
Factor cemento :	Factor Cemento =	367.38 kg / m ³
	Factor Cemento =	8.64 Bolsas / m ³
Contenido de Agregado Grueso	Agregado Grueso Seco Compactado por Unidad de Volumen del Concreto :	0.62 m ³
	Peso del Agregado Grueso :	932.070 kg / m ³
	Cemento :	0.121 m ³
	Agua :	0.205 m ³
Cálculo de los Volúmenes Absolutos de los materiales	Aire :	0.020 m ³
	Agregado Grueso :	0.339 m ³
	Nanosílice :	0.003 m ³
	Suma de Volúmenes :	0.688 m ³
Contenido de Agregado Fino	Volumen Absoluto de Agregado Fino :	0.312 m ³
	Peso del Agregado Fino seco :	857 kg / m ³
	Cemento :	366.28 kg / m ³
Cantidad de materiales a ser empleados como valores de diseño por m ³	Agua de diseño :	205.00 lt / m ³
	Agregado Fino seco :	857.00 kg / m ³
	Nanosílice :	1.10 kg / m ³
	Agregado Grueso seco :	932.00 kg / m ³
	Cemento :	42.50 kg / saco
Cantidad de materiales en peso seco que se necesitan en una tanda de un saco de Cemento	Agua de diseño :	23.79 lt / saco
	Agregado Fino seco :	99.44 kg / saco
	Nanosílice :	0.13 kg / saco
	Agregado Grueso seco :	108.14 kg / saco
Proporción en peso de los materiales sin ser corregido por Humedad del Agregado	Cemento :	1
	Agregado fino seco :	2.34
	Agregado grueso seco :	2.54
	Nanosílice :	0.003
	Agua de Diseño :	23.8 lt / saco

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA - ESPECIALIDAD CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y TECNOLOGÍA DEL CONCRETO



CORRECCIÓN POR HUMEDAD USANDO EL MÉTODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI

Fecha de Diseño : 12/04/2021
Realizado por : DIAZ - ESTRADA
Revisado por : Laboratorio de Tecnología de Concreto - UNS

CORRECCIÓN POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS DE LOS VALORES DE DISEÑO

Cantera de donde se extraen los materiales :	LA SORPRESA		
Contenido de Humedad de los Agregados :	Agregado Fino :	0.54	%
	Agregado Grueso :	0.34	%
Peso Húmedo de los Agregados :	Agregado Fino :	861.62	kg / m ³
	Agregado Grueso :	935.13	kg / m ³
Humedad Superficial de los Agregados :	Agregado Fino :	-0.43	%
	Agregado Grueso :	-0.10	%
Aporte de Humedad de los Agregados :	Agregado Fino :	-3.65	lt / m ³
	Agregado Grueso :	-0.97	lt / m ³
	Aporte Total :	-4.62	lt / m ³
Agua Efectiva :	Agua Efectiva :	209.62	lt / m ³
Relación Agua / Cemento de Diseño :		0.5597	
Peso de los materiales corregidos por humedad a ser empleados en las mezclas de prueba por m ³ :	Cemento :	366.28	kg / m ³
	Agua Efectiva :	209.62	lt / m ³
	Agregado Fino Húmedo :	861.62	kg / m ³
	Nanosílice :	1.10	kg / m ³
Relación Agua / Cemento Efectiva :	Agregado Grueso Húmedo :	935.13	kg / m ³
		0.5723	
Cantidad de materiales corregidos por humedad que se necesitan en una tanda de un saco de Cemento :	Cemento :	42.5	kg / saco
	Agua Efectiva :	24.3	lt / saco
	Agregado fino húmedo :	100.0	kg / saco
	Nanosílice :	0.13	Kg / saco
Proporción en peso de los materiales corregidos por humedad del Agregado :	Agregado grueso húmedo :	108.5	kg / saco
	Cemento :	1	
	Agregado fino húmedo :	2.35	
	Agregado grueso húmedo :	2.55	
	Nanosílice :	0.003	
	Agua Efectiva :	24.3	lt / saco

**Diseño de Mezcla $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2 - 0.8\%$ Sustitución parcial de Nanosílice por
Cemento Portland Tipo MS**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA - ESPECIALIDAD CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y TECNOLOGÍA DEL CONCRETO



DISEÑO DE MEZCLAS USANDO EL MÉTODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI

Fecha de Diseño : 12/04/2021

Realizado por : DIAZ - ESTRADA

Revisado por : Laboratorio de Tecnología de Concreto - UNS

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES A USAR PARA LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO

Cantera de donde se extraen los materiales :

LA SORPRESA

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO

Resistencia a la compresión especificada del Concreto ($f'c$) = 210 kg/cm^2

Desviación estándar de antiguos ensayos realizados en esta Cantera (σ) = 84 kg/cm^2

Resistencia promedio a la compresión del Concreto ($f'cr$) = 294 kg/cm^2

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

AGREGADO FINO

Peso específico de masa : 2.74

Absorción (%) : 0.97

Contenido de Humedad (%) : 0.54

Módulo de finura : 2.80

Peso seco compactado (kg/m^3) : 1803.62

AGREGADO GRUESO

Tamaño máximo nominal (Pulg.) : 3/4"

Peso seco compactado (kg/m^3) : 1503.34

Peso específico de masa : 2.75

Absorción (%) : 0.44

Contenido de Humedad (%) : 0.34

CEMENTO

Tipo de Cemento : ASTM Tipo
Portland a usar : MS
"Pacasmayo"

Peso Específico : 3.04

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA - ESPECIALIDAD CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y TECNOLOGÍA DEL CONCRETO



Fecha de Diseño : 12/04/2021
Realizado por : DIAZ - ESTRADA
Revisado por : Laboratorio de Tecnología de Concreto - UNS

DISEÑO DE MEZCLA

Selección del Asentamiento :	Tipo de consistencia :	Plástica
	Asentamiento :	3 " a 4 "
Tipo de Concreto a diseñar :	Concreto sin aire incorporado	
Volumen unitario de Agua :	205.00	lt / m ³
Contenido de aire atrapado :	2.00	%
Relación Agua / Cemento :	0.56	
Factor cemento :	Factor Cemento =	367.38 kg / m ³
	Factor Cemento =	8.64 Bolsas / m ³
Contenido de Agregado Grueso	Agregado Grueso Seco Compactado por Unidad de Volumen del Concreto :	0.62 m ³
	Peso del Agregado Grueso :	932.070 kg / m ³
Cálculo de los Volúmenes Absolutos de los materiales	Cemento :	0.121 m ³
	Agua :	0.205 m ³
	Aire :	0.020 m ³
	Agregado Grueso :	0.339 m ³
	Nanosílice :	0.008 m ³
	Suma de Volúmenes :	0.693 m ³
Contenido de Agregado Fino	Volumen Absoluto de Agregado Fino :	0.307 m ³
	Peso del Agregado Fino seco :	843 kg / m ³
Cantidad de materiales a ser empleados como valores de diseño por m ³	Cemento :	364.44 kg / m ³
	Agua de diseño :	205.00 lt / m ³
	Agregado Fino seco :	843.00 kg / m ³
	Nanosílice :	2.94 kg / m ³
	Agregado Grueso seco :	932.00 kg / m ³
	Cemento :	42.50 kg / saco
Cantidad de materiales en peso seco que se necesitan en una tanda de un saco de Cemento	Agua de diseño :	23.91 lt / saco
	Agregado Fino seco :	98.31 kg / saco
	Nanosílice :	0.34 kg / saco
	Agregado Grueso seco :	108.69 kg / saco
Proporción en peso de los materiales sin ser corregido por Humedad del Agregado	Cemento :	1
	Agregado fino seco :	2.31
	Agregado grueso seco :	2.56
	Nanosílice :	0.008
	Agua de Diseño :	23.9 lt / saco

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA - ESPECIALIDAD CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y TECNOLOGÍA DEL CONCRETO



CORRECCIÓN POR HUMEDAD USANDO EL MÉTODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI

Fecha de Diseño : 12/04/2021
Realizado por : DIAZ - ESTRADA
Revisado por : Laboratorio de Tecnología de Concreto - UNS

CORRECCIÓN POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS DE LOS VALORES DE DISEÑO

Cantera de donde se extraen los materiales	:	LA SORPRESA		
Contenido de Humedad de los Agregados	:	Agregado Fino	: 0.54	%
	:	Agregado Grueso	: 0.34	%
Peso Húmedo de los Agregados	:	Agregado Fino	: 847.55	kg / m ³
	:	Agregado Grueso	: 935.13	kg / m ³
Humedad Superficial de los Agregados	:	Agregado Fino	: -0.43	%
	:	Agregado Grueso	: -0.10	%
Aporte de Humedad de los Agregados	:	Agregado Fino	: -3.59	lt / m ³
	:	Agregado Grueso	: -0.97	lt / m ³
Agua Efectiva	:	Aporte Total	: -4.56	lt / m ³
	:	Agua Efectiva	: 209.56	lt / m ³
Relación Agua / Cemento de Diseño	:		0.5625	
Peso de los materiales corregidos por humedad a ser empleados en las mezclas de prueba por m ³	:	Cemento	: 364.44	kg / m ³
	:	Agua Efectiva	: 209.56	lt / m ³
	:	Agregado Fino Húmedo	: 847.55	kg / m ³
	:	Nanosílice	: 2.94	kg / m ³
Relación Agua / Cemento Efectiva	:	Agregado Grueso Húmedo	: 935.13	kg / m ³
	:		0.5750	
Cantidad de materiales corregidos por humedad que se necesitan en una tanda de un saco de Cemento	:	Cemento	: 42.5	kg / saco
	:	Agua Efectiva	: 24.4	lt / saco
	:	Agregado fino húmedo	: 98.8	kg / saco
	:	Nanosílice	: 0.34	kg / saco
Proporción en peso de los materiales corregidos por humedad del Agregado	:	Agregado grueso húmedo	: 109.1	kg / saco
	:	Cemento	: 1	
	:	Agregado fino húmedo	: 2.33	
	:	Agregado grueso húmedo	: 2.57	
	:	Nanosílice	: 0.008	
	:	Agua Efectiva	: 24.4	lt / saco

**Diseño de Mezcla $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 - 1.3\%$ Sustitución parcial de Nanosílice por
Cemento Portland Tipo MS**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA - ESPECIALIDAD CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y TECNOLOGÍA DEL CONCRETO



DISEÑO DE MEZCLAS USANDO EL MÉTODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI

Fecha de Diseño : 12/04/2021
Realizado por : DIAZ - ESTRADA
Revisado por : Laboratorio de Tecnología de Concreto - UNS

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES A USAR PARA LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO

Cantera de donde se extraen los materiales : **LA SORPRESA**

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO

Resistencia a la compresión especificada del Concreto	($f'c$) =	210	kg/cm^2
Desviación estándar de antiguos ensayos realizados en esta Cantera (σ)	=	84	kg/cm^2
Resistencia promedio a la compresión del Concreto	($f'cr$) =	294	kg/cm^2

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

AGREGADO FINO

Peso específico de masa	:	2.74
Absorción (%)	:	0.97
Contenido de Humedad (%)	:	0.54
Módulo de finura	:	2.80
Peso seco compactado (kg/m^3):		1803.62

AGREGADO GRUESO

Tamaño máximo nominal (Pulg.)	:	3/4"
Peso seco compactado (kg/m^3)	:	1503.34
Peso específico de masa	:	2.75
Absorción (%)	:	0.44
Contenido de Humedad (%)	:	0.34

CEMENTO

Tipo de Cemento		ASTM Tipo
Portland a usar	:	MS
		"Pacasmayo"
Peso Específico	:	3.04

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA - ESPECIALIDAD CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y TECNOLOGÍA DEL CONCRETO



Fecha de Diseño : 12/04/2021
Realizado por : DIAZ - ESTRADA
Revisado por : Laboratorio de Tecnología de Concreto - UNS

DISEÑO DE MEZCLA

Selección del Asentamiento :	Tipo de consistencia :	Plástica
	Asentamiento :	3 " a 4 "
Tipo de Concreto a diseñar :	Concreto sin aire incorporado	
Volumen unitario de Agua :	205.00	lt / m ³
Contenido de aire atrapado :	2.00	%
Relación Agua / Cemento :	0.56	
Factor cemento :	Factor Cemento =	367.38 kg / m ³
	Factor Cemento =	8.64 Bolsas / m ³
Contenido de Agregado Grueso	Agregado Grueso Seco Compactado por Unidad de Volumen del Concreto :	0.62 m ³
	Peso del Agregado Grueso :	932.070 kg / m ³
	Cemento :	0.121 m ³
	Agua :	0.205 m ³
Cálculo de los Volúmenes Absolutos de los materiales	Aire :	0.020 m ³
	Agregado Grueso :	0.339 m ³
	Nanosílice :	0.013 m ³
	Suma de Volúmenes :	0.698 m ³
	Volumen Absoluto de Agregado Fino :	0.302 m ³
Contenido de Agregado Fino	Peso del Agregado Fino seco :	829 kg / m ³
	Cemento :	362.61 kg / m ³
Cantidad de materiales a ser empleados como valores de diseño por m ³	Agua de diseño :	205.00 lt / m ³
	Agregado Fino seco :	829.00 kg / m ³
	Nanosílice :	4.78 kg / m ³
	Agregado Grueso seco :	932.00 kg / m ³
	Cemento :	42.50 kg / saco
Cantidad de materiales en peso seco que se necesitan en una tanda de un saco de Cemento	Agua de diseño :	24.03 lt / saco
	Agregado Fino seco :	97.16 kg / saco
	Nanosílice :	0.56 kg / saco
	Agregado Grueso seco :	109.24 kg / saco
Proporción en peso de los materiales sin ser corregidos por Humedad del Agregado	Cemento :	1
	Agregado fino seco :	2.29
	Agregado grueso seco :	2.57
	Nanosílice :	0.013
	Agua de Diseño :	24.0 lt / saco

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA - ESPECIALIDAD CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y TECNOLOGÍA DEL CONCRETO



CORRECCIÓN POR HUMEDAD USANDO EL MÉTODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI

Fecha de Diseño : 12/04/2021
Realizado por : DIAZ - ESTRADA
Revisado por : Laboratorio de Tecnología de Concreto - UNS

CORRECCIÓN POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS DE LOS VALORES DE DISEÑO

Cantera de donde se extraen los materiales	:	LA SORPRESA		
Contenido de Humedad de los Agregados	:	Agregado Fino	:	0.54 %
	:	Agregado Grueso	:	0.34 %
Peso Húmedo de los Agregados	:	Agregado Fino	:	833.47 kg / m ³
	:	Agregado Grueso	:	935.13 kg / m ³
Humedad Superficial de los Agregados	:	Agregado Fino	:	-0.43 %
	:	Agregado Grueso	:	-0.10 %
Aporte de Humedad de los Agregados	:	Agregado Fino	:	-3.53 lt / m ³
	:	Agregado Grueso	:	-0.97 lt / m ³
	:	Aporte Total	:	-4.50 lt / m ³
Agua Efectiva	:	Agua Efectiva	:	209.50 lt / m ³
Relación Agua / Cemento de Diseño	:			0.5653
Peso de los materiales corregidos por humedad a ser empleados en las mezclas de prueba por m ³	:	Cemento	:	362.61 kg / m ³
	:	Agua Efectiva	:	209.50 lt / m ³
	:	Agregado Fino Húmedo	:	833.47 kg / m ³
	:	Nanosílice	:	4.78 kg / m ³
Relación Agua / Cemento Efectiva	:	Agregado Grueso Húmedo	:	935.13 kg / m ³
	:			0.5778
Cantidad de materiales corregidos por humedad que se necesitan en una tanda de un saco de Cemento	:	Cemento	:	42.5 kg / saco
	:	Agua Efectiva	:	24.6 lt / saco
	:	Agregado fino húmedo	:	97.7 kg / saco
	:	Nanosílice	:	0.56 kg / saco
	:	Agregado grueso húmedo	:	109.6 kg / saco
Proporción en peso de los materiales corregidos por humedad del Agregado	:	Cemento	:	1
	:	Agregado fino húmedo	:	2.30
	:	Agregado grueso húmedo	:	2.58
	:	Nanosílice	:	0.013
	:	Agua Efectiva	:	24.6 lt / saco

Diseño de Mezcla – Porcentaje óptimo de Nanosílice

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA - ESPECIALIDAD CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y TECNOLOGÍA DEL CONCRETO



DISEÑO DE MEZCLAS USANDO EL MÉTODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI

Fecha de Diseño : 26/05/2021
Realizado por : DIAZ - ESTRADA
Revisado por : Laboratorio de Tecnología de Concreto - UNS

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES A USAR PARA LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO

Cantera de donde se extraen los materiales :

LA SORPRESA

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO

Resistencia a la compresión especificada del Concreto	($f'c$) =	210	kg / cm^2
Desviación estándar de antiguos ensayos realizados en esta Cantera (σ)	=	84	kg / cm^2
Resistencia promedio a la compresión del Concreto	($f'cr$) =	294	kg / cm^2

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

AGREGADO FINO

Peso específico de masa	:	2.74
Absorción (%)	:	0.97
Contenido de Humedad (%)	:	0.54
Módulo de finura	:	2.80
Peso seco compactado (kg / m^3)	:	1803.62

AGREGADO GRUESO

Tamaño máximo nominal (Pulg.)	:	3/4
Peso seco compactado (kg / m^3)	:	1503.34
Peso específico de masa	:	2.75
Absorción (%)	:	0.44
Contenido de Humedad (%)	:	0.34

CEMENTO

Tipo de Cemento Portland a usar	:	ASTM Tipo MS "Pacasmayo"
Peso Específico	:	3.04

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA - ESPECIALIDAD CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y TECNOLOGÍA DEL CONCRETO



Fecha de Diseño : 26/05/2021
Realizado por : DIAZ - ESTRADA
Revisado por : Laboratorio de Tecnología de Concreto - UNS

DISEÑO DE MEZCLA

Selección del Asentamiento :	Tipo de consistencia :	Plástica
	Asentamiento :	3 " a 4 "
Tipo de Concreto a diseñar :	Concreto sin aire incorporado	
Volumen unitario de Agua :	205.00	lt / m ³
Contenido de aire atrapado :	2.00	%
Relación Agua / Cemento :	0.56	
Factor cemento :	Factor Cemento =	367.38 kg / m ³
	Factor Cemento =	8.64 Bolsas / m ³
Contenido de Agregado Grueso	Agregado Grueso Seco Compactado por Unidad de Volumen del Concreto :	0.62 m ³
	Peso del Agregado Grueso :	932.070 kg / m ³
	Cemento :	0.121 m ³
	Agua :	0.205 m ³
Cálculo de los Volúmenes Absolutos de los materiales	Aire :	0.020 m ³
	Agregado Grueso :	0.339 m ³
	Nanosílice :	0.008 m ³
	Suma de Volúmenes :	0.693 m ³
Contenido de Agregado Fino	Volumen Absoluto de Agregado Fino :	0.307 m ³
	Peso del Agregado Fino seco :	843 kg / m ³
	Cemento :	364.44 kg / m ³
Cantidad de materiales a ser empleados como valores de diseño por m ³	Agua de diseño :	205.00 lt / m ³
	Agregado Fino seco :	843.00 kg / m ³
	Nanosílice :	2.94 kg / m ³
	Agregado Grueso seco :	932.00 kg / m ³
	Cemento :	42.50 kg / saco
Cantidad de materiales en peso seco que se necesitan en una tanda de un saco de Cemento	Agua de diseño :	23.91 lt / saco
	Agregado Fino seco :	98.31 kg / saco
	Nanosílice :	0.34 kg / saco
	Agregado Grueso seco :	108.69 kg / saco
	Cemento :	1
Proporción en peso de los materiales sin ser corregidos por Humedad del Agregado	Agregado fino seco :	2.31
	Agregado grueso seco :	2.56
	Nanosílice :	0.008
	Agua de Diseño :	23.9 lt / saco

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA - ESPECIALIDAD CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y TECNOLOGÍA DEL CONCRETO



CORRECCIÓN POR HUMEDAD USANDO EL MÉTODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI

Fecha de Diseño : 26/05/2021
Realizado por : DIAZ - ESTRADA
Revisado por : Laboratorio de Tecnología de Concreto - UNS

CORRECCIÓN POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS DE LOS VALORES DE DISEÑO

Cantera de donde se extraen los materiales	:	LA SORPRESA		
Contenido de Humedad de los Agregados	:	Agregado Fino	: 0.54	%
	:	Agregado Grueso	: 0.34	%
Peso Húmedo de los Agregados	:	Agregado Fino	: 847.55	kg / m ³
	:	Agregado Grueso	: 935.13	kg / m ³
Humedad Superficial de los Agregados	:	Agregado Fino	: -0.43	%
	:	Agregado Grueso	: -0.10	%
Aporte de Humedad de los Agregados	:	Agregado Fino	: -3.59	lt / m ³
	:	Agregado Grueso	: -0.97	lt / m ³
	:	Aporte Total	: -4.56	lt / m ³
Agua Efectiva	:	Agua Efectiva	: 209.56	lt / m ³
Relación Agua / Cemento de Diseño	:		0.5625	
Peso de los materiales corregidos por humedad a ser empleados en las mezclas de prueba por m ³	:	Cemento	: 364.44	kg / m ³
	:	Agua Efectiva	: 209.56	lt / m ³
	:	Agregado Fino Húmedo	: 847.55	kg / m ³
	:	Nanosílice	: 2.94	kg / m ³
	:	Agregado Grueso Húmedo	: 935.13	kg / m ³
Relación Agua / Cemento Efectiva	:		0.5750	
Cantidad de materiales corregidos por humedad que se necesitan en una tanda de un saco de Cemento	:	Cemento	: 42.5	kg / saco
	:	Agua Efectiva	: 24.4	lt / saco
	:	Agregado fino húmedo	: 98.8	kg / saco
	:	Nanosílice	: 0.34	kg / saco
	:	Agregado grueso húmedo	: 109.1	kg / saco

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA - ESPECIALIDAD CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y TECNOLOGÍA DEL CONCRETO



Fecha de Diseño : 26/05/2021
Realizado por : DIAZ - ESTRADA
Revisado por : Laboratorio de Tecnología de Concreto - UNS

Reducción de agua por Nanosílice (Superplastificante)	Cemento	:	364.44	kg / m ³
	Agua Efectiva	:	197.50	lt / m ³
	Agregado fino húmedo	:	847.55	kg / m ³
	Nanosílice	:	2.94	kg / m ³
	Agregado grueso húmedo	:	935.13	kg / m ³
Cantidad de materiales corregidos por Nanosílice que se necesitan en una tanda de un saco de Cemento	Cemento	:	42.5	kg / saco
	Agua Efectiva	:	23.0	lt / saco
	Agregado fino húmedo	:	98.8	kg / saco
	Nanosílice	:	0.34	kg / saco
	Agregado grueso húmedo	:	109.1	kg / saco
Proporción en peso de los materiales corregidos por Humedad del Agregado	Cemento	:	1	
	Agregado fino húmedo	:	2.33	
	Agregado grueso húmedo	:	2.57	
	Nanosílice	:	0.008	
	Agua Efectiva	:	23.0	lt / saco
Relación Agua / Cemento Efectiva (Nanosílice) :	A/C	:	0.5419	

ANEXO 04

**FICHA TÉCNICA
DEL NANOSÍLICE**



GAIA Microsílice

Adicionante de cemento para concretos
De altas prestaciones

Fecha de Emisión: Mar 10, 05
Revisión: 13
Fecha de Revisión: Abr 15, 19
Página: 1 de 1

Industrias Ulmen S.A. Aditivos para concreto

Descripción

GAIA Microsílice es un primer Adicionante base nanosílice generado durante 2004 por la sinergia Scitech Cognoscible/Ulmen

Pertenece a la línea GAIA NANOSÍLICE, donde las reacciones químicas en el hormigón convierten las nanopartículas de sílice en nanopartículas de cemento

Aspectos Técnicos

GAIA Nanosilice elimina el total de la sílice en polvo en cualquiera de sus alternativas, y también los superplastificantes, reduciendo al mínimo los reductores plastificantes.

Con GAIA Microsílice se obtiene concretos de alto rendimiento: 70 MPa a R28

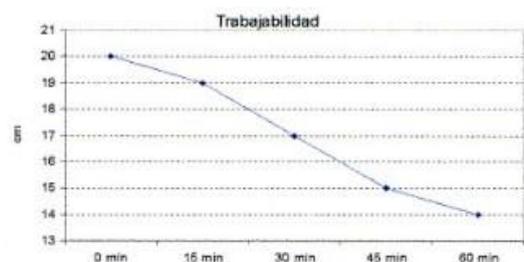
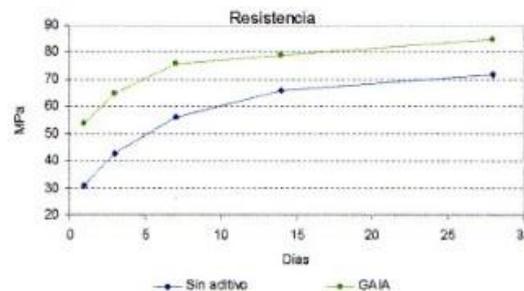
Ideal para concretos tipo "Fast Track", a usar dentro de las 24 horas posteriores al vaciado, con adecuadas dosificaciones, que permiten obtener hormigones impermeables según norma DIN 1048 o Nch 2262

Propiedades

Consecuencia de la menor actividad operacional, menor flujo de material con la consiguiente reducción de inventario, y ----- es líquido, amigable con el medio ambiente y la salud de los trabajadores.

Duración

6 meses almacenado en lugar fresco y protegido del sol, recomendado por nuestro Sistema de Control de Calidad, certificado bajo ISO 9001



Dosis

Recomendamos dosis de acuerdo a los concretos a elaborar. Lo ideal es contactar el servicio técnico ULMEN para optimizar su uso.

Presentación

En cilindro plástico de 220 kg
En dispenser retornable de 1100 kg

Propiedades físicas

Apariencia : Líquido
Color : Café Claro
Densidad : $1,03 \pm 0,02$ g/mL
Sólidos : $15 \pm 1,8$

Clasificación

GAIA Microsilice se clasifica como aditivo tipo F según ASTM C494

Cooperativa las Vertientes, Calle 4, Mz C-1 Sub Lt 2-F Villa El Salvador – Lima
Teléfonos (01) 719-4126 / 719-4127

ANEXO 05

**CERTIFICADO DE
CALIDAD DEL
NANOSÍLICE**



Fabricación y Comercialización de Aditivos para Concretos y Morteros

CERTIFICADO DE CALIDAD

El departamento técnico de Industrias Ulmen S.A. Certifica que el producto que se indica cumple los requisitos de uniformidad indicados en la norma NTP 334.088, y con nuestros estándares de calidad.

Producto : GAIA Microsilice
Lote : 5830319
Fabricado : 04/01/2021
Vence : 04/07/2021

Los parámetros controlados se muestran a continuación

ENSAYO	ESPECIFICACIÓN	RESULTADO
Densidad	1,03 ± 0,02 (g/ml)	1,035
Sólidos	15 ± 1,8 (%)	14,6
Color	Café Claro	Cumple

El presente aditivo tiene una vida útil de 6 meses almacenado en lugar fresco y protegido del sol, recomendado por nuestro Sistema de Control de Calidad, certificado bajo ISO 9001:2015

Alfredo Marín Tovar
Encargado de Control de Calidad
Industrias Ulmen S.A.

ANEXO 06

**HOJA DE DATOS
DE SEGURIDAD
DEL NANOSÍLICE**



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Fecha de Emisión: Sep 18, 15
Revisión: 1
Fecha de Revisión: Abr 15, 19
Página 1 de 3

SECCION 1: IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA EMPRESA

Nombre del producto : **GAIA Microsilice**
Uso recomendado : Aditivo para hormigón
Proveedor : INDUSTRIAS ULMEN S.A.
Dirección : Cooperativa las Vertientes, Calle 4, Mz C-1 Sub Lt 2-F Villa El Salvador – Lima
Teléfono : +51 1 719 4126
Teléfono Emergencia : +51 1 719 4127
Dirección electrónica : www.ulmen.cl / atencionalcliente@ulmen.cl

SECCION 2: IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

Clasificación según NCh 382 : No aplica / No peligroso
Distintivo según NCh 2190 : No posee / No peligroso
Clasificación según SGA (GHS) : Lesiones oculares H319 / Irritación cutánea H315

Etiqueta SGA: No tiene

Señal de seguridad según NCh 1411/4



Clasificación específica : Mezcla de azúcares y naftalenos
Distintivo específico : No posee
Descripción de peligros :
Inhalación : Puede causar irritación de fosas nasales.
Ingestión : Nauseas, vómito, diarrea
Contacto piel : Puede causar irritación
Contacto ocular : Irritación con posibles lesiones
Descripción de peligros específicos : No posee peligros específicos
Otros peligros : No posee

SECCION 3: COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES

Componentes peligrosos de la mezcla

	Componente 1	Componente 2	Componente 3
Denominación química			
Nombre común			
Rango de concentración			
Número CAS			

SECCION 4: PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación : Dar aire fresco si fuese necesario
Contacto con la piel : Lavar de inmediato con agua y jabón
Contacto con los ojos : Lavar con abundante agua durante 15 min. Referir al médico
Ingestión : Enjuagar boca con agua tibia. Referir al médico

SECCION 5: MEDIDAS PARA LUCHA CONTRA INCENDIOS

Agentes de extinción : No inflamable ni combustible. Actuar según tipo de fuego existente alrededor
Agentes inapropiados : No aplica
Productos de la combustión : No aplica
Peligros específicos asociados : No aplica
Métodos específicos de extinción : No aplica
Precauciones para bomberos : Debe utilizar equipo completo de protección y de respiración autónoma.



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Fecha de Emisión: Sep 18, 15
Revisión: 1
Fecha de Revisión: Abr 15, 19
Página 2 de 3

SECCION 6: MEDIDAS PARA CONTROLAR DERRAMES O FUGAS

Precauciones personales	:	Utilizar el equipo adecuado de EPP.
Equipo de protección personal	:	Guantes de goma, antiparras, zapatos de seguridad.
Procedimientos de emergencia	:	Recoger usando arena y almacenar en contenedores plásticos
Precauciones medioambientales	:	Evitar que se evacue al alcantarillado
Métodos y materiales de contención	:	Contener usando arena
Métodos y materiales de limpieza	:	Recoger usando arena y almacenar en contenedores plásticos
Recuperación	:	El material no puede ser recuperado al producirse derrames al suelo
Neutralización	:	No aplica
Disposición final	:	Se debe retirar y disponer según normativa vigente. DS N°148 y DS N°594
Medidas adicionales de prevención	:	Ninguna adicional

SECCION 7: MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Precauciones para manipulación	:	Evitar contacto con los ojos, piel e ingestión
Medidas operacionales	:	Utilizar el equipo adecuado (antiparras, guantes de goma, zapatos de seguridad)
Otras precauciones	:	Material solo utilizable por personal calificado del área de construcción.
Prevención del contacto	:	No aplica
Condiciones para almacenamiento	:	Evitar exposición directa al sol
Medidas técnicas	:	Mantener en envases originales cerrados y en lugar ventilado.
Sustancias y mezclas incompatibles	:	No aplica
Material de envases	:	Se debe retirar y disponer según normativa vigente. DS N°148 y DS N°594

SECCION 8: CONTROL DE EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN ESPECIAL

Concentración máxima permisible	:	No aplica
Protección respiratoria	:	No requiere
Protección para las manos	:	Guantes de goma, acrílo-nitrilo o PVC
Protección para los ojos	:	Antiparras
Protección de piel y cuerpo	:	Ropa de trabajo
Medidas de ingeniería	:	Proveer ventilación local o mecánica para evitar concentración de vapores

SECCION 9: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Estado físico	:	Líquido
Color	:	Café Claro
Olor	:	Característico
Densidad	:	1,03 ± 0,02
Sólidos	:	15 ± 1,8
Temperatura ebullición	:	100 °C
Punto de inflamación	:	No aplica
Temperatura de autoignición	:	No aplica
Límites de inflamabilidad	:	No aplica
Solubilidad en agua y otros solventes	:	Totalmente soluble en agua

SECCION 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad química	:	Estable bajo condiciones normales de presión y temperatura
Condiciones que se deben evitar	:	Evitar contacto con oxidantes fuertes y exposición a altas temperaturas
Materiales incompatibles	:	No aplica
Productos peligrosos de la descomposición	:	No aplica



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Fecha de Emisión: Sep 18, 15
Revisión: 1
Fecha de Revisión: Abr 15, 19
Página 3 de 3

SECCION 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Toxicidad aguda	:	DL50 por ingestión > 2000 mg/kg
Irritación / corrosión cutánea	:	Casi sin irritación
Lesiones oculares graves/irritación ocular	:	Mediana irritación
Sensibilización respiratoria	:	No aplica
Mutagenicidad de células reproductoras	:	Sin datos disponibles
Carcinogenicidad	:	No se identifica ningún componente carcinogeno

SECCION 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Inestabilidad	:	Estable
Persistencia/Degradabilidad	:	Los métodos para determinar la biodegradabilidad no son aplicables a sustancias inorgánicas
Bio-acumulación	:	No aplica

SECCION 13: CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICIÓN FINAL

Método para disposición final segura	:	Se debe retirar y disponer según normativa vigente. DS N°148 y DS N°594
Método para eliminación de envases	:	Se deben retirar y disponer según normativa vigente. DS N°148 y DS N°594

SECCION 14: INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTE

Para Transporte Marítimo	:	Sin regulación
Precauciones para Transporte Marítimo	:	Comprobar que el recipiente este cerrado herméticamente
Clasificación NFPA	:	Salud: 1/Inflamabilidad: 0/Reactividad: 0/Riesgo específico: 0
Clasificación IATA (56th edition, 2015)	:	No es regulado como producto peligroso

SECCION 15: INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

Regulaciones Nacionales	:	NCh 2182,
Regulaciones Internacionales	:	ASTM C494,
Marca en la etiqueta	:	Código NFPA

SECCION 16: OTRAS INFORMACIONES

El formato de esta hoja de seguridad cumple con la norma Chilena NCh 2245:2015.

La información contenida se entrega de buena fe y voluntariamente.

ULMEN S.A. no se hace responsable por el buen o mal uso de esta información.

Considerando que el uso de esta información y de los productos está fuera del control del proveedor, ULMEN S.A. no asume responsabilidad alguna por este concepto.

Las condiciones de uso seguro del producto es obligación del usuario.

ANEXO 07

**FICHA TÉCNICA
DEL CEMENTO**

FICHA TÉCNICA

CEMENTO ANTISALITRE MS

Para emplearse en obras que requieran moderada resistencia a los sulfatos.

Recomendado en estructuras de concreto en contacto con ambientes y suelos húmedos-salinosos y estructuras expuestas al agua de mar.

DESCRIPCIÓN

El cemento ANTI SALITRE MS es un cemento de moderada resistencia a los sulfatos y de moderado calor de hidratación que cumple con los requisitos de las normas técnicas NTP 334.082 y ASTM C 1157 y cuyo nombre técnico es cemento Portland Tipo MS

El cemento ANTI SALITRE MS se fabrica mediante la molienda conjunta de clinker y adiciones minerales que generan estructuras menos permeables y con mayor resistencia química, que protegen contra el salitre y los cloruros.

PROPIEDADES

Moderada resistencia a los sulfatos

Debido a la capacidad de sus adiciones minerales para combinarse químicamente con el hidróxido de calcio liberado en la hidratación del cemento, el cemento ANTI SALITRE MS tiene moderada resistencia a los sulfatos.

Resistencia al agua de mar

Debido a su menor permeabilidad la difusión de los iones cloruro en las estructuras disminuye permitiendo una mejor conservación de la armadura en el concreto armado expuesto al ambiente marino o en contacto con agua de mar.

De moderado calor de hidratación

El cemento ANTI SALITRE MS desarrolla menor calor de hidratación evitando fisuraciones de origen térmico que afectan la calidad del concreto.

Baja reactividad con agregados álcali-reactivos

Las adiciones minerales del cemento ANTI SALITRE MS fijan los álcalis del cemento antes que éstos puedan reaccionar con los agregados reactivos evitando así la fisuración y el deterioro del concreto.

En el cuadro adjunto se indican las propiedades específicas del cemento Antisalitre MS.



CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.

Calle La Colonia Nro. 150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima
Carretera Panamericana Norte Km. 686 Pacasmayo - La Libertad
Teléfono 317 - 6000



SGC-REG-06-G0002 -
Versión 01

CEMENTO ANTISALITRE MS

Cemento Portland Tipo MS

Conforme a la NTP 334.082 / ASTM C1157

Pacasmayo, 01 de julio del 2013

PROPIEDADES FISICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.082 / ASTM C1157
Contenido de Aire	%	5	NO ESPECIFICA
Expansión en Autoclave	%	0.13	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm ² /g	3800	NO ESPECIFICA
Retenido M325	%	4.3	NO ESPECIFICA
Densidad	g/mL	3.04	NO ESPECIFICA
Resistencia Compresión :			
Resistencia Compresión a 3 días	MPa (kg/cm ²)	20.5 (210)	Mínimo 11.0 (Mínimo 112)
Resistencia Compresión a 7 días	MPa (kg/cm ²)	28.4 (290)	Mínimo 18.0 (Mínimo 184)
Resistencia Compresión a 28 días (*)	MPa (kg/cm ²)	37.0 (377)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)
Tiempo de Fraguado Vicat :			
Fraguado Inicial	min	178	Mínimo 45
Fraguado Final	min	318	Máximo 420
Expansión Barra de Mortero a 14 días			
Expansión Barra de Mortero a 14 días	%	0.010	Máximo 0.020
Expansión por Sulfato a 6 meses			
Expansión por Sulfato a 6 meses	%	0.06	Máximo 0.10
Calor de hidratación a 7 días (*)			
Calor de hidratación a 7 días (*)	kcal/kg	66	Máximo 70

Los resultados arriba mostrados corresponden al promedio del cemento despachado en el año 2012.

(*) Requisito opcional.

APLICACIONES

Por su moderada resistencia a los sulfatos

- Concreto con exposición moderada a los sulfatos.
- Estructuras en contacto con ambientes y suelos húmedo-salitrados.

Por su resistencia al agua de mar

- Estructuras en ambiente marino.
- Obras portuarias.

Por su moderado calor de hidratación

- Concreto en clima cálido.
- Estructuras de concreto masivo.
- Concreto compactado con rodillo.

Por su baja reactividad con agregados álcali-reactivos

- Obras con presencia de agregados reactivos.
- Pavimentos y losas.

ANEXO 08

**ENSAYO DE
RESISTENCIA A
LA COMPRESIÓN**



KAE Ingeniería

OBRA :	MEJORA DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO ESTRUCTURAL MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND TIPO MS POR NANOSILICE - CHIMBOTE	REGISTRO N° :	CC-TNA-RC-01
SOLICITA :	BACH. DÍAZ DÍAZ YURIKO YOSSELYN BANET - BACH. ESTRADA SAAVEDRA JONATHAN FABIAN	PAGINA N° :	01 de 01
UBICACIÓN :	Distrito: Nuevo Chimbote - Provincia: Santa - Departamento: Ancash		

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
(ASTM - C39, MTC E704, NTP-339-034)

Item	Identificación y Características de la Probeta										Ensayo de Rotura				
	Estructura Vacilada	Fecha de Muestreo	f _c (Kg/cm ²)	Díametro promedio (mm)	Altura promedio (mm)	Relación An/Díam	Fact. Correc.	Área (mm ²)	Fecha de Rotura	Edad (días)	Lectura (Kgf)	Lectura Corregida (Kgf)	f _{ce} (Kg/cm ²)	%	Tipo de Rotura
01	MP	23/04/2021	210	150.40	301.20	2.0	1	17765.8	30/04/2021	7	32465	32674.1	183.9	87.6	E
02	MP	23/04/2021	210	152.21	305.88	2.0	1	18196	30/04/2021	7	33012	33223.2	182.6	86.9	E
03	0.3%	26/04/2021	210	150.17	302.27	2.0	1	17711.5	03/05/2021	7	45054	45310.9	255.8	121.8	D
04	0.3%	26/04/2021	210	151.46	301.40	2.0	1	18017.1	03/05/2021	7	45265	45522.7	252.7	120.3	E
05	0.8%	26/04/2021	210	152.28	306.22	2.0	1	18212.8	03/05/2021	7	56784	57085.5	313.4	149.3	D
06	0.8%	26/04/2021	210	151.68	306.58	2.0	1	18069.5	03/05/2021	7	57232	57535.2	318.4	151.6	E
07	1.3%	27/04/2021	210	149.11	301.55	2.0	1	17462.4	04/05/2021	7	41211	41453.3	237.4	113.0	E
08	1.3%	27/04/2021	210	151.52	301.51	2.0	1	18031.4	04/05/2021	7	42022	42267.4	234.4	111.6	E

Descripción del tipo de rotura

Tipo de Rotura	Cono	Cono y Hendedura	Cono y Corte	Corte	Columnar	Descripción
A						TIPO A: Conos relativamente bien formados en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas
B						TIPO B: Cono bien formado sobre una base, grietas verticales a través de las capas, pero no bien definido en la otra base.
C						TIPO C: Se presenta cuando las caras de aplicación de carga del espécimen están ligeramente fuera de las tolerancias de paralelismo establecidas o por ligeras desviaciones en el centrado de la probeta respecto al eje de carga de la máquina.
D						TIPO D: Fractura diagonal sin grietas en las bases. Golpear con martillos para diferencias del tipo 1
E						TIPO E: Grietas verticales columnares en ambas bases. Conos no bien formados.

Observaciones y/o recomendaciones:

Las muestras de probetas fueron proporcionadas por el cliente.

KAE Ingeniería
Victor Alfonso Herrera Lázaro
INGENIERO CIVIL
R.F. CIP/Nº 216087





Control de Calidad en Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto, Perfiles y Expedientes Técnicos
Presentación de Servicios Generales

KAE Ingeniería

OBRA :	MEJORA DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO ESTRUCTURAL MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND TIPO MS POR NANOSILICE - CHIMBOTE	REGISTRO N° :	CC-TNA-RC-02
SOLICITA :	BACH. DÍAZ DÍAZ YURIKO YOSSELYN BANET - BACH. ESTRADA SAAVEDRA JONATHAN FABIAN	PAGINA N° :	01 de 01
UBICACIÓN :	Distrito: Nuevo Chimbote - Provincia: Santa - Departamento: Ancash		

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
(ASTM - C39, MTC E704, NTP-339-034)

Item	Identificación y Características de la Probeta										Ensayo de Rotura				
	Estructura Vaclada	Fecha de Muestreo	f_c (Kg/cm ²)	Díametro promedio (mm)	Altura promedio (mm)	Relación Al/Díam	Fact. Correc.	Área (mm ²)	Fecha de Rotura	Edad (días)	Lectura (Kgf)	Lectura Corregida (Kgf)	f_{ce} (Kg/cm ²)	%	Tipo de Rotura
01	MP	23/04/2021	210	151.14	300.40	2.0	1	17941.1	07/05/2021	14	43128	43377.6	241.8	115.1	E
02	MP	23/04/2021	210	151.60	301.60	2.0	1	18050.5	07/05/2021	14	43321	43571.3	241.4	114.9	E
03	0.3%	26/04/2021	210	151.20	301.50	2.0	1	17955.3	10/05/2021	14	52979	53266.0	296.7	141.3	D
04	0.3%	26/04/2021	210	150.40	300.50	2.0	1	17765.8	10/05/2021	14	53256	53544.1	301.4	143.5	E
05	0.8%	26/04/2021	210	151.80	300.80	2.0	1	18098.1	10/05/2021	14	62864	63188.6	349.1	166.3	D
06	0.8%	26/04/2021	210	150.20	302.20	2.0	1	17718.6	10/05/2021	14	62571	62894.5	355.0	169.0	E
07	1.3%	27/04/2021	210	151.30	301.70	2.0	1	17979.1	11/05/2021	14	51121	51401.0	285.9	136.1	E
08	1.3%	27/04/2021	210	150.90	300.60	2.0	1	17884.2	11/05/2021	14	51065	51344.8	287.1	136.7	E

Descripción del tipo de rotura

Tipo de Rotura	Diagrama	Descripción
A		TIPO A: Conos relativamente bien formados en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas
B		TIPO B: Cono bien formado sobre una base, grietas verticales a través de las capas, pero no bien definido en la otra base.
C		TIPO C: Se presenta cuando las caras de aplicación de carga del espécimen están ligeramente fuera de las tolerancias de paralelismo establecidas o por ligeras desviaciones en el centrado de la probeta respecto al eje de carga de la máquina.
D		TIPO D: Fractura diagonal sin grietas en las bases. Golpear con martillos para diferencias del tipo 1
E		TIPO E: Grietas verticales columnares en ambas bases. Conos no bien formados.

Observaciones y/o recomendaciones:

Las muestras de probetas fueron proporcionadas por el cliente.

KAE Ingeniería
Victor Alfonso Herrera Lázaro
INGENIERO CIVIL
REG. CIP. N° 218087





KAE Ingeniería

OBRA :	MEJORA DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO ESTRUCTURAL MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND TIPO MS POR NANOSILICE - CHIMBOTE	REGISTRO N° :	CC-TNA-RC-03
SOLICITA :	BACH. DÍAZ DÍAZ YURIKO YOSSELYN BANET - BACH. ESTRADA SAAVEDRA JONATHAN FABIAN	PAGINA N° :	01 de 01
UBICACIÓN :	Distrito: Nuevo Chimbote - Provincia: Santa - Departamento: Ancash		

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
(ASTM - C39, MTC E704, NTP-339-034)

Item	Identificación y Características de la Probeta										Ensayo de Rotura				
	Estructura Vaclada	Fecha de Muestreo	f_c (Kg/cm ²)	Diametro promedio (mm)	Altura promedio (mm)	Relación Alt/Diám	Fact. Correc.	Área (mm ²)	Fecha de Rotura	Edad (días)	Lectura (Kgf)	Lectura Corregida (Kgf)	f_{ce} (Kg/cm ²)	%	Tipo de Rotura
01	MP	23/04/2021	210	150.40	301.20	2.0	1	17765.8	21/05/2021	28	50126	50402.2	283.7	135.1	E
02	MP	23/04/2021	210	151.60	300.50	2.0	1	18050.5	21/05/2021	28	51052	51331.7	284.4	135.4	E
03	0.3%	26/04/2021	210	151.40	302.80	2.0	1	18002.9	24/05/2021	28	62457	62780.0	348.7	166.1	D
04	0.3%	26/04/2021	210	150.20	301.20	2.0	1	17718.6	24/05/2021	28	62877	63201.6	356.7	169.9	E
05	0.8%	26/04/2021	210	151.60	301.40	2.0	1	18050.5	24/05/2021	28	71417	71774.1	397.6	189.3	D
06	0.8%	26/04/2021	210	150.20	301.70	2.0	1	17718.6	24/05/2021	28	71244	71600.4	404.1	192.4	E
07	1.3%	27/04/2021	210	150.40	302.50	2.0	1	17765.8	25/05/2021	28	56988	57290.3	322.5	153.6	E
08	1.3%	27/04/2021	210	150.80	302.10	2.0	1	17860.5	25/05/2021	28	57877	58182.6	325.8	155.1	E

Descripción del tipo de rotura

Tipo de Rotura	Cono	Cono y Hendedura	Cono y Corte	Corte	Columnar	Descripción
						<p>TIPO A: Conos relativamente bien formados en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas</p> <p>TIPO B: Cono bien formado sobre una base, grietas verticales a través de las capas, pero no bien definido en la otra base.</p> <p>TIPO C: Se presenta cuando las caras de aplicación de carga del espécimen están ligeramente fuera de las tolerancias de paralelismo establecidas o por ligeras desviaciones en el centrado de la probeta respecto al eje de carga de la máquina.</p> <p>TIPO D: Fractura diagonal sin grietas en las bases. Golpear con martillos para diferencias del tipo 1</p> <p>TIPO E: Grietas verticales columnares en ambas bases. Conos no bien formados.</p>

Observaciones y/o recomendaciones:

Las muestras de probetas fueron proporcionadas por el cliente.

KAE Ingeniería
Victor Alfonso Herrera Lázaro
INGENIERO CIVIL
CIP N° 216087





OBRA :	MEJORA DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO ESTRUCTURAL MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND TIPO MS POR NANOSILICE - CHIMBOTE	REGISTRO N° :	CC-TNA-RC-04
SOLICITA :	BACH. DÍAZ DÍAZ YURIKO YOSSELYN BANET - BACH. ESTRADA SAAVEDRA JONATHAN FABIAN	PAGINA N° :	01 de 02
UBICACIÓN :	Distrito: Nuevo Chimbote - Provincia: Santa - Departamento: Ancash		

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
(ASTM - C39, MTC E704, NTP-339-034)

Item	Identificación y Características de la Probeta										Ensayo de Rotura				
	Estructura Vacuada	Fecha de Muestreo	f _c (Kg/cm ²)	Diametro promedio (mm)	Altura promedio (mm)	Relación Alt/Diám	Fact. Correc.	Área (mm ²)	Fecha de Rotura	Edad (días)	Lectura (Kgf)	Lectura Corregida (Kgf)	f _{ce} (Kg/cm ²)	%	Tipo de Rotura
01	DISEÑO OPTIMO 0.8% DE NANOSILICE	28/05/2021	210	150.50	300.5	2.0	1	17789.5	25/06/2021	28	74717	75086.6	422.1	201.0	E
02		28/05/2021	210	150.41	301.5	2.0	1	17768.2	25/06/2021	28	75141	75512.2	425.0	202.4	E
03		28/05/2021	210	150.90	300.6	2.0	1	17884.2	25/06/2021	28	75989	76363.5	427.0	203.3	E
04		28/05/2021	210	151.40	300.1	2.0	1	18002.9	25/06/2021	28	75932	76306.3	423.9	201.8	E
05		28/05/2021	210	151.20	303.1	2.0	1	17955.3	25/06/2021	28	75724	76097.5	423.8	201.8	E
06		28/05/2021	210	151.90	302.8	2.0	1	18122	25/06/2021	28	76403	76779.0	423.7	201.8	E
07		28/05/2021	210	150.80	301.5	2.0	1	17860.5	25/06/2021	28	75636	76009.1	425.6	202.7	E
08		28/05/2021	210	150.20	300.5	2.0	1	17718.6	25/06/2021	28	75501	75873.6	428.2	203.9	E
09		28/05/2021	210	151.40	301.2	2.0	1	18002.9	25/06/2021	28	76145	76520.1	425.0	202.4	E
10		28/05/2021	210	150.60	300.6	2.0	1	17813.1	25/06/2021	28	75632	76005.1	426.7	203.2	E
11		28/05/2021	210	151.20	300.8	2.0	1	17955.3	25/06/2021	28	76031	76405.6	425.5	202.6	E
12		28/05/2021	210	150.80	300.4	2.0	1	17860.5	25/06/2021	28	76047	76421.7	427.9	203.8	E
13		29/05/2021	210	150.20	301.5	2.0	1	17718.6	26/06/2021	28	75329	75701.0	427.2	203.4	E
14		29/05/2021	210	150.40	301.3	2.0	1	17765.8	26/06/2021	28	74965	75335.6	424.0	201.9	E
15		29/05/2021	210	151.60	301.7	2.0	1	18050.5	26/06/2021	28	76547	76923.6	426.2	202.9	E
16		29/05/2021	210	150.70	301.54	2.0	1	17836.8	26/06/2021	28	76869	77246.8	433.1	206.2	E
17		29/05/2021	210	151.30	300.4	2.0	1	17979.1	26/06/2021	28	76933	77311.1	430.0	204.8	E
18		29/05/2021	210	152.00	300.2	2.0	1	18145.8	26/06/2021	28	76744	77121.3	425.0	202.4	E
19		29/05/2021	210	151.40	300.5	2.0	1	18002.9	26/06/2021	28	76732	77109.3	428.3	204.0	E
20		29/05/2021	210	150.80	300.8	2.0	1	17860.5	26/06/2021	28	76477	76853.3	430.3	204.9	E

Descripción del tipo de rotura

Tipo de Rotura						TIPO A: Conos relativamente bien formados en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas
						TIPO B: Cono bien formado sobre una base, grietas verticales a través de las capas, pero no bien definido en la otra base.
						TIPO C: Se presenta cuando las caras de aplicación de carga del espécimen están ligeramente fuera de las tolerancias de paralelismo establecidas o por ligeras desviaciones en el centrado de la probeta respecto al eje de carga de la máquina.
						TIPO D: Fractura diagonal sin grietas en las bases. Golpear con martillos para diferencias del tipo 1
						TIPO E: Grietas verticales columnares en ambas bases. Conos no bien formados.

Observaciones y/o recomendaciones:

Las muestras de probetas fueron proporcionadas por el cliente.

Fernando Herrera Lázaro
INGENIERO CIVIL





OBRA :	MEJORA DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO ESTRUCTURAL MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND TIPO MS POR NANOSILICE - CHIMBOTE	REGISTRO N° :	CC-TNA-RC-04
SOLICITA :	BACH. DÍAZ DÍAZ YURIKO YOSSELYN BANET - BACH. ESTRADA SAAVEDRA JONATHAN FABIAN	PAGINA N° :	02 de 02
UBICACIÓN :	Distrito: Nuevo Chimbote - Provincia: Santa - Departamento: Ancash		

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
(ASTM - C39, MTC E704, NTP-339-034)

Item	Identificación y Características de la Probeta										Ensayo de Rotura				
	Estructura Vacuada	Fecha de Muestreo	f_c (Kg/cm ²)	Diametro promedio (mm)	Altura promedio (mm)	Relación Alt/Diám	Fact. Correc.	Área (mm ²)	Fecha de Rotura	Edad (días)	Lectura (Kgf)	Lectura Corregida (Kgf)	f_{ce} (Kg/cm ²)	%	Tipo de Rotura
21	DISEÑO OPTIMO 0.8% DE NANOSILICE	29/05/2021	210	151.20	301.2	2.0	1	17955.3	26/06/2021	28	76794	77171.5	429.8	204.7	E
22		29/05/2021	210	152.30	301.2	2.0	1	18217.5	26/06/2021	28	77354	77733.7	426.7	203.2	E
23		29/05/2021	210	150.90	301.6	2.0	1	17884.2	26/06/2021	28	76847	77224.7	431.8	205.6	E
24		29/05/2021	210	151.80	301.7	2.0	1	18098.1	26/06/2021	28	76974	77352.2	427.4	203.5	E
25		31/05/2021	210	152.10	301.5	2.0	1	18169.7	28/06/2021	28	76900	77277.9	425.3	202.5	E
26		31/05/2021	210	150.30	300.8	2.0	1	17742.2	28/06/2021	28	74293	74661.0	420.8	200.4	E
27		31/05/2021	210	151.40	301.2	2.0	1	18002.9	28/06/2021	28	76533	76909.5	427.2	203.4	E
28		31/05/2021	210	150.80	302.1	2.0	1	17860.5	28/06/2021	28	74742	75111.7	420.5	200.3	E
29		31/05/2021	210	151.20	301.5	2.0	1	17955.3	28/06/2021	28	76526	76902.5	428.3	204.0	E
30		31/05/2021	210	151.50	301.5	2.0	1	18026.7	28/06/2021	28	76047	76421.7	423.9	201.9	E
31		31/05/2021	210	150.50	301.7	2.0	1	17789.5	28/06/2021	28	75699	76072.4	427.6	203.6	E
32		31/05/2021	210	151.30	302	2.0	1	17979.1	28/06/2021	28	76978	77356.2	430.3	204.9	E
33		31/05/2021	210	151.80	300.8	2.0	1	18098.1	28/06/2021	28	76232	76607.4	423.3	201.6	E
34		31/05/2021	210	150.40	300.1	2.0	1	17765.8	28/06/2021	28	75417	75789.3	426.6	203.1	E
35		31/05/2021	210	150.90	302.3	2.0	1	17884.2	28/06/2021	28	75756	76129.6	425.7	202.7	E
36		31/05/2021	210	150.80	301.7	2.0	1	17860.5	28/06/2021	28	76504	76880.4	430.5	205.0	E

Descripción del tipo de rotura

Tipo de Rotura	Cono	Cono y Hendedura	Cono y Corte	Corte	Columnar	Descripción
						<p>TIPO A: Conos relativamente bien formados en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas</p> <p>TIPO B: Cono bien formado sobre una base, grietas verticales a través de las capas, pero no bien definido en la otra base.</p> <p>TIPO C: Se presenta cuando las caras de aplicación de carga del espécimen están ligeramente fuera de las tolerancias de paralelismo establecidas o por ligeras desviaciones en el centrado de la probeta respecto al eje de carga de la máquina.</p> <p>TIPO D: Fractura diagonal sin grietas en las bases. Golpear con martillos para diferencias del tipo 1</p> <p>TIPO E: Grietas verticales columnares en ambas bases. Conos no bien formados.</p>

Observaciones y/o recomendaciones:

Las muestras de probetas fueron proporcionadas por el cliente.

KAE Ingeniería
Víctor Alfonso Herrera Lázaro
INGENIERO CIVIL
REG. CIP N° 216087

KAE INGENIERIA
Vº Bº
GERENCIA

ANEXO 09

**CERTIFICADO DE
CALIBRACIÓN**



Punto de Precisión SAC

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFP - 327 - 2021

Página : 1 de 2

Expediente : T 252-2021
Fecha de emisión : 2021-07-06

1. Solicitante : KAE INGENIERIA S.A.C.

Dirección : MZA. 36 LOTE. 1 INT. A P.J. MIRAFLORES ALTO -
CHIMBOTE - SANTA - ANCASH

2. Descripción del Equipo : MÁQUINA DE ENSAYO UNIAXIAL

Marca de Prensa : PERUTEST
Modelo de Prensa : PC-120
Serie de Prensa : 1054
Capacidad de Prensa : 120000 kg

Marca de indicador : NO INDICA
Modelo de Indicador : NO INDICA
Serie de Indicador : NO INDICA

Marca de Transductor : ZEMIC
Modelo de Transductor : YB15
Serie de Transductor : 1172

Bomba Hidraulica : ELÉCTRICA

El Equipo de medición con el modelo y número de serie abajo. Indicados ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

Punto de Precision S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. Lugar y fecha de Calibración

PASAJE FATIMA MZ. Y1 LOTE. 1A MIRAFLORES ALTO - CHIMBOTE - SANTA - ANCASH
05 - JULIO - 2021

4. Método de Calibración

La Calibracion se realizó de acuerdo a la norma ASTM E4 .

5. Trazabilidad

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO O INFORME	TRAZABILIDAD
CELDA DE CARGA	AEP TRANSDUCERS	INF-LE 106-2021	UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
INDICADOR	AEP TRANSDUCERS		

6. Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	23,2	23,3
Humedad %	64	64

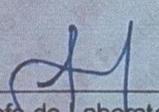
7. Resultados de la Medición

Los errores de la prensa se encuentran en la página siguiente.

8. Observaciones

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color verde con el número de certificado y fecha de calibración de la empresa PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.




Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106 698-9620

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

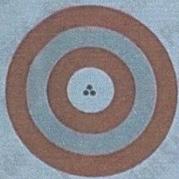


TABLA N° 1

SISTEMA DIGITAL "A" kgf	SERIES DE VERIFICACIÓN (kgf)				PROMEDIO "B" kgf	ERROR Ep %	RPTBLD Rp %
	SERIE 1	SERIE 2	ERROR (1) %	ERROR (2) %			
10000	9919	9912	0,81	0,88	9915,4	0,85	0,07
20000	19802	19817	0,99	0,92	19809,1	0,96	-0,07
30000	29762	29803	0,79	0,66	29782,5	0,73	-0,14
40000	39824	39691	0,44	0,77	39757,7	0,61	0,33
50000	49510	49880	0,98	0,24	49695,1	0,61	-0,74
60000	59648	59901	0,59	0,16	59774,6	0,38	-0,42
70000	69493	69741	0,72	0,37	69616,7	0,55	-0,35

NOTAS SOBRE LA CALIBRACIÓN

1.- Ep y Rp son el Error Porcentual y la Repetibilidad definidos en la citada Norma:

$$Ep = ((A-B) / B) * 100 \quad Rp = Error(2) - Error(1)$$

2.- La norma exige que Ep y Rp no excedan el 1,0 %

3.- Coeficiente Correlación : $R^2 = 1$

Ecuación de ajuste : $y = 1,0038x + 85,711$

Donde: x : Lectura de la pantalla
y : Fuerza promedio (kgf)

GRÁFICO N° 1

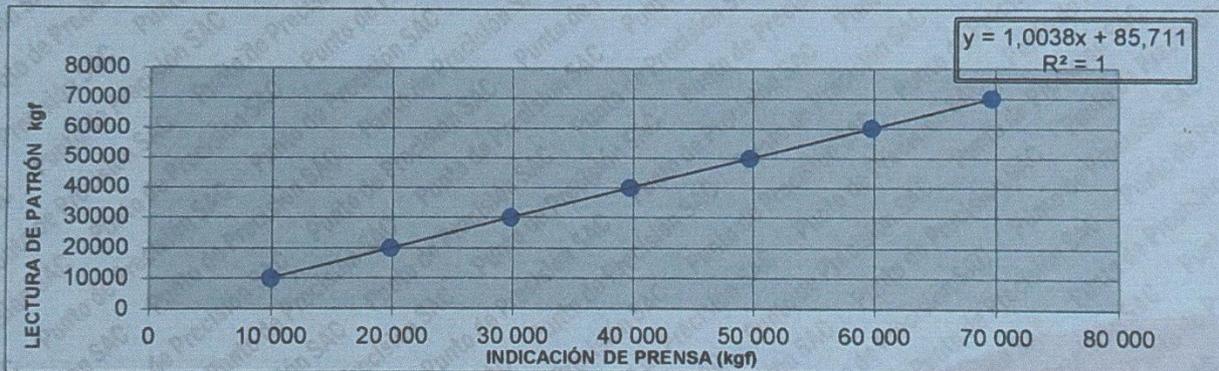
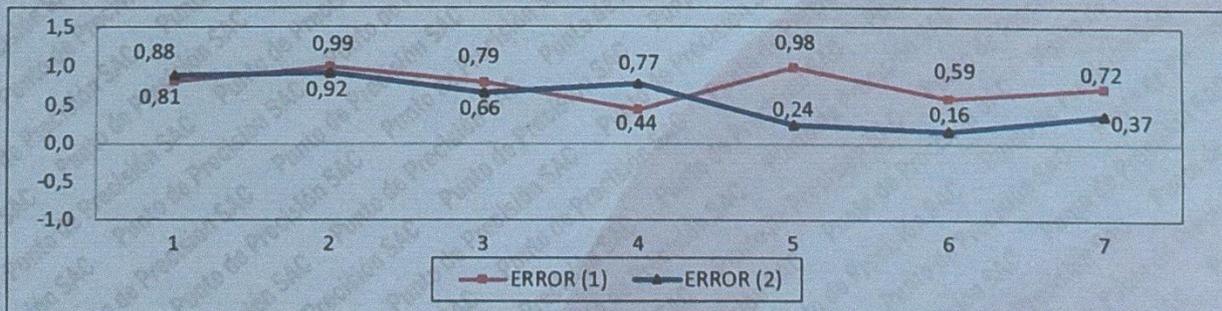


GRÁFICO DE ERRORES



FIN DEL DOCUMENTO



Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Turnitin Informe de Originalidad

Procesado el: 27-mar.-2022 8:16 p. m. -05

Identificador: 1794435033

Número de palabras: 40792

Entregado: 1

TESIS YURICO DUAZ Por Julio Cesar Rivasplata Diaz

4% match (Internet desde 28-sept.-2021)

Índice de similitud 16%	Similitud según fuente	
	Internet Sources:	17%
	Publicaciones:	2%
	Trabajos del estudiante:	5%

<http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/3399/49254.pdf>

3% match ()

[Condori Apaza, Jhon René, Gonzales Calla, Enrique Brandon. "Reducción de la permeabilidad con la adición de 6% de ceniza de carbón, en losas aligeradas de concreto de f'c=210 kg/cm2", 'Baishideng Publishing Group Inc.', 2021](#)

2% match (Internet desde 28-abr.-2020)

<http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/3456/49607.pdf?sequence=1>

1% match (Internet desde 06-feb.-2018)

<http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/2799/43457.pdf?isAllowed=y&sequence=1>

1% match (Internet desde 16-jun.-2021)

<http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/3562/50094.pdf?isAllowed=y&sequence=1>

1% match (Internet desde 13-oct.-2021)

<http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/3748/52273.pdf?isAllowed=y&sequence=1>

1% match (Internet desde 13-oct.-2021)

<http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/3656/15172.pdf?isAllowed=y&sequence=1>

1% match (Internet desde 26-sept.-2021)

<http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3740/CIVIL%20-%20Andy%20Fabi%20a1n%20Ar%20a9valo%20Torres%20%26%20Luis%20L%20%20c3%20b3pez%20del%20Aguila.p>

1% match (Internet desde 22-dic.-2020)

<http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3029/CIVIL%20-%20Jaime%20Eduardo%20Azang%20Garc%20c3%20ada.pdf?isAllowed=y&sequence=3>

1% match (Internet desde 31-jul.-2016)

<http://documents.mx/documents/libro%20de%20seno-y-control-de-mezclas-de-concretopca-1.html>

1% match (Internet desde 13-may.-2019)

<https://issuu.com/jj1989/docs/145311372-topicos-de-tecnologia-de->

1% match (Internet desde 08-feb.-2022)

<http://repositorio.unach.edu.pe/bitstream/UNACH/163/1/Lorena%20Uriarte%20Herrera.pdf>

1% match (Internet desde 30-nov.-2021)

http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/15492/Mendoza_Almonte_Helar.pdf?isAllowed=y&sequence=1

1% match (Internet desde 17-abr.-2018)

<http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/460/T%20620.112%20E74%202014.pdf?isAllowed=y&sequence=1>

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL "MEJORA DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO ESTRUCTURAL MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND TIPO MS POR NANOSÍLICE - CHIMBOTE" PRESENTADO POR: • Bach. DÍAZ DÍAZ, Yuriko Yosselyn Banet • Bach. ESTRADA SAAVEDRA,

