

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



TESIS

“Efecto de la adición del nanosílice en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido empleando agregados de la ciudad de Abancay- Apurímac- 2019”

Presentado por:

Bach. VICTOR RAÚL CAMARGO LOCO

Para optar el título profesional de:

INGENIERO CIVIL

Abancay- Apurímac- Perú

2022

Tesis

“Efecto de la adición del nanosílice en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido empleando agregados de la ciudad de Abancay - Apurímac - 2019”

Línea de Investigación

Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible

Asesor

Ing. Holguer Cayo Baca



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**“EFECTO DE LA ADICIÓN DEL NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES DEL
CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO EMPLEANDO
AGREGADOS DE LA CIUDAD DE ABANCAY – APURÍMAC – 2019”**

Presentado por el Bach. **VICTOR RAÚL CAMARGO LOCO**, para optar el título profesional de: **INGENIERO CIVIL**.

Sustentado y aprobado el **22 de diciembre del 2022** ante el jurado:

Presidente : Mg. Calixto Cañari Otero

Primer miembro : Ph.D. Abbon Alex Vásquez Ramírez

Segundo miembro : Ing. Mauro Samuel Altamirano Camacho

Asesor : Ing. Holguer Cayo Baca

Dedicatoria

A mis padres **Víctor y Esperanza**, quienes sin escatimar esfuerzo alguno han sacrificado gran parte de su vida para formarme y educarme, quienes me han dado ejemplo de superación, humildad y sacrificio.

A mi hermana Yanet y a Mónica, quienes han fomentado en mí, el deseo de superación y triunfo en la vida.

A mis familiares, quien con sus consejos y cariño han impulsado en mí la idea de perseguir mis metas y nunca abandonarlas pese a las adversidades.

Agradecimiento

A la Universidad Tecnológica de los Andes, a su plana de docentes, quienes han aportado sus conocimientos y experiencias vividas en mi desarrollo profesional.

A mi asesor de tesis, Ing. Holguer Cayo Baca, por apoyarme con su provechosa experiencia y conocimiento, su asesoría fue de gran ayuda para la culminación de la presente investigación.

Al laboratorio de suelos y concreto “GEOLEF” del Sr. Lucho Farfán Huamaní, por el apoyo brindado durante la ejecución de la investigación.

Índice de contenido

Portada	i
Post portada	ii
Página de jurados	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimiento	v
Índice de contenido	vi
Índice de tablas	x
Índice de figuras	xvi
Resumen	xviii
Abstract	xix
Introducción	xx
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Realidad problemática	1
1.2. Identificación y formulación del problema	2
1.2.1. Problema general	2
1.2.2. Problemas específicos	2
1.3. Justificación de la investigación	3
1.4. Objetivos de la investigación	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Delimitaciones de la investigación	3

1.5.1. Espacial	3
1.5.2. Temporal	4
1.5.3. Social	4
1.5.4. Conceptual	4
1.6. Viabilidad de la investigación	4
1.7. Limitaciones	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes de la investigación	5
2.1.1. A nivel internacional	5
2.1.2. A nivel nacional	8
2.1.3. A nivel regional y local	10
2.2. Bases teóricas	10
2.2.1. La nanociencia y nanotecnología	10
2.2.2. Los nanomateriales	12
2.2.3. Componentes del concreto	14
2.2.4. Diseño de mezcla	29
2.2.5. Propiedades principales del concreto	33
2.3. Marco conceptual	37
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	39
3.1. Hipótesis	39
3.1.1. Hipótesis General	39

3.1.2.	Hipótesis Específicas	39
3.2.	Método	40
3.3.	Tipo de investigación	40
3.4.	Nivel o alcance de investigación	40
3.5.	Diseño de investigación	40
3.6.	Operacionalización de variables	40
3.6.1.	Variable Independiente	40
3.6.2.	Variable Dependiente	40
3.7.	Población, muestra y muestreo.	42
3.7.1.	Población.	42
3.7.2.	Muestra	42
3.7.3.	Muestreo	44
3.8.	Técnica e instrumentos	44
3.8.1.	Técnicas de obtención de datos.	44
3.8.2.	Instrumentos de investigación.	44
3.9.	Consideraciones éticas.	45
3.10.	Procesamiento estadístico.	45
4.	CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
4.1.	Resultados	46
4.1.1.	A nivel de la variable de la variable X/I	47
4.1.2.	A nivel de la variable Y/D	58

4.2. Prueba de hipótesis	66
4.2.2. Prueba de hipótesis específica 1	68
4.2.3. Prueba de hipótesis específica 2	88
4.3. Discusión de resultados	100
CONCLUSIONES	103
RECOMENDACIONES	106
BIBLIOGRAFÍA	108
ANEXOS	113

Índice de tablas

Tabla 1 Componentes del concreto.....	15
Tabla 2 Compuestos químicos del cemento portland	16
Tabla 3 Fábricas cementeras en el Perú.....	18
Tabla 4 Tipos y marcas de cementos en el Perú- ASOCEM	18
Tabla 5 Otros tipos y marcas de cementos en el Perú.....	19
Tabla 6 Características químicas de los cementos peruanos.....	20
Tabla 7 Características físicas de los cementos peruanos.....	21
Tabla 8 Límites granulométricos del agregado fino	22
Tabla 9 Límites granulométricos de los agregados gruesos	24
Tabla 10 Parámetros permisibles del agua.....	25
Tabla 11 Resistencia a la compresión promedio.....	30
Tabla 12 Consistencias y asentamientos del concreto	31
Tabla 13 Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.	31
Tabla 14 Porcentaje de aire atrapado en función al tamaño máximo nominal	31
Tabla 15 Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del concreto	32
Tabla 16 Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.....	32
Tabla 17 Operacionalización de variables	41
Tabla 18 Cuantificación de testigos para ensayo de resistencia a la compresión	43
Tabla 19 Cuantificación de testigos de concreto para ensayo de resistencia a la flexión.....	43
Tabla 20 Contenido de humedad del agregado fino	47
Tabla 21 Contenido de humedad agregado grueso	47
Tabla 22 Granulometría del agregado fino	48
Tabla 23 Granulometría del agregado grueso	49

Tabla 24	Peso unitario suelto del agregado fino	50
Tabla 25	Peso unitario suelto del agregado grueso.....	50
Tabla 26	Peso unitario compactado del agregado fino	51
Tabla 27	Peso unitario compactado del agregado grueso	51
Tabla 28	Peso específico del agregado fino.....	52
Tabla 29	Peso específico del agregado grueso.....	52
Tabla 30	Porcentaje de absorción del agregado fino	53
Tabla 31	Porcentaje de absorción del agregado grueso	53
Tabla 32	Resumen de las propiedades de los agregados	54
Tabla 33	Diseño final de concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ con adición de nanosílice en diferentes dosificaciones y reducción de agua al 5.0%.	55
Tabla 34	Diseño final de concreto $f'c= 350 \text{ kg/cm}^2$ con adición de nanosílice en diferentes dosificaciones y reducción de agua al 5.0%.	55
Tabla 35	Dimensiones del testigo cilíndrico 4"x 8"	56
Tabla 36	Dimensiones del testigo prismático 15 x 15 x 60 cm.	56
Tabla 37	Volumen total de moldes cilíndricos y prismáticos.....	56
Tabla 38	Materiales por tanda de ensayo (18 especímenes cilíndricos)- $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	57
Tabla 39	Materiales por tanda de ensayo (18 especímenes cilíndricos)- $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$	57
Tabla 40	Materiales por tanda de ensayo (9 especímenes prismáticos)- $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	57
Tabla 41	Materiales por tanda de ensayo (9 especímenes prismáticos)- $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$	58
Tabla 42	Valores de asentamiento y extensibilidad para concretos $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	58
Tabla 43	Valores de consistencia y extensibilidad para concretos $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$	59
Tabla 44	Valores de peso unitario para concreto fresco $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	60
Tabla 45	Valores de peso unitario para concreto fresco $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$	60
Tabla 46	Valores de temperatura para concreto fresco $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	61

Tabla 47 Valores de temperatura para concreto fresco $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$	62
Tabla 48 Valores de resistencia a la compresión para concretos $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	63
Tabla 49 Valores de resistencia a la compresión para concretos $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$	64
Tabla 50 Valores de resistencia a la flexión para concretos $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	65
Tabla 51 Valores de resistencia a la flexión para concretos $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$	66
Tabla 52 Cálculo de “ t_c ” para el asentamiento del concreto – nanosílice 1.0%	68
Tabla 53 Cálculo de “ t_c ” para el asentamiento del concreto – nanosílice 1.2%	69
Tabla 54 Cálculo de “ t_c ” para el asentamiento del concreto – nanosílice 1.4%	69
Tabla 55 Cálculo de “ t_c ” para el asentamiento del concreto – nanosílice 1.6%	69
Tabla 56 Resultados del cálculo de “ t_c ” para el asentamiento del concreto con adiciones de nanosílice en 1.0%, 1.2%, 1.4%, 1.6% para $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$	70
Tabla 57 Cálculo de “ t_c ” para la extensibilidad del concreto – nanosílice 1.0%	71
Tabla 58 Cálculo de “ t_c ” para la extensibilidad del concreto – nanosílice 1.2%	71
Tabla 59 Cálculo de “ t_c ” para la extensibilidad del concreto – nanosílice 1.4%	71
Tabla 60 Cálculo de “ t_c ” para la extensibilidad del concreto – nanosílice 1.6%	72
Tabla 61 Resultados del cálculo de “ t_c ” para la extensibilidad del concreto con adiciones de nanosílice en 1.0%, 1.2%, 1.4%, 1.6%	73
Tabla 62 Cálculo de “ t_c ” para el peso unitario del concreto – nanosílice 1.0%	73
Tabla 63 Cálculo de “ t_c ” para el peso unitario del concreto – nanosílice 1.2%	74
Tabla 64 Cálculo de “ t_c ” para el peso unitario del concreto – nanosílice 1.4%	74
Tabla 65 Cálculo de “ t_c ” para el peso unitario del concreto – nanosílice 1.6%	74
Tabla 66 Resultados del cálculo de “ t_c ” para el peso unitario del concreto con adiciones de nanosílice en 1.0%, 1.2%, 1.4%, 1.6%	75
Tabla 67 Cálculo de “ t_c ” para la temperatura del concreto – nanosílice 1.0%	76
Tabla 68 Cálculo de “ t_c ” para la temperatura del concreto – nanosílice 1.2%	76

Tabla 69 Cálculo de “ t_c ” para la temperatura del concreto – nanosílice 1.4%	76
Tabla 70 Cálculo de “ t_c ” para la temperatura del concreto – nanosílice 1.6%	77
Tabla 71 Resultados del cálculo de “ t_c ” para la temperatura del concreto con adiciones de nanosílice en 1.0%, 1.2%, 1.4%, 1.6%	78
Tabla 72 Cálculo de “ t_c ” para el asentamiento del concreto – nanosílice 1.0%	78
Tabla 73 Cálculo de “ t_c ” para el asentamiento del concreto – nanosílice 1.2%	79
Tabla 74 Cálculo de “ t_c ” para el asentamiento del concreto – nanosílice 1.4%	79
Tabla 75 Cálculo de “ t_c ” para el asentamiento del concreto – nanosílice 1.6%	79
Tabla 76 Resultados del cálculo de “ t_c ” para el asentamiento del concreto con adiciones de nanosílice en 1.0%, 1.2%, 1.4%, 1.6%	80
Tabla 77 Cálculo de “ t_c ” para la extensibilidad del concreto – nanosílice 1.0%	81
Tabla 78 Cálculo de “ t_c ” para la extensibilidad del concreto – nanosílice 1.2%	81
Tabla 79 Cálculo de “ t_c ” para la extensibilidad del concreto – nanosílice 1.4%	81
Tabla 80 Cálculo de “ t_c ” para la extensibilidad del concreto – nanosílice 1.6%	82
Tabla 81 Resultados del cálculo de “ t_c ” para la extensibilidad del concreto con adiciones de nanosílice en 1.0%, 1.2%, 1.4%, 1.6%	83
Tabla 82 Cálculo de “ t_c ” para el peso unitario del concreto – nanosílice 1.0%	83
Tabla 83 Cálculo de “ t_c ” para el peso unitario del concreto – nanosílice 1.2%	84
Tabla 84 Cálculo de “ t_c ” para el peso unitario del concreto – nanosílice 1.4%	84
Tabla 85 Cálculo de “ t_c ” para el peso unitario del concreto – nanosílice 1.6%	84
Tabla 86 Resultados del cálculo de “ t_c ” para el peso unitario del concreto con adiciones de nanosílice en 1.0%, 1.2%, 1.4%, 1.6%	85
Tabla 87 Cálculo de “ t_c ” para la temperatura del concreto – nanosílice 1.0%	86
Tabla 88 Cálculo de “ t_c ” para la temperatura del concreto – nanosílice 1.2%	86
Tabla 89 Cálculo de “ t_c ” para la temperatura del concreto – nanosílice 1.4%	86

Tabla 90 Cálculo de “ t_c ” para la temperatura del concreto – nanosílice 1.6%.	87
Tabla 91 Resultados del cálculo de “ t_c ” para la temperatura del concreto con adiciones de nanosílice en 1.0%, 1.2%, 1.4%, 1.6%	88
Tabla 92 Cálculo de “ t_c ” para la compresión axial del concreto – nanosílice 1.0%	89
Tabla 93 Cálculo de “ t_c ” para la compresión axial del concreto – nanosílice 1.2%	89
Tabla 94 Cálculo de “ t_c ” para la compresión axial del concreto – nanosílice 1.4%	89
Tabla 95 Cálculo de “ t_c ” para la compresión axial del concreto – nanosílice 1.6%	90
Tabla 96 Resultados del cálculo de “ t_c ” para la resistencia a compresión axial del concreto con adiciones de nanosílice en 1.0%, 1.2%, 1.4%, 1.6%	91
Tabla 97 Cálculo de “ t_c ” para la resistencia a flexión del concreto – nanosílice 1.0%	91
Tabla 98 Cálculo de “ t_c ” para la resistencia a flexión del concreto – nanosílice 1.2%	92
Tabla 99 Cálculo de “ t_c ” para la resistencia a flexión del concreto – nanosílice 1.4%	92
Tabla 100 Cálculo de “ t_c ” para la resistencia a flexión del concreto – nanosílice 1.6%	92
Tabla 101 Resultados del cálculo de “ t_c ” para la resistencia a flexión del concreto con adiciones de nanosílice en 1.0%, 1.2%, 1.4%, 1.6%	93
Tabla 102 Cálculo de “ t_c ” para la resistencia a compresión del concreto – nanosílice 1.0%	94
Tabla 103 Cálculo de “ t_c ” para la resistencia a compresión del concreto – nanosílice 1.2%	94
Tabla 104 Cálculo de “ t_c ” para la resistencia a compresión del concreto – nanosílice 1.4%	94
Tabla 105 Cálculo de “ t_c ” para la resistencia a compresión del concreto – nanosílice 1.6%	95
Tabla 106 Resultados del cálculo de “ t_c ” para la resistencia a compresión axial del concreto con adiciones de nanosílice en 1.0%, 1.2%, 1.4%, 1.6%	96
Tabla 107 Cálculo de “ t_c ” para la resistencia a flexión del concreto – nanosílice 1.0%	96
Tabla 108 Cálculo de “ t_c ” para la resistencia a flexión del concreto – nanosílice 1.2%	97
Tabla 109 Cálculo de “ t_c ” para la resistencia a flexión del concreto – nanosílice 1.4%	97
Tabla 110 Cálculo de “ t_c ” para la resistencia a flexión del concreto – nanosílice 1.6%	97

Tabla 111 Resultados del cálculo de “ t_c ” para la resistencia a flexión del concreto con adiciones de nanosílice en 1.0%, 1.2%, 1.4%, 1.6%98

Índice de figuras

Figura 1	Escala de objetos comprendido entre 0.1 y 100 nm	10
Figura 2	Abanico de Aplicaciones de la nanotecnología.....	12
Figura 3	Escala específica relacionada con los materiales de concreto.....	14
Figura 4	Tamaño de las nanopartículas en comparación con el cemento y agregado.	26
Figura 5	Comparación de un concreto sin nanosílice y con nanosílice	28
Figura 6	Tipos de fracturas en probetas cilíndricas	35
Figura 7	Gráfico del equipo para ensayar a flexión vigas con cargas a los tercios	36
Figura 8	Curva granulométrica del agregado fino	48
Figura 9	Curva granulométrica del agregado grueso.....	49
Figura 10	Asentamiento y extensibilidad de las mezclas de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	59
Figura 11	Asentamiento y extensibilidad de las mezclas de concreto $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$	59
Figura 12	Peso unitario para cada tipo de mezcla de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	60
Figura 13	Peso unitario para cada tipo de mezcla de concreto $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$	61
Figura 14	Temperatura para cada tipo de mezcla de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	62
Figura 15	Temperatura para cada tipo de mezcla de concreto $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$	62
Figura 16	Resistencia a la compresión para diferentes diseños de mezcla $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$..	63
Figura 17	Resistencia a la compresión para diferentes diseños de mezcla $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$..	64
Figura 18	Resistencia a flexión para diferentes diseños de mezcla $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	65
Figura 19	Resistencia a flexión para diferentes diseños de mezcla $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$	66
Figura 20	Diagrama de región crítica y región de aceptación del estudio.....	68
Figura 21	Prueba de hipótesis específica 1 del asentamiento del concreto	70
Figura 22	Prueba de hipótesis específica 1 de la extensibilidad del concreto	72
Figura 23	Prueba de hipótesis específica 1 del peso unitario del concreto.....	75
Figura 24	Prueba de hipótesis específica 1 de la temperatura del concreto	77

Figura 25	Prueba de hipótesis específica 1 del asentamiento del concreto	80
Figura 26	Prueba de hipótesis específica 1 de la extensibilidad del concreto	82
Figura 27	Prueba de hipótesis específica 1 del peso unitario del concreto.....	85
Figura 28	Prueba de hipótesis específica 1 de la temperatura del concreto	87
Figura 29	Prueba de hipótesis específica 2 de la resistencia a compresión del concreto	90
Figura 30	Prueba de hipótesis específica 2 de la resistencia a flexión del concreto.....	93
Figura 31	Prueba de hipótesis específica 2 de resistencia a compresión del concreto.	95
Figura 32	Prueba de hipótesis específica 2 de la resistencia a flexión del concreto.....	98

Resumen

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar el efecto de la adición del nanosílice en las propiedades del concreto en estado fresco (consistencia, extensibilidad, peso unitario, temperatura) y endurecido (resistencia a compresión y flexión) empleando agregados de la ciudad de Abancay, la cual comprende como método de investigación el hipotético-deductivo, tipo aplicada, nivel explicativo y diseño experimental.

Se evaluó 4 canteras (cantera Tapia, cantera Murillo, cantera Quispe y cantera Ballón), posteriormente se realizó 2 resistencias de diseño $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$ a las cuales se adicionó porcentajes de nanosílice en 1.0%, 1.2%, 1.4% y 1.6% respecto al peso del cemento (Sol tipo 1). La muestra está compuesta por 180 testigos cilíndricos (4"x8") que fueron sometidos a ensayos de compresión a edades 1, 3, 7, 14, 28, 56 días y 90 testigos prismáticos de 15x15x60cm que fueron sometidos a ensayos a flexión a edades 7, 28 y 56 días.

Se determinó que la adición del nanosílice produce mezclas de consistencias fluidas, ligero incremento en el peso unitario y temperatura. Con respecto al concreto en estado endurecido, para un diseño de $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ se obtuvo mayores resistencias a compresión y flexión con dosis de 1.4% de nanosílice, para un diseño de $f'c= 350 \text{ kg/cm}^2$ se obtuvo mayores resistencias a compresión con dosis de 1.6% de nanosílice y mayor resistencia a flexión con 1.4% de nanosílice, produciendo concretos de altas resistencias iniciales y finales.

Palabras claves: Nanosílice, asentamiento, peso unitario, temperatura, resistencia a compresión, resistencia a flexión.

Abstract

The objective of this research work was to determine the effect of the addition of nanosilica on the properties of concrete in the fresh state (consistency, extensibility, unit weight, temperature) and hardened (compression and flexural resistance) using aggregates from the city of Abancay. , which includes the hypothetical-deductive research method, applied type, explanatory level and experimental design.

Four quarries were evaluated (Tapia quarry, Murillo quarry, Quispe quarry and Ballón quarry), subsequently 2 design resistances were made $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ and $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$ to which percentages of nanosilica were added. at 1.0%, 1.2%, 1.4% and 1.6% with respect to the weight of the cement (Sol type 1). The sample is made up of 180 cylindrical cores (4"x8") that were subjected to compression tests at ages 1, 3, 7, 14, 28, 56 days and 90 15x15x60cm prismatic cores that were subjected to bending tests at ages 7, 28 and 56 days.

It was determined that the addition of nanosilica produces mixtures of fluid consistencies, a slight increase in unit weight and temperature. With respect to concrete in the hardened state, for a design of $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$, higher compressive and flexural strengths were obtained with a dose of 1.4% nanosilica, for a design of $f'c= 350 \text{ kg/cm}^2$, it was obtained higher compressive strength with a dose of 1.6% nanosilica and higher flexural strength with 1.4% nanosilica, producing concrete with high initial and final strength.

Keywords: Nanosilica, settlement, unit weight, temperature, compressive strength, flexural strength.

Introducción

La gran cantidad de estudios realizados a lo largo del tiempo, han demostrado que la tecnología del concreto ya no es una ciencia joven. En la actualidad el concreto moderno incluye adiciones minerales además de los ingredientes tradicionales (cemento, agregados y agua). Por ello, desde hace años los investigadores se han centrado en sustituir parte del cemento por otras adiciones como cenizas volantes, microsilíce y nanosilíce.

Es por tal razón, que el presente trabajo de investigación evaluó el efecto de la adición del nanosilíce en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido empleando agregados de la ciudad de Abancay- Apurímac.

En la actualidad, la ciudad de Abancay no cuenta con estudios de concretos con adición de nanosilíce, por lo cual se desconoce el comportamiento que esta podría manifestar en combinación con agregados de la ciudad de Abancay para la elaboración de concretos. El estudio pretende generar una fuente de información confiable para su conocimiento, aplicación y desarrollo en la industria de la construcción.

La investigación es de diseño experimental, porque se sometió a la variable independiente (adición de nanosilíce) a determinadas condiciones, estímulos y tratamientos, para observar los efectos o reacciones que se producen en estados fresco y endurecido (variable dependiente). Es decir, se pretende establecer con precisión una relación causa- efecto.

En el capítulo I, se realizó el planteamiento del problema, donde se describe la realidad problemática, justificación, objetivos, delimitación y limitaciones de la investigación. En el capítulo II, se muestra el marco teórico, realizando los antecedentes de la investigación a nivel internacional, nacional y local, sustentando las bases teóricas y marco conceptual de las teorías científicas que soportan la investigación. En el capítulo III, se desarrolló la metodología de la investigación, planteando la hipótesis, método, tipo, nivel, diseño, población, muestra,

muestreo, técnicas e instrumentos y consideraciones éticas de la investigación, incluyendo el cuadro de operacionalización de variables. En el capítulo de IV, se presenta los resultados y discusión de resultados, con la demostración de la hipótesis para llegar a las conclusiones y recomendaciones. Finalmente se incluyen los anexos, dónde de adjunta los instrumentos de recolección de datos de los ensayos realizados, base de datos, juicio de expertos y las evidencias mediante paneles fotográficos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Realidad problemática

En la actualidad, el concreto elaborado con cemento portland es un material de construcción utilizado en todo el mundo. Por su consistencia rígida, antes se suponía que esta tenía una larga vida útil; sin embargo, la práctica ha probado que no siempre es de esa manera. Las patologías en las estructuras de concreto son numerosas y de distinto tipo que se adquiere durante alguna etapa de su vida útil, lo que se traduce en menor resistencia, durabilidad y funcionalidad.

Las estructuras de la ciudad de Abancay no son ajenas a esta situación, las patologías afectan el desempeño estructural y consecuentemente causan repercusiones económicas negativas, haciendo que las construcciones no sean rentables. Con la utilización de la

tecnología actual y un adecuado control de calidad de los materiales es posible lograr estructuras con mayor vida útil y menor costo de mantenimiento.

Con esta realidad y gracias al desarrollo de la industria química, principalmente a la nanotecnología es posible lograr concretos con alto desempeño, sin embargo, los criterios de composición, dosificación y elaboración es desconocido.

En la ciudad de Abancay se usa frecuentemente el concreto convencional para distintos tipos de construcciones (edificaciones, viales, hidráulica, etc.), no es común el uso de adiciones principalmente de la nanosílice, ya sea por desconocimiento de su empleo, falta de disponibilidad en los mercados o por la presunción de su alto costo. Ante ello se pretende diseñar y obtener concretos con adiciones de nanosílice empleando agregados locales, de esa manera conocer el comportamiento que esta manifiesta tanto en estado fresco y endurecido

1.2. Identificación y formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es el efecto de la adición del nanosílice en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido empleando agregados de la ciudad de Abancay-Apurímac-2019?

1.2.2. Problema Específico

a) ¿Cuál es el efecto de la adición del nanosílice en las propiedades del concreto en estado fresco (asentamiento, extensibilidad, temperatura y peso unitario), empleando agregados de la ciudad de Abancay-Apurímac-2019?

b) ¿Cuál es el efecto de la adición del nanosílice en las propiedades del concreto en estado endurecido (resistencia a compresión y flexión) empleando agregados de la ciudad de Abancay-Apurímac-2019?

1.3. Justificación de la investigación

En la actualidad, la ciudad de Abancay no cuenta con estudios de concretos con adición de nanosílice, por lo cual se desconoce el comportamiento que esta podría manifestar en combinación con agregados de la ciudad de Abancay para la producción de concretos.

El presente trabajo de investigación pretende dar a conocer una nueva alternativa de concreto, aprovechando los recursos naturales de la ciudad de Abancay, la cual cuenta con materiales locales y condiciones ambientales particulares. De esa manera generar una fuente de información confiable para su conocimiento, aplicación y desarrollo en la industria de la construcción que generen resultados eficientes, la cual beneficie a la ciudadanía motivo de la investigación.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la adición del nanosílice en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido empleando agregados de la ciudad de Abancay-Apurímac-2019.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Analizar el efecto de la adición del nanosílice en las propiedades del concreto en estado fresco (asentamiento, extensibilidad, temperatura y peso unitario), empleando agregados de la ciudad de Abancay-Apurímac-2019.
- b) Analizar el efecto de la adición del nanosílice en las propiedades del concreto en estado endurecido (resistencia a compresión y flexión), empleando agregados de la ciudad de Abancay-Apurímac-2019.

1.5. Delimitaciones de la investigación

1.5.1. Espacial

El estudio se realizó en el distrito de Abancay, provincia de Abancay, región Apurímac.

1.5.2. Temporal

La investigación se efectuó en el periodo 2020, donde se realizó la toma de muestras, ensayos y procesamiento.

1.5.3. Social

En la presente investigación no se aplica la delimitación social, puesto que el estudio involucra a estructuras establecidas en la ciudad de Abancay, específicamente el área de construcción.

1.5.4. Conceptual

La investigación comprendió los aspectos de recolección, evaluación y procesamiento de datos para analizar el efecto que produce la adición del nanosílice en las propiedades del concreto en estado fresco (Asentamiento, extensibilidad, peso unitario y temperatura) y endurecido (Resistencia a compresión y flexión) empleando agregados locales.

1.6. Viabilidad de la investigación

La investigación es viable, puesto que los recursos financieros, humanos y materiales a utilizarse son disponibles en la zona, las cuales garantizan el desarrollo de la investigación.

1.7. Limitaciones

La investigación se limita solo para la ciudad de Abancay- Apurímac, la elección de los agregados se condicionan a las canteras (Murillo, Tapia, Quispe y Ballón), por lo tanto, los resultados están sujetos a las propiedades de ellos.

Los ensayos del concreto fresco y endurecido se restringen solo a los ensayos de asentamiento, extensibilidad, peso unitario compactado, temperatura, resistencia a compresión y flexión, para resistencias de diseño $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. A nivel internacional

Zanon y Giannotti (2018) en su investigación titulada “*Evaluación de los efectos del nanosílice en hormigones sometidos a la acción de iones cloruros*”, para la revista ALCONPAT de México. Realizaron ensayos físicos-químicos superficiales y microestructurales con la intención de evaluar el impacto de las nanopartículas de sílice en presencia de una sustancia que influye en la durabilidad. Utilizaron 10% de sílice y adiciones de nanosílice en cantidades de 0.1%, 0.5% y 0.7%. Concluyendo que adiciones de nanosílice en dosificaciones de 0.1% no proporciona mejoras a las propiedades mecánicas y físicas; en cambio al utilizar nanosílice en dosis de 0.5% y 0.7% en combinación del 10% de sílice se incrementa de la resistencia mecánica del concreto.

Alshammari (2018) desarrolló la investigación titulada “*Nano silica's impact on strength and porosity*”, (Tesis de posgrado), Universidad de Dayton, Ohio, Estados Unidos. Su objetivo fue determinar cómo afecta la nanosílice a la porosidad, flexión y compresión. Combinó cemento tipo 3 con diferentes porcentajes de nanosílice entre 0%, 0.5%, 1.0%, 2.0% y 3%. La resistencia de diseño fue de 6000 psi a los 28 días. Determinando que las propiedades mecánicas aumentan a medida que se incrementa la nanosílice, pero este aumento se detiene en el 2%. En referencia a la porosidad, esta disminuye cuando el porcentaje de nanosílice aumenta. Con respecto a la resistencia a flexión se demostró que adicionando 1% de nanosílice la resistencia a flexión tuvo un incremento no muy significativo, alcanzando una resistencia de 7557 lbf con respecto al concreto sin adición de nanosílice que obtuvo 7111 lbf.

Moreno (2018) desarrolló la investigación titulada “*Optimización en la incorporación de nanoadiciones al cemento para la mejora de sus prestaciones y durabilidad*”, (Tesis doctoral), Universidad Politécnica de Madrid, España. Su objetivo fue estudiar el efecto que tiene la incorporación de nanosílice al cemento, así como su influencia en la microestructura resultante. La rotura se realizó a edades de 2, 7, 28 y 90 días. Para ello, añadió nanosílice en un 2% en peso de cemento. Se determinó que la presencia de nanosílice en el cemento produce cambios estructurales, debido a que, durante las fases iniciales de hidratación, los cristales absorben una cantidad significativa de agua. La presencia de nanosílice en el cemento también afecta al comportamiento mecánico. Además, que la nanosílice a edades tempranas tienen una actividad puzolánica elevada, absorbiendo una cantidad excesiva de agua para su hidratación a los primeros días, resultando imprescindible el uso de superplastificantes para continuar con la hidratación a partir de los 7 días.

Puerto (2019) desarrolló la investigación titulada “*Efecto de la nanosílice sobre las propiedades reológicas de la matriz cementante y su influencia en el estado endurecido del*

concreto hidráulico”, (Tesis doctoral), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Su finalidad fue determinar cómo afecta la nanosílice en el concreto endurecido. Para ello, realizó pruebas con el concreto, incluyendo mediciones de trabajabilidad, reológicas, compresión axial y el módulo elástico a edades 7, 28, 56 y 90 días. Concluyendo que el concreto que contiene 1.5% de adición, demostró mayores desempeños en todos los ensayos.

Lochana (2018) desarrolló la investigación titulada “*Use of Nanotechnology in Concrete*”, (Tesis de posgrado), Universidad Tecnológica de Texas, Estados Unidos. Su objetivo fue mejorar las cualidades del concreto. Para ello, realizó estudios sobre la trabajabilidad, el tiempo de fraguado, compresión axial, módulo elástico y permeabilidad con adiciones de nanosílice entre 1% y 3%. Demostrando que la trabajabilidad del concreto mejora al adicionar nanosílice; sin embargo, un mayor asentamiento tiene tendencia a aumentar la fisuración debido a la contracción plástica del concreto, lo que reduce la durabilidad. Debido al aumento de la tasa de hidratación de la mezcla, el concreto se comporta significativamente mejor a edades tempranas.

Al Luhybi y Altalabani (2019) desarrollaron la tesis “*Efecto de la nanosílice en las propiedades y microestructura de hormigón ligero*”, (Tesis de posgrado), Universidad de Mosul, Irak. Su objetivo fue examinar la estructura y el comportamiento del hormigón. Llevó a cabo pruebas de trabajabilidad y durabilidad, analizó la microestructura del hormigón mediante espectroscopia de rayos X. Concluyendo que la nanosílice mejora el comportamiento y durabilidad del hormigón, debido a que esta tiene una estructura más uniforme y homogénea además de hacer a la mezcla más densa, evitando fugas y penetraciones de gas y productos químicos que afectan al hormigón.

2.1.2. A nivel nacional

Ramirez (2018) realizó la investigación titulada “*Concreto liviano de alta resistencia empleando nanosílice y puzolana natural*”, (Tesis para pregrado), Universidad Federico Villareal. Su objetivo fue determinar la dosificación de nanosílice como adición mineral a fin de obtener concretos livianos de alta resistencia. Para ello realizó ensayos de (consistencia, densidad aparente, temperatura, Contenido de aire) y endurecido (compresión, tracción, flexión, densidad de equilibrio y densidad seca) que fueron ensayadas a los 3, 7, 28 y 56 días. Se determinó que el concreto con nanosílice añadida obtiene los resultados a compresión de 562 kg/cm², 661 kg/cm², 755 kg/cm² y 801 kg/cm² a los 56 días.

Leon (2018) realizó la investigación titulada “*Las partículas de nanosílice y su efecto en la resistencia a la compresión del concreto en la ciudad de Huancayo*”, (Tesis de pregrado), Universidad Continental. Su objetivo fue determinar la dosis adecuada de nanosílice, con la finalidad de incrementar la compresión axial y la consistencia en concretos autocompactantes elaborados con distintas relaciones agua/cemento. Para ello evaluó el concreto a edades de 1, 3, 7, 14 y 28 días, tanto en estado fresco como endurecido. Encontrando que el asentamiento se elevó a 7 ¼” para una dosis del 2% de nanosílice con una relación de mezcla de a/c= 0.40, logrando resistencias mecánicas de 595 kg/cm² a la edad de 28 días. El asentamiento se elevó a 7 ½” para una dosis del 1.5% de nanosílice con una relación de mezcla de a/c= 0.4, logrando la resistencia mecánica de 498 kg/cm². Con una dosis de nanosílice del 1%, el asentamiento se elevó a 6 ½”, obteniendo una resistencia mecánica de 389 kg/cm² a los 28 días de edad. La adición de dosis mayores de nanosílice tiene efectos negativos.

Velasquez (2019) desarrolló la investigación titulada “*Propiedades físicas y mecánicas del concreto pesado con nanosílice para los hospitales de Lima Metropolitana - 2019*”, (Pregrado), Universidad Cesar Vallejo. Su finalidad fue evaluar cómo varían los

concretos pesados con nanosílice en sus cualidades físicas y mecánicas. Desarrolló tres relaciones de agua/cemento (0.50, 0.45 y 0.40) con adiciones de 0.5%, 1.0% y 1.5%. Concluyendo que con la adición de 0.5% de nanosílice y una relación a/c de 0.40, los ensayos de compresión diametral produjeron un aumento de la resistencia del 16.27%, mientras que los ensayos de flexión produjeron aumentos de la resistencia del 3.07%, 5.07% y 6.11% con dosis de 0.5%, 1.0% y 1.5% de nanosílice a los 28 días.

Larico (2018) desarrolló la investigación titulada “*Influencia del uso del nanosílice en la resistencia a la compresión del concreto simulando condiciones de curado en obra, en la ciudad de Juliaca – 2018*”, (Pregrado), Universidad Peruana Unión. Su propósito fue comparar las resistencias a compresión del concreto sin adición con otro adicionado. Para ello, añadió nanosílice en porcentajes (0.5%, 1.0% y 1.5%). Concluyendo que el concreto convencional obtuvo resistencias inferiores a las resistencias de diseño, disminuyendo en 25.19%, en cambio el concreto adicionado con nanosílice (0.5%, 1.0% y 1.5%) alcanzó resistencias superiores, logrando incrementos de 16.35%, 47.39% y 40.26% a la edad de 28 días, haciendo el curado en condiciones de obra.

Saavedra (2019) desarrolló la investigación titulada “*Análisis de la influencia de la nanosílice en la resistencia y costo de producción de concretos convencionales elaborados con cementos yura tipo I y IP en la ciudad de Arequipa - 2019*”, (Tesis de pregrado), Universidad Católica de Santa María. Su objetivo fue comprobar cómo afecta la adición de nanosílice a las características del concreto elaborado con cemento Yura tipo I y IP. La investigación utilizó nanosílice en cantidades de 0.5% y 0.7%, resistencias de diseño de 420 kg/cm². Se determinó que el uso de nanosílice reduce el coste de producción del concreto por metro cúbico y que el uso del cemento Yura tipo I con nanosílice añadida es significativamente más ventajoso que el uso del cemento tipo IP. También concluyó que la incorporación de nanosílice produce efectos favorables en las propiedades del concreto.

2.1.3. A nivel regional y local

No se encontraron publicaciones referidos al empleo de la adición del nanosílice en el concreto a nivel regional y/o local.

2.2. Bases teóricas

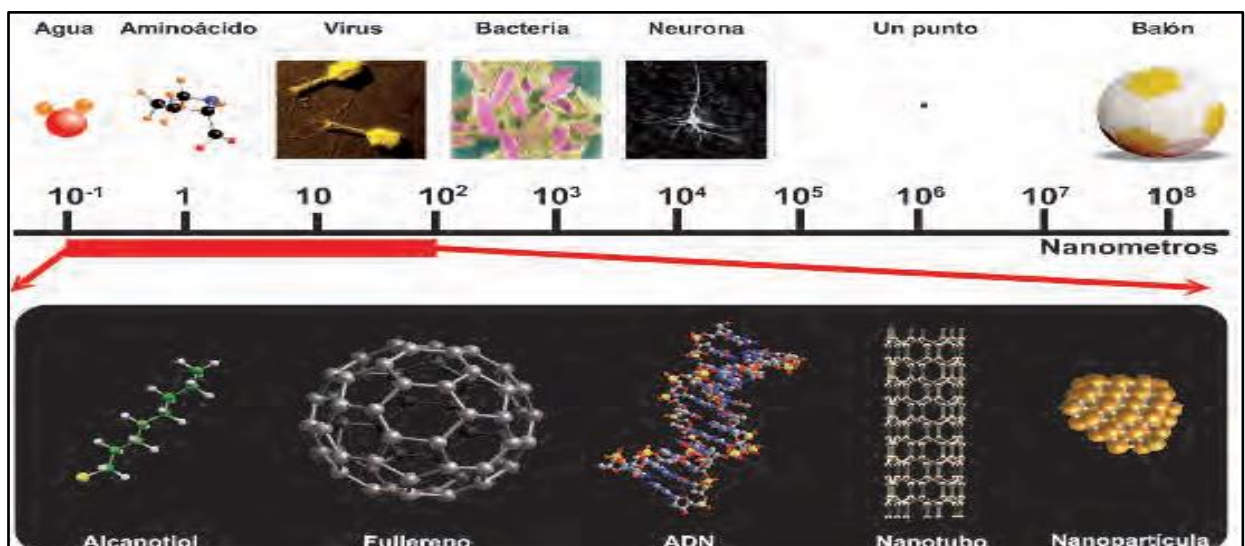
2.2.1. La nanociencia y nanotecnología

La Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (2009), en su libro nanociencia y nanotecnología menciona que:

El término “nano”, es una palabra griega que significa diminuto, pequeño, enano. En el sistema internacional de unidades, este prefijo se utiliza para denotar un factor de 10^{-9} , es decir, multiplicar cualquier cosa por 0.000000001 o una mil millonésima parte de algo. Por lo tanto, un nanómetro es la millonésima parte de un milímetro, 80000 veces más pequeña que el diámetro de un cabello humano. (p. 22)

Figura 1

Escala de objetos comprendido entre 0.1 y 100 nm



Fuente: (Fundación española para la ciencia y la tecnología, 2009)

El prefijo “nano” se involucra en múltiples disciplinas como la nanobiotecnología, nanoelectrónica, nanomedicina, nanoquímica y de objetos tales como nanotubos,

nanoimanes, nanomotores y nanopartículas. En pocas palabras “nano” denota que se va a investigar hasta sus componentes más diminutos. Los objetos con tamaños entre 0,1 nm y 100 nm pueden considerarse que son los actores del nanomundo.

Hoy en día tenemos el conocimiento necesario para mover, manipular y construir objetos de estos tamaños (nanociencia), que serán utilizados en un futuro cercano para realizar una función específica dentro de un determinado dispositivo (nanotecnología).

2.2.1.1. La nanociencia.

Ciencia es el trabajo realizado en un laboratorio de investigación, en el que se busca o prueba una capacidad o una ley de la naturaleza. La ciencia es necesidad de saber, un reflejo de la curiosidad del ser humano, planteada de forma objetiva y utilizando el método científico. La síntesis de una nueva molécula, la manipulación de una proteína o el establecimiento de una ley relacionada con el transporte electrónico pueden ser algunos ejemplos del trabajo científico que se lleva a cabo en un laboratorio. Los resultados obtenidos de cada una de estas investigaciones se redactan en forma de artículo y, después de superar un examen crítico por parte de otros científicos, se publican en revistas científicas internacionales. Así todo el mundo puede tener acceso al conocimiento generado y comprobar o refutar las ideas publicadas (Fundación española para la ciencia y la tecnología, 2009).

En definitiva, la “nanociencia” se encarga de estudiar y comprender las propiedades de materiales, objetos, instrumentos, estructuras y sistemas a escala manométrica.

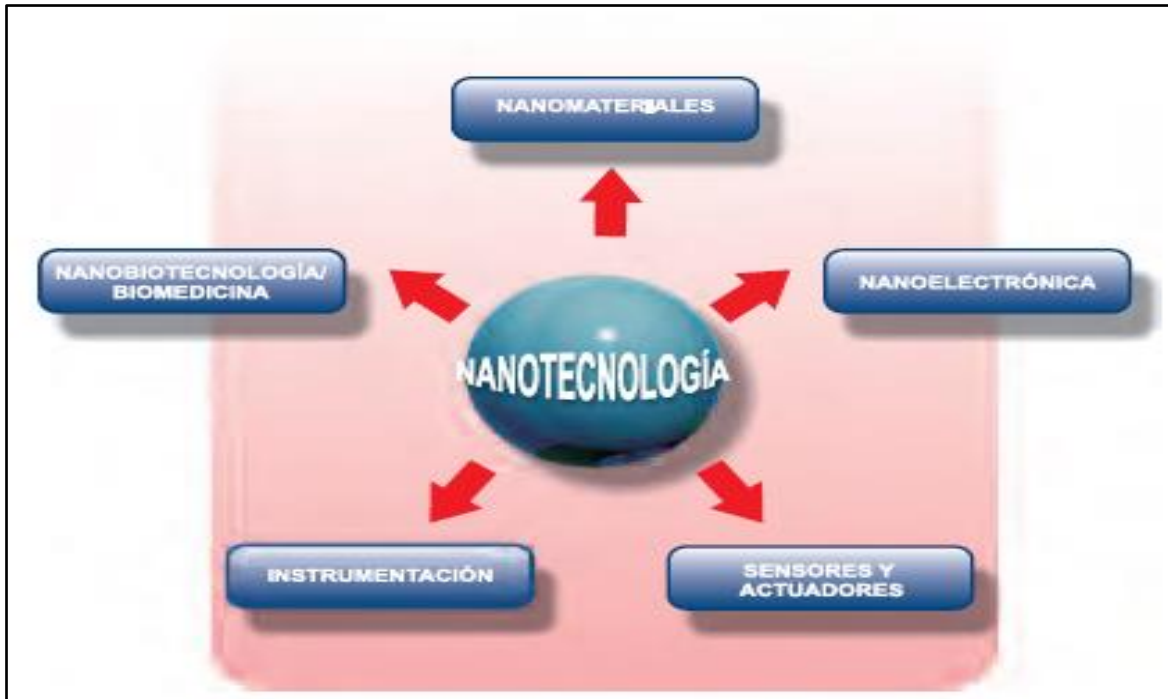
2.2.1.2. La nanotecnología.

La nanotecnología se define como la elaboración de estructuras, dispositivos, materiales y sistemas funcionales a través del ensamblado y control de la materia a escala nanométrica (de 0.1 a 100 nanómetros del átomo hasta por debajo de la célula). La nanotecnología también implica la aplicación de nuevas ideas y propiedades (físicas, químicas, biológicas,

mecánicas y eléctricas) que surgen como resultado de esa escala reducida (Fundación española para la ciencia y la tecnología, 2009).

Figura 2

Abanico de Aplicaciones de la nanotecnología



Fuente: (Fundación española para la ciencia y la tecnología, 2009)

2.2.2. Los nanomateriales

Los nanomateriales han contribuido enormemente a varias tecnologías de fabricación, debido a su síntesis, propiedades, aplicaciones y dispositivos específicos. Además, estas capacidades de tecnologías de fabricación han medido los nanomateriales como un material clave para una amplia gama de aplicaciones, convirtiéndose en una prioridad para el desarrollo de políticas de ciencia y tecnología, ya que están involucrados en varios productos modernos. En general, los nanomateriales son estructuras de tamaño nanométrico, que tienen propiedades físicas y químicas extraordinarias, debido a su tamaño ultra pequeño. Las grandes superficies específicas de los nanomateriales pueden mejorar los procedimientos industriales actuales. Además, con estos nanomateriales de diversas

composiciones, las morfologías pueden proporcionar herramientas poderosas para técnicas de fabricación avanzadas. Por lo tanto, las técnicas basadas en nanomateriales pueden desempeñar papeles vitales en muchos procedimientos de fabricación al aumentar la sensibilidad, magnificar la precisión y mejorar las limitaciones de producción, etc. Además, la libertad de funcionalizar nanomateriales con diversos grupos químicos y compuestos, lo cual es extremadamente deseable para la fabricación selectiva de algunos productos (Chaudhery Mustansa, 2020).

2.2.2.1. Los nanomateriales en la industria de la construcción.

El empleo de los nanomateriales en la construcción no solo mejora la durabilidad y el mecanismo de los componentes de la construcción, sino que también proporciona edificios energéticamente eficientes. Las nanopartículas mejoran las propiedades microestructurales del concreto, ya que pueden llenar espacios entre partículas.

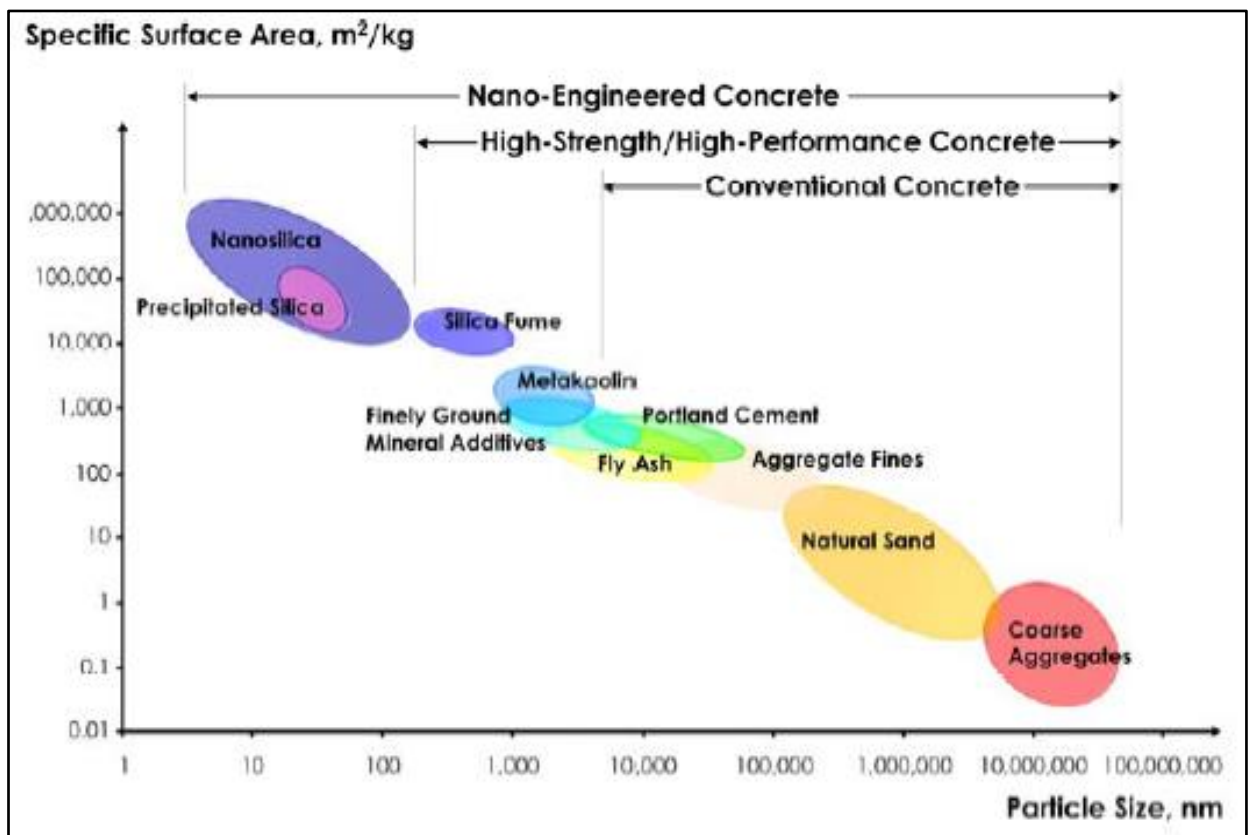
Las estructuras modificadas con diferentes tipos de nanopartículas mejoran la autolimpieza y las actividades antibacterianas del concreto. Esto aumenta el proceso de hidratación, generando un mejor enlace entre la pasta del cemento y el árido, proporcionando la detención de grietas y efectos de interbloqueo en las partículas de cemento. Mejorando aún más la resistencia, el cizallamiento, la tracción y flexión. Los nanomateriales no solo actúan como un activador para acelerar la hidratación del cemento, sino que también ayudan a disminuir el tamaño de los cristales.

Las nanopartículas comunes utilizadas en las industrias de la construcción son TiO_2 (aumenta el grado de hidratación y actúa como autolimpiante en el concreto), SiO_2 (mayor resistencia mecánica, resistencia al fuego en cerámica y antirreflejo en ventanas).

Durante décadas, se lograron desarrollos importantes en el desempeño del concreto mediante la aplicación de partículas súper finas: cenizas volantes, humo de sílice, metacaolín y ahora la nanosílice (Chaudhery Mustansa, 2020).

Figura 3

Escala específica relacionada con los materiales de concreto



Fuente: (Sobolev et ál., s.f.)

2.2.3. Componentes del concreto

El concreto es una pasta, en la cual se hallan embebidas ligantes (agregados). Las características físicas y químicas de los materiales que componen el concreto, son fundamentales para determinar la calidad del concreto (Portugal, 2007, p. 19).

Definiciones actuales mencionan que el concreto es producto de 5 componentes (cemento, áridos, agua, aditivos y/o adiciones).

Portugal (2007), menciona que “los concretos con adiciones, deben cumplir con ciertos requisitos, especificaciones y un estricto control de calidad que un concreto convencional” (p. 19).

Tabla 1*Componentes del concreto*

Material	Variables a considerar
Cemento	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de cemento • Propiedades especiales
Agregados	<ul style="list-style-type: none"> • Normales, ligeros, pesados. • Naturales, chancados. • Gradación, forma, textura.
Agua	<ul style="list-style-type: none"> • Límites de componentes dañinos al concreto • Nanosílice, microsílice, ceniza volante, etc.
Adiciones	<ul style="list-style-type: none"> • Pigmentos • Fibras
Aditivos	<ul style="list-style-type: none"> • Plastificantes, superplastificantes. • Acelerantes, retardantes, etc.

Fuente: (Portugal Barriga, 2007)

2.2.3.1. Cemento.

Es un polvo muy fino y un aglomerante hidrófilo, que se crea de calcinar rocas calizas, arcillas y areniscas, al combinarlo con el agua se endurece para adquirir propiedades de adherencia y resistencia. Si bien es cierto, es el insumo de menor cantidad en el concreto, pero es el que determina el comportamiento requerido. (Pasquel, 1998, p.13)

Según Rivva (2002), el cemento portland se fabrica moliendo el clinker hasta convertirlo en un polvo fino. Tiene el mayor coste por unidad y es el componente más activo del concreto. Para conseguir los atributos adecuados, hay que elegir y utilizar cuidadosamente el cemento; las distintas marcas y tipos de cemento tienen propiedades diferentes en cuanto a composición y finura (p. 68).

Existen diferentes cementos en el mercado, los cuales ofrecen determinadas propiedades para las exigencias propias de la obra, por ello debe especificarse e indicarse las características del cemento, para no perjudicar las propiedades del concreto.

2.2.3.1.1. Compuestos químicos del cemento.

Abanto (2009), menciona que el cemento portland es una combinación de numerosos compuestos por lo que es complicado representarlo con una fórmula química. Sin embargo, existen compuestos químicos que ocupan aproximadamente el 90% del cemento portland.

Tabla 2

Compuestos químicos del cemento portland

Composición química	Abreviación	Porcentajes límites
Silicato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$)	C_3S	30 % a 60%
Silicato dicálcico ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$)	C_2S	15% a 37%
Aluminato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$)	C_3A	7% a 15%
Alumino ferrita tricálcica ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$)	C_4AF	8% a 10%

Fuente: (Abanto, 2009)

El silicato tricálcico (C_3S): “También conocido como alita, se encarga de proporcionar altas resistencias iniciales. El silicato tricálcico (C_3S) con el agua produce calor de hidratación con la finalidad de acelerar en endurecimiento de la mezcla de concreto” (Abanto, 2009, p. 16).

El silicato dicálcico (C_2S): “Conocido también como Belita, el causante principal de la resistencia posterior de la pasta de cemento. Su estabilidad química es bastante buena, por lo que el uso de cementos con alto contenido de silicato dicálcico para producir concretos resistentes al ataque de sulfatos es muy recomendable” (Abanto, 2009, pág. 16).

El silicato dicálcico (C₂S): “Conocido también como Belita, es el que proporciona a la mezcla de concreto la resistencia posterior, además de producir concretos resistentes al ataque de sulfatos” (Abanto, 2009, pág. 16).

El aluminato tricálcico (C₃A): “Es un compuesto que, al entrar en contacto con el agua, el proceso de fraguado es muy alto, razón por la cual es necesario adicionar sulfato de calcio para controlar el tiempo de fragua durante las primeras horas” (Abanto, 2009, pág. 16).

La alumino ferrito Tetracálcico (C₄AF): “Denominado Celita, este compuesto presenta un porcentaje considerable de calor de hidratación y alta estabilidad química, su función es similar al aluminato tricálcico” (Abanto, 2009, pág. 16).

2.2.3.1.2. Clasificación del cemento portland.

En la actualidad, en el Perú se elaboran 5 tipos de cementos, sus propiedades están en base a las especificaciones de la norma ASTM.

Tipo I.- “Cemento fabricado para su empleo en obras donde no se especifique alguna característica particular” (Abanto, 2009, p. 17).

Tipo II.- “Cemento fabricado para su uso en obras que están sujetas a los efectos moderados de sulfatos y donde hace necesario la acción moderada de calor de hidratación” (Abanto, 2009, p. 17).

Tipo III.- “Cemento fabricado con la finalidad de proporcionar al concreto altas resistencias iniciales” (Abanto, 2009, p. 17).

Tipo IV.- “Su uso es recomendado cuando las exigencias de la obra, crea la necesidad del empleo de concretos con bajo calor de hidratación” (Abanto, 2009, p. 17).

Tipo V.- “Cemento empleado cuando es necesario altas resistencias a la acción de los sulfatos. Es recomendable su uso en estructuras hidráulicas que están en contacto con agua de mar” (Abanto, 2009, p. 17).

2.2.3.1.3. Producción del cemento en el Perú.

Actualmente existe gran cantidad de fábricas de cementeras en el Perú, que tienen características y procesos de fabricación particulares. La industria de cementos en el Perú se caracteriza por tener un área de influencia comercial a nivel de norte, centro y sur del país, existiendo una alternativa variada de cementos a nivel nacional. (Pasquel, 1998, p. 46)

Tabla 3

Fábricas cementeras en el Perú

Cementos en el Perú		Producción Aproximada
ASOCEM	Cementos Lima	
	Cementos Andino	90%
	Cementos Pacasmayo	
	Cementos Yura	
NO ASOCEM	Cementos Inka	10%

Fuente: Pasquel (dilemas técnicos en la construcción del concreto, 8 de mayo del 2020)

Tabla 4

Tipos y marcas de cementos en el Perú- ASOCEM

Empresa	Tipo	Norma Aplicable	Marca comercial
UNACEM S.A.A. 53%	Tipo I	ASTM C 150	Andino Premium tipo I
	Tipo V	ASTM C 150	Andino tipo V
	Tipo IP	ASTM C 595	Andino IP
	Tipo IPM	NTP 334.090	Andino IPM
	Tipo HS/MH/R	ASTM C 1157	Andino Ultra
	Tipo I	ASTM C 150	Sol tipo I
	Tipo IP	ASTM C 595	Atlas tipo IP
	Tipo GU	ASTM C 1157	Apu
	Tipo I	ASTM C 150	Pacasmayo Tipo I
	Tipo V	ASTM C 150	Pacasmayo Tipo V

Cementos Pacasmayo S.A.A. 24%	Tipo IP	ASTM C 595	Pacasmayo Tipo Prefabricados
	Tipo IPM	NTP 334.090	Pacasmayo Extra Forte
	Tipo HS/MH/R	ASTM C 1157	Pacasmayo Ultra Armado
	Tipo I	ASTM C 150	Pacasmayo Viaforte
	Tipo IP	ASTM C 595	Pacasmayo Fortimax
	Tipo GU	ASTM C 1157	Mochica Antisalitre
	Tipo I	ASTM C 150	Mochica tipo GU
	Tipo V	ASTM C 150	Amazónico
YURA S.A. 21%	Tipo IP	ASTM C 595	Cemento Portland Puzolánico Yura IP
	Tipo HE	ASTM C 1157	Cemento Yura Tipo HE Alta Resistencia Inicial
	Tipo HS	ASTM C 1157	Cemento Yura Tipo HS Antisalitre
	Tipo LH	ASTM C 91	Cementos para acabados LH
	Tipo GU	ASTM C 595	Cemento Portland Puzolánico Frontera GU Ultra Fuerte
	Tipo IP	ASTM C 595	Cemento Portland Puzolánico RUMI IP Alta Resistencia

Fuente: Pasquel (dilemas técnicos en la construcción del concreto, 8 de mayo del 2020)

Tabla 5

Otros tipos y marcas de cementos en el Perú

Empresa	Tipo	Norma Aplicable	Marca comercial
Cemento Inka S.A. 3%	Tipo I	ASTM C 150	Inka Portland Tipo I
	Tipo ICO	ASTM C 150	Inka Ultra Resistente con Adición Microfiller Calizo

	Tipo HS/LH/R	ASTM C 1157	Inka Antisalitre Premium
	-	ASTM C1157	Inka Albañilería
MIXERCON S.A.	Tipo I	ASTM C 150	Cemento Nacional Tipo I Nacional Portland Tipo HS para construcciones expuestas al salitre y la humedad.
	Tipo HS	ASTM C 1157	
	Tipo ICO	NTP 334.090	Nacional Tipo ICO Súper Trabajabilidad
CEMEX PERÚ S.A.	Tipo I	-	Quisqueya Uso Estructural Altas resistencias
	Tipo V	-	Quisqueya Uso General
	Tipo GU	-	Quisqueya Zona Costera
	Tipo I	-	Tolteca blanco
INVERCEM S.A.	Tipo I	-	Qhuna Tipo I
	Tipo V	-	Qhuna Tipo MS

Fuente: Pasquel (dilemas técnicos en la construcción del concreto, 8 de mayo del 2020)

2.2.3.1.4. Características técnicas de los principales cementos en el Perú.

El cemento seleccionado debe cumplir las especificaciones químicas y físicas y las restricciones indicadas en la Norma Técnica Peruana. Cuando se desconoce los valores del peso específico, se recomienda utilizar valores de 3.15 para los cementos normales y de 2.97 para cementos puzolánicos. En las tablas 6 y 7 se muestra las composiciones químicas y físicas de los cementos peruanos.

Tabla 6

Características químicas de los cementos peruanos

Elemento	Sol	Yura	Yura	Atlas	Andino	Pacasmayo
	Tipo I	Tipo I	Tipo IP	Tipo IP	Tipo I	Tipo I
CaO	63.20	65.90	46.30	53.65	64.18	63.02
SiO ₂	19.79	22.66	43.51	26.28	21.86	19.50

Al ₂ O ₃	6.15	4.15	3.36	6.44	4.81	6.20
Fe ₂ O ₃	2.82	2.41	1.98	4.84	3.23	3.30
K ₂ O	0.96	-	-	1.07	0.65	0.70
Na ₂ O	0.28	-	-	0.37	0.15	0.26
SO ₃	2.58	1.66	1.42	2.84	2.41	2.50
MgO	3.16	1.24	1.30	2.76	0.96	2.13
Cal libre	0.52	-	-	0.29	0.59	1.20
P. Ignición	0.80	0.96	1.60	1.63	1.24	2.30
R. Insolubles	0.62	0.48	26.70	10.21	0.42	0.50
C ₃ S	54.18	60.00	-	-	51.33	54.85
C ₂ S	15.87	19.70	-	-	23.95	14.52
C ₃ A	11.53	6.92	-	-	7.28	10.85
C ₄ AF	8.57	7.33	-	-	9.82	10.03

Fuente: (Pasquel, 1998, p.47)

Tabla 7

Características físicas de los cementos peruanos

Elemento	Sol	Yura	Yura	Atlas	Andino
	Tipo I	Tipo I	Tipo IP	Tipo IP	Tipo I
Peso específico (gr/cm ³)	3.11	3.11	2.86	3.03	3.11
Fineza malla 100 (%)	0.04	-	-	0.03	0.34
Fineza malla 200 (%)	4.14	-	-	0.38	5.66
S. específica Blaine (cm ² /gr)	3,477	3,597	4,086	4,472	3,300
Contenido de aire (%)	9.99	-	-	9.82	6.50
Expansión en autoclave (%)	0.18	0.20	0.11	0.15	0.02
Fraguado inicial Vicat	1hr 49'	2hr	2hr	1hr 59'	2hr 50'
Fraguado Final Vicat	3hr 29'	4hr	4hr 10'	3hr 41'	3hr 45'
f'c a 3 días (kg/cm ²)	254	242	140	235	204
f'c a 7 días (kg/cm ²)	301	335	222	289	289
f'c a 28 días (kg/cm ²)	357	388	316	349	392
Calor hidratación a 7 días (cal/gr)	70.60	-	-	60.50	64.93
Calor hidratación a 28 días (cal/gr)	84.30	-	-	78.40	-

Fuente: (Pasquel, 1998, p.48)

2.2.3.2. Agregados.

Se considera como un componente inerte, llena aproximadamente 3/4 de una unidad cúbica del concreto y su calidad es muy importante para el resultado. Se denomina inerte porque no tiene impacto directo en la acción química que ocurre entre el cemento y el agua.

El concreto está compuesto por minerales como el granito, la arenisca, el cuarzo, el basalto y sus mezclas. Las cualidades físicas y químicas de las partículas minerales afectan a casi todos los atributos del concreto. (Pasquel, 1998, p.69)

2.2.3.2.1. Agregado fino.

“Se define como un material proveniente de la desintegración artificial o natural de las rocas, para denominarse agregado fino, esta debe pasar la malla 3/8” (9.5mm), además debe cumplir los husos que se encuentran dispuestos en la Norma Técnica Peruana 400.037” (Abanto, 2009, p. 23).

Se alcanza buenos resultados con agregados finos libre de residuos, que no excedan el 3% en partículas delesnables y el 5% de material pasande de la malla n° 200.

Tabla 8

Límites granulométricos del agregado fino

Tamiz	Abertura (mm)	N.T.P 400.037	
		Inferior	Superior
3/8”	9.50	100	100
N° 4	4.75	95	100
N° 8	2.36	80	100
N° 16	1.18	50	85
N° 30	0.60	25	60
N° 50	0.30	5	30
N° 100	0.15	0	10

Fuente: Adaptado de la Norma Técnica Peruana 400.037.

2.2.3.2.2. *Agregado Grueso.*

Abanto (2009), “se denomina agregado grueso al retenido en la malla 4 (4.75mm), proviene de la desintegración artificial o natural de las rocas, puede ser grava o piedra chancada y debe cumplir con los husos granulométricos establecidos en la Norma Técnica Peruana 400.037” (p. 26).

Gravas: Se trata de un conjunto de pequeños fragmentos de piedra conocidos como "cantos rodados", que suelen encontrarse depositados de forma natural en canteras y cauces de ríos. Las gravas tienen un peso que varía entre 1600 a 1700 kg/m³. (Abanto, 2009, p. 26)

Piedra chancada: Producido por la trituración manual de rocas. Siempre que la piedra sea resistente, duradera y esté limpia, puede utilizarse; los estudios demuestran que el concreto elaborado con piedra triturada o partida es algo más resistente que el concreto hecho con piedra redondeada. La piedra triturada pesa entre 1450 y 1500 kg/m³. (Abanto, 2009, p. 26)

Granulometría

No es sencillo establecer un punto de vista numérico único para estimar el tamaño de cada partícula mediante la medición de sus dimensiones. Los materiales retenidos se pesan y se expresan en porcentaje del peso total después de ser tamizados a través de una sucesión de mallas con aberturas predefinidas. (Pasquel, 1998, p. 89)

Cada agregado tendrá su propia curva granulométrica porque no existe una óptima. Los obstáculos fundamentales para la generalización de las concepciones de las curvas ideales son la forma y la rugosidad de la superficie. Las curvas granulométricas representan las proporciones de las distintas granulometrías en el árido. (Pasquel, 1998, p. 89)

Tabla 9*Límites granulométricos de los agregados gruesos*

Huso	Tamaño máximo nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados													
		100 mm (4")	90 mm (3 1/2")	75 mm (3")	63 mm (2 1/2")	50 mm (2")	37,5 mm (1 1/2")	25,0 mm (1")	19,0 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)	1,18 mm (No. 16)	475 µm (No. 50)
1	90 mm a 37,5mm 3 1/2" a 1 1/2"	100	90 a 100		25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
2	63 mm 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 mm a 25,0 mm 2" a 1"	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	-	-	-	-	-	-
357	50 mm a 4,75 mm 2" a N°4	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-	-
4	37,5 mm a 19,0 mm 1 1/2" a 3/4"	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
467	37,5 mm a 4,75 mm 1/2" a N° 4	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-	-
5	25,0 mm a 12,5mm 1" a 1/2"	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	-
56	25,0 mm 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	25,0 mm a 4,75mm 1" a N° 4	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-	-
6	19,0 mm a 9,5 mm 3/4" a 3/8"	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-	-
67	19,0 mm a 4 mm 3/4" a N° 4	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-
7	12,5 mm 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 mm a 2,36 mm 3/8" a N° 8	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	-
89	9,5 mm a 1,18 mm 3/8" a N° 16	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 35	5 a 30	0 a 10	0 a 5

Fuente: Adaptado de la (Norma Técnica Peruana 400.037, 2014)

2.2.3.3. Agua

Es un componente primordial para que ocurra la hidratación del cemento y el posterior progreso de sus cualidades, además de ser importante para el proceso de curado. Por esta razón, el agua que se emplea en el concreto, debe obedecer ciertas características específicas. (Pasquel, 1998, p.59)

Tabla 10

Parámetros permisibles del agua

Descripción	Límites permisibles	
Sólidos en suspensión 5000ppm Máximo	5000ppm	Máximo
Materia orgánica 3ppm Máximo	3ppm	Máximo
Alcalinidad 1000ppm Máximo	1000ppm	Máximo
Sulfatos 600ppm Máximo	600ppm	Máximo
Cloruros 1000ppm Máximo	1000ppm	Máximo
PH 5 a 8	5 a 8	-

Fuente: (Norma Técnica Peruana 339.088, 2014)

2.2.3.4. Adiciones.

2.2.3.4.1. La nanosílice.

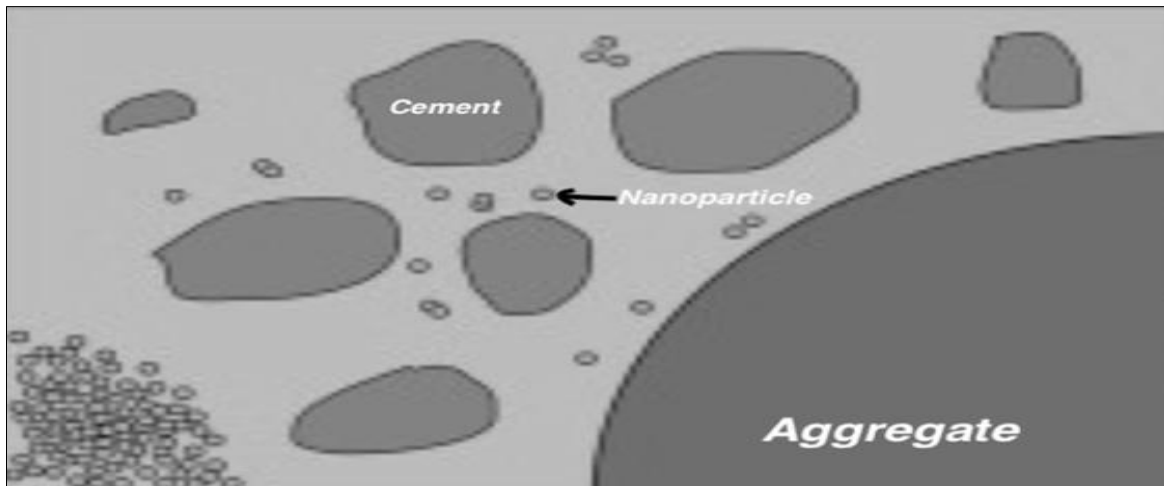
Compuesta por fracciones nanométricas (decenas de nanómetros), conformado en su mayoría por SiO₂. Ofrece el más alto grado de reactividad y pureza, que es como mínimo del 99,9%. Presenta cualidades puzolánicas, que junto con los componentes hidratados del cemento aumentan sus propiedades. Este producto se desarrolló en respuesta a la demanda de innovación, que se comercializa como sustituto de la microsílice, que se ha utilizado eficazmente en el concreto durante muchos años casi exclusivamente como producto de adición (Chaudhery, 2020, p. 76).

Los aditivos líquidos basados en adición de nanosílice son dispersiones acuosas de partículas de sílice reactiva de alta pureza y de tamaño de partícula hasta 100 veces inferior al de la

microsílice. Y a diferencia de la microsíllice, que se obtiene como un subproducto de la industria siderúrgica, las partículas de nanosíllice se obtienen por procesos de síntesis química, de tal modo que su pureza es muy superior a la de la microsíllice, con valores de contenidos de SiO₂ por encima del 95% en general (Chaudhery, 2020).

Figura 4

Tamaño de las nanopartículas en comparación con el cemento y agregado.



Fuente: (Maiyalagan et ál., 2006).

a) Propiedades de la nanosíllice.

Propiedades físicas.

Es un líquido levemente viscoso cuyo tamaño de partículas se encuentra entre 3 nm. y 150 nm. (1 nm. = 10⁻⁹ m.), 1000 veces más fina que las partículas del cemento. La superficie específica es extremadamente grande entregándole así plasticidad a la mezcla. Su densidad es aproximadamente de 1.030 kg/m³. (Pérez, 2008).

Propiedades químicas.

Dado que la nanosíllice es una sílice líquida que reacciona con el concreto, pero no es cristalina, se denomina material amorfo. La composición química exacta de esta sustancia se mantiene en reserva, sin embargo, se supone que el dióxido de silicio constituye la mayor parte de ella. (Pérez, 2008).

b) Reacción de la nanosílice en el concreto.

La adición del nanosílice modifica la estructura del concreto, la cual permite la optimización del cemento. Esto se debe a dos mecanismos distintos, uno basado en las cualidades físicas y otro en las propiedades químicas, responsables de estas modificaciones.

Físicamente, el tamaño de las partículas está relacionada en esta contribución. La nanosílice ocupa los vacíos que existe entre los granos de cemento, mejorando la estructura del concreto. Aun cuando no exista reacción química con la adición de la nanosílice, el nanorelleno produce mejoras significativas en la naturaleza del concreto. (Pérez, 2008)

A nivel químico, la nanosílice participa en procesos puzolánicos que consumen hidróxido de calcio y producen CSH (Silicato de Calcio Hidratado).

El Silicato de Calcio Hidratado, es el pegamento o aglomerante que mantiene unido los componentes del concreto, en cambio el hidróxido de calcio más débil no contribuye como aglomerante. A medida que el cemento se hidrata, las partículas de nanosílice se combinan con los elementos del concreto, distribuyéndose en todos los espacios existentes entre cemento y el agregado, haciendo una estructura homogénea, más resistente y compacta.

c) Efecto de la nanosílice en las propiedades del concreto.**- En estado fresco.**

Tiene un impacto acelerador debido a su naturaleza puzolánica y a su reactividad superficial, lo que se traduce en una mayor velocidad de hidratación. Debido a la finura de las nanopartículas, el calor de hidratación aumenta conforme se adiciona la proporción de nanosílice.

La nanosílice hace que la mezcla sea más cohesiva, reduce la disminución de agua y restringe la segregación. Además, disminuye la cantidad de cloro y reducción de poros, incremento de la tortuosidad y cristales de tobermorita (Dávila et ál., 2014).

Pérez (2008) manifiesta que la nanosílice genera mejores uniones entre la pasta de cemento y los agregados, incrementa la cohesión del concreto debido a la formación de Silicato de Calcio Hidratado (CSH), además de proporcionar las siguientes propiedades:

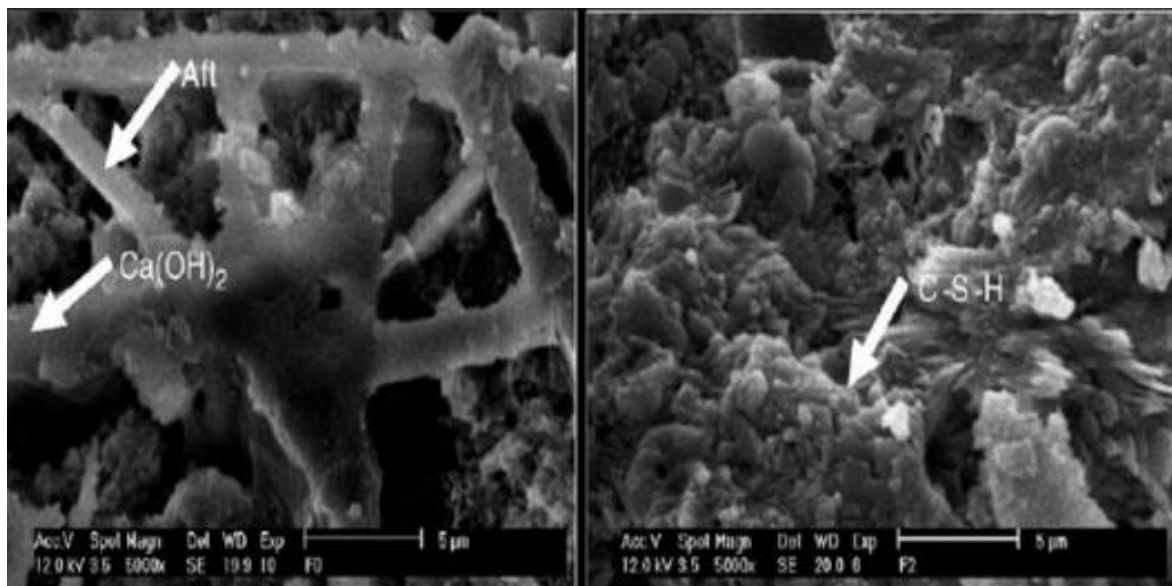
Reducir la exudación. - En comparación con otros aditivos, la nanosílice tiene una mayor área superficial, lo que permite obtener resultados superiores. La mayoría de las veces, la exudación debe estar ausente con dosificaciones óptimas.

Mejora la resistencia a la segregación. - Las nanopartículas bien dispersas aumentan la viscosidad de la fase líquida, lo que ayuda a que el cemento y las partículas de los agregados permanezcan en suspensión, mejorando la trabajabilidad.

Aumento de la trabajabilidad. - Posee una excelente trabajabilidad, lo que permite que el concreto se coloque prácticamente solo.

Figura 5

Comparación de un concreto sin nanosílice y con nanosílice



Nota: La figura demuestra cómo la adición de nanosílice hace que la concentración de cristales disminuya mientras que el aspecto del material se vuelve más denso (Dávila et ál., 2014).

- **En estado endurecido.**

Según estudios, a manera que se adiciona la cantidad de nanosílice, se incrementa la resistencia a compresión. La nanosílice permite llenar la porosidad del concreto, incrementando la impermeabilidad y favoreciendo la creación de tobermorita, lo que incrementa la resistencia, además de mostrar texturas más compactas y densas.

Pérez (2008) menciona que con la adición de 0.6% de nanosílice, se obtienen altas resistencias iniciales y finales. La resistencia disminuye para todas las edades con porcentajes mayores a 0.8%, además de presentar las siguientes características:

Aumento propiedades mecánicas. - Detención de quiebres (crack) y efectos de bloqueo interno entre los planos de deslizamiento proporcionados por las nanopartículas, mejoran la dureza, resistencias al corte, resistencias a compresión, flexión y tracción.

Disminución de la permeabilidad. - Las nanopartículas ocupan los espacios entre las partículas de cemento, lo que produce la inmovilización del agua, efecto de llenado denominado filler. Al adicionar nanosílice a una mezcla de concreto obtenemos un concreto mucho menos permeable y más durable.

Incremento de la resistencia a abrasión. - Con el incremento de las propiedades mecánicas producto de la adición del nanosílice, se provoca paralelamente el aumento de la resistencia a la abrasión.

2.2.4. Diseño de mezcla

2.2.4.1. Método de diseño del ACI (Instituto Americano del Concreto)

El método proporciona los componentes adecuados para la mezcla del concreto. En la actualidad existen varios métodos de diseño de mezclas, a pesar de ello, no se conoce un método apropiado que proporciona mejores resultados.

2.2.4.1.1. Método del ACI 211.1

Para la dosificación de una mezcla de concreto convencional, la norma ACI 211.1 especifica diez pasos, incluidos los ajustes por humedad de los agregados y modificaciones de las mezclas del ensayo.

1. Resistencia de diseño promedio, se cuenta con resultados estadísticos de producción

$$f'_{cr} = f'c + 1.34 Ds$$

$$f'_{cr} = f'c + 2.33 Ds - 35$$

Donde:

f'_{cr} : Resistencia promedio requerido a compresión

$f'c$: Resistencia específica a la compresión.

2. Cuando no se cuenta con resultados estadísticos de producción, se realiza la selección de la resistencia promedio requerida según el comité del ACI considerando que el cálculo del f'_{cr} será según la tabla 11.

Tabla 11

Resistencia a la compresión promedio

$f'c$	f'_{cr}
Menos de 210	$f'c + 70$
210 a 350	$f'c + 84$
> 350	$f'c + 98$

Fuente: Adecuado de la tabla del método ACI

3. Selección del Tamaño Máximo del Agregado.

La elección del tamaño máximo del agregado grueso, se realiza según la Norma Técnica Peruana 400.037 y de acuerdo especificaciones establecidas en el proyecto.

4. Selección del Asentamiento

Tabla 12

Consistencias y asentamientos del concreto

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

Fuente: Adecuado de la tabla del método ACI.

5. Estimación del agua de mezclado y contenido de aire

Tabla 13

Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.

Asentamiento o Slump (mm)	Agua en lt/m³ de concreto para los tamaños máximos nominales de agregados gruesos y consistencia indicados							
	10mm (3/8")	12.5mm (1/2")	20mm (3/4")	25mm (1")	40mm (1 1/2")	50mm (2")	70mm (3")	150mm (6")
Concreto con aire incorporado								
(1" a 2")	180	175	165	160	145	140	135	120
(3" a 4")	200	190	180	175	160	155	150	135
(6" a 7")	215	205	190	185	170	165	160	-

Fuente: Adecuado de la tabla del método ACI.

6. Cálculo del aire atrapado

Tabla 14

Porcentaje de aire atrapado en función al tamaño máximo nominal

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: Adecuado de la tabla del método ACI

7. Elección de la relación agua/cemento (a/c)

Tabla 15

Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del concreto

f'cr (Kg/cm ²)	Relación agua - cemento de diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	–

Fuente: Comité 211 del ACI

8. Determinación del factor cemento

$$\text{factor cemento} = \frac{\text{Volumen unitario de agua}}{\text{relación agua cemento}}$$

9. Determinación del contenido de agregado grueso

Tabla 16

Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso	Volumen del agregado grueso seco y compactado por unidad de volumen del concreto para diversos módulos de finesa del fino. (b/b ₀)			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.7

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: Comité 211.1 del ACI.

10. Evaluación de los volúmenes absolutos de cada componente del concreto dividiendo el peso seco entre su respectivo peso específico.

11. Ajustar estas proporciones en función de la humedad y de la cantidad de partículas finas y gruesas absorbidas.

2.2.5. Propiedades principales del concreto

2.2.5.1. En estado fresco.

2.2.5.1.1. Trabajabilidad.

Es la capacidad para ser mezclado, compactado y terminado de manera uniforme, sin segregación ni exudación. La trabajabilidad está influenciada por la cantidad de cemento, el tamaño de los áridos, el perfil de las partículas, las proporciones, el uso de productos químicos y minerales.

Esta propiedad puede ser dividida en tres grandes aspectos; la estabilidad que implica la resistencia a los procesos de exudación y segregación, la compactibilidad que implica la facilidad de remoción del aire atrapado y la movilidad conocida como capacidad o facilidad de flujo, la cual es afectada por la viscosidad y cohesión del concreto. (Rivva, 2004, p.127)

2.2.5.1.2. Consistencia.

La fluidez de la pasta determina la consistencia, lo que significa que cuanto más fluida sea la mezcla, más fácilmente fluirá el concreto durante su colocación. La trabajabilidad y la consistencia no son lo mismo, aunque están relacionadas (Rivva, 2000, pp.208-209).

2.2.5.1.3. Segregación.

Característica del concreto recién colocado, en la que el mortero y el árido grueso tienden a separarse, provocando la disgregación del concreto en sus componentes. Se trata de un fenómeno perjudicial para el concreto, que provoca la aparición de bolsas de piedra, arena, cangrejas, etc.

El fenómeno de segregación es consecuencia de la consistencia de la mezcla, y este aumenta con el incremento de la humedad y disminuye con la disminución de la misma. La posibilidad de segregación, debe considerarse en el diseño de la mezcla, este riesgo puede disminuirse aumentando la cantidad de finos. (Abanto, 2009, p.50)

2.2.5.1.4. Exudación.

Es un fenómeno que se debe a una proporción inadecuada en la mezcla, a una cantidad demasiada de agua, uso de aditivos e incremento en la temperatura del concreto, ya que la tasa de exudación aumenta con la temperatura.

La exudación perjudica al concreto, como consecuencia de este fenómeno, la cantidad de agua y cemento en esta zona aumenta, disminuyendo la resistencia de la superficie de contacto cuando las capas se apilan unas sobre otras. El aumento del agua de amasado hasta cierto punto puede dar lugar a la porosidad. (Abanto, 2009, p.54)

2.2.5.1.5. Peso unitario.

La densidad se determina dividiendo el volumen de sólidos en una unidad cúbica por el volumen total del material. También puede considerarse como la proporción de material sólido en un determinado volumen de concreto. El peso unitario final de la mezcla fresca debe depender del peso específico y de la cantidad de cada componente. Cuando se utilizan áridos con contenidos de alta porosidad, este varía si la prehumectación del árido antes de la dosificación ha satisfecho la absorción. (Abanto, 2009, p.55)

2.2.5.2. En estado endurecido

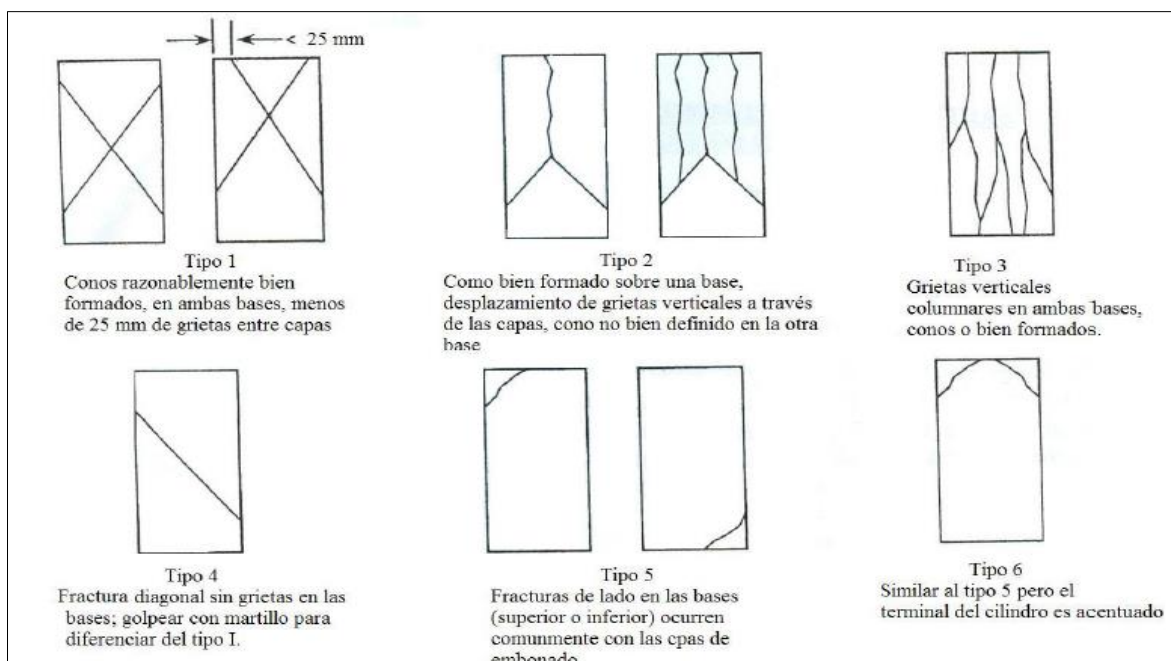
2.2.5.2.1. Resistencia a la compresión simple en probetas cilíndricas

Es la facultad que tiene el concreto de soportar cargas y esfuerzos. Esta prueba, que es importante para obtener el valor de f'_c proporcionado por la mayoría de las normas, está normalizada por ASTM-C39, MTC-E704 y NTP 339.034. Es fundamental tener en cuenta que la norma exige el uso de prensas para los frenos accionados por motor en lugar de la operación manual. (Pasquel, 1998, p.141)

Otro aspecto fundamental es que uno de los cabezales de aplicación de carga debe ser rotulado, y la probeta tiene que colocarse muy bien centrada para evitar efectos de flexión compuesta. El apoyo rotulado debe inspeccionarse y lubricarse frecuentemente pues muchas veces introduce flexión compuesta por no trabajar en forma adecuada y se traduce en resultados menores de f'_c . (Pasquel, 1998, pp.344-345). Al aplicar la carga de compresión se debe determinar el tipo de fractura de acuerdo a la figura 6.

Figura 6

Tipos de fracturas en probetas cilíndricas



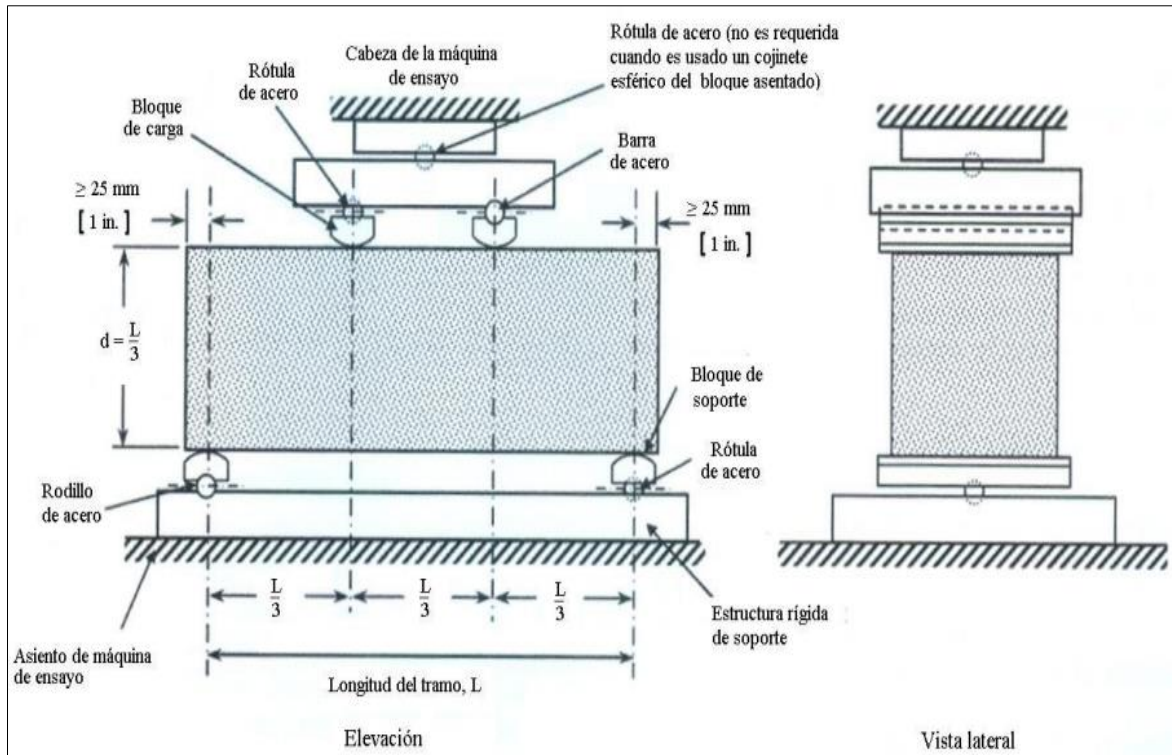
Fuente: Adaptado de la NTP 339.034

2.2.5.2.2. Resistencia a la Flexión

La probeta se apoya en dos soportes autorizados distintos y se aplica una carga en tres cuartas partes de la luz libre hasta que se produce la rotura, de acuerdo a la figura 7.

Figura 7

Gráfico del equipo para ensayar a flexión vigas con cargas a los tercios



Fuente: Adaptado de la NTP 339.078

Equipo a utilizar:

- Máquina de ensayo, Vernier, regla.

Procedimiento:

- El ensayo a flexión se realiza 30 minutos antes de haberla sacado de la sala de curado. El módulo de rotura disminuye si la superficie de la viga está seca.
- Es importante considerar la posición de la viga durante la rotura, esta debe coincidir con la superficie inferior y superior.

- Tras el trazado en la viga, como se muestra en la figura 7, según las instrucciones de la Norma Técnica Peruana 339.078, es importante refrentar y lijar las probetas que no tienen un contacto total.

2.3. Marco conceptual

Nanopartículas: partículas microscópicas con una dimensión menor a la de 100 nanómetros (el equivalente a un millar de átomos).

Alúmina: La arcilla que contiene una cantidad significativa de alúmina se denomina alúmina u óxido de alúmina (AL_2O_3). En la composición habitual de la arcilla, se cree que la sílice constituye alrededor del doble del material que el total de alúmina y óxido férrico, mientras que la alúmina constituye el doble del material que el óxido férrico. (Rivva López, 2000, p.36)

Sílice: “Puede encontrarse como cuarcita, arenisca o arena de cuarzo en una forma más o menos pura. Con la excepción del ácido fluorhídrico, la sílice es una sustancia relativamente dura y totalmente insoluble en agua. El calor puede hacer que cambie su estado cristalino, con grandes cambios de volumen” (Rivva, 2000, p.35).

Oxido de fierro: “La mayoría de los minerales lo incluyen y es el componente más importante de los minerales férricos. A excepción del cemento blanco, que debe estar desprovisto de este óxido, el óxido férrico está presente en todos los cementos, incluso en cantidades ínfimas” (Rivva López, 2000, p.36).

Humo de sílice: Estos humos son producidos por un proceso de hidrólisis en llama de hidrógeno y oxígeno Este polvo de sílice, que no es una microsílice, es suministrado como un polvo blanco, blando y suelto. (Rivva López, 2002, p.8)

Cemento: Es un insumo que posee la capacidad de actuar con el agua para producir una masa endurecida. Se trata simplemente de un clinker finamente molido, fabricado

mediante combinaciones al fuego de cal, alúmina, hierro y sílice en una proporción precisa a altas temperaturas. (Abanto Castillo, 2009, p.15)

Modulo de fineza: Cuando es bajo, el agregado es bueno; cuando es alto, ocurre lo contrario. Es una medida aproximada del tamaño medio de los áridos. En el caso de los áridos que se encuentran dentro del rango de porcentajes especificados por las normas granulométricas, el módulo de finura regula la homogeneidad de los áridos en lugar de hacer una distinción entre las granulometrías. (Abanto Castillo, 2009, pp.28-29)

Concreto de alto desempeño: Los concretos de alto desempeño son concretos que tienen un mejor comportamiento para una aplicación en particular. Este comportamiento se mide con características a diferentes edades del concreto, más allá de la resistencia, incide en propiedades del material, como es: módulo de elasticidad, densidad, permeabilidad, absorción, ion cloruros, coeficientes de difusión, carbonatación y abrasión. (Benavides, 2014, p.18)

Concreto: Producto compuesto sintético hecho de partículas de un medio aglutinante llamado agregado incrustado en un medio aglutinante llamado pasta, que se crea químicamente mezclando material cementante y agua. (Rivva López, 2000, p.8)

Porosidad: Son zonas vacías desprovistas de material sólido pero que, en algunos casos, pueden estar parcial o totalmente llenas de agua. (Rivva López, 2000, p.12)

Curado: Se trata de un conjunto de pasos destinados a mantener los elementos que favorecen la hidratación gradual del cemento, ya sea manteniendo la humedad interna del hormigón, añadiendo humedad o protegiéndolo de temperaturas extremadamente altas o bajas.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Hipótesis

3.1.1. *Hipótesis General*

La adición del nanosílice mejora las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido empleando agregados de la ciudad de Abancay- Apurímac- 2019.

3.1.2. *Hipótesis Específicas*

- a) La adición del nanosílice mejora las propiedades del concreto en estado fresco (asentamiento, extensibilidad, temperatura y peso unitario), empleando agregados de la ciudad de Abancay- Apurímac- 2019.
- b) La adición del nanosílice mejora las propiedades del concreto en estado endurecido (resistencia a compresión y flexión), empleando agregados de la ciudad de Abancay- Apurímac-2019.

3.2. Método

El método empleado en la presente investigación es hipotético-deductivo, según Bernal (2016) “es un procedimiento que parte de aseveraciones en calidad de hipótesis y busca refutar o falsear tales hipótesis, deduciendo de ellas conclusiones generales que deben confortarse con los hechos antes de constituirse en teorías” (p.71).

3.3. Tipo de investigación

Es una investigación aplicada, según la Universidad Tecnológica de los Andes (2019) “esta dirigida a determinar a través del conocimiento científico los medios, metodologías, protocolos y tecnologías por los cuales se puede cubrir una necesidad reconocida y específica” (p.25).

3.4. Nivel o alcance de investigación

Es una investigación de nivel explicativa, se encarga de buscar el porqué de los hechos, mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas (investigación post facto). (Arias, 2006, p.26)

3.5. Diseño de investigación

El diseño es experimental, Arias (2006) menciona que la investigación experimental es un proceso que consiste en someter a un objeto, a determinadas condiciones (variable independiente), para observar los efectos que se producen (variable dependiente). Su propósito es establecer con precisión una relación causa- efecto. (p.34)

3.6. Operacionalización de variables

3.6.1. Variable Independiente

Adición del nanosílice

3.6.2. Variable Dependiente

Propiedades del concreto en estado fresco y endurecido

Tabla 17*Operacionalización de variables*

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Medición	Instrumento
Variable Independiente Adición del nanosílice	La nanosílice es un nano aditivo en estado líquido que está constituida por partículas de silicato dicálcico (SiO ₂) de tamaños manométricos.	Dosificaciones de nanosílice	1.0% de nanosílice	Porcentaje	Fichas de campo y laboratorio: Norma Técnica Peruana 339.185
			1.2% de nanosílice		Norma Técnica Peruana 339.012
			1.4% de nanosílice		Norma Técnica Peruana 339.017
			1.6% de nanosílice		Norma Técnica Peruana 400.021
					Norma Técnica Peruana 400.022
					Diseño de mezclas de concreto método ACI 211.1
Variable Dependiente Propiedades del concreto en estado fresco y endurecido.	El concreto tiene dos estados conocidos (estado fresco y endurecido). Cada uno de estos estados tiene sus ensayos para evaluar y analizar las características mecánicas del concreto.	Propiedades del concreto f'c=210 kg/cm ² y f'c=350 kg/cm ² en estado fresco.	Asentamiento	cm	Fichas de campo y laboratorio: Norma Técnica Peruana 339.035
			Extensibilidad	cm	Norma Técnica Peruana 339.219
			Temperatura	°C	Norma Técnica Peruana 339.084
			Peso unitario	kg/m ³	Norma Técnica Peruana 339.046
		Propiedades del concreto f'c=210 kg/cm ² y f'c=350 kg/cm ² en estado endurecido.	Resistencia a la compresión	kg/cm ²	Norma Técnica Peruana 339.034
			Resistencia a la flexión	kg/cm ²	Norma Técnica Peruana 339.078

Fuente: Elaboración propia

3.7. Población, muestra y muestreo.

3.7.1. Población.

Según Arias (2006) “la población es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Ésta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio” (pp.81-82).

La presente investigación contiene una población finita y accesible, Según Arias (2006), “finita porque se conoce la cantidad de unidades que la conforman y accesible porque se tiene acceso a la población objetivo, de la cual se extrae una muestra representativa” (pp.81-82). La población se encuentra conformado por todos los concretos elaborados y empleados en la ciudad de Abancay.

3.7.2. Muestra

Es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible. Una muestra representativa es aquella que por su tamaño y características similares a las del conjunto, permite hacer inferencias o generalizar resultados al resto de la población con un margen de error conocido. (Arias, 2006, pp.83-84)

Arias (2006) establece dos criterios para estimar la muestra, la primera es el criterio estadístico mediante el uso de formulas o empleo de tablas, el segundo que es nuestro caso, es el criterio relacionado con las posibilidades del investigador en base de conocimientos sobre el muestreo, donde recomienda asumir el criterio de escogencia del tamaño de la muestra acorde con el tiempo y recursos disponibles, sin descuidar la representatividad de la misma. (pp.86-87)

La muestra está conformada por 2 resistencias de diseño $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$ elaborados con materiales locales de la ciudad de Abancay a excepción del adicionante (Gaia Nanosílice). Con todo ello se producirán 180 testigos cilíndricos de 4”x8” y 90 testigos prismáticos de 15x15x60cm.

Los testigos cilíndricos serán sometidos a ensayos de compresión a edades 1, 3, 7, 14, 28, 56 días y los testigos prismáticos serán sometidos a ensayos a flexión a edades 7, 28 y 56 días, que incluyen testigos elaborados con incorporación de la nanosílice y el concreto patrón en ambos casos.

Tabla 18

Cuantificación de testigos para ensayo de resistencia a la compresión

Descripción	Edad						Total	
	01	03	07	14	28	56		
	días	días	días	días	días	días		
Método ACI 211.1	C.P	3	3	3	3	3	3	18
	N.S 1.0%	3	3	3	3	3	3	18
	F'c=210 kg/cm ²	3	3	3	3	3	3	18
	N.S 1.4%	3	3	3	3	3	3	18
	N.S 1.6%	3	3	3	3	3	3	18
TOTAL							180	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19

Cuantificación de testigos de concreto para ensayo de resistencia a la flexión.

Descripción	Edad			Total	
	07 días	28 días	56 días		
Método ACI 211.1	C.P	3	3	3	9
	N.S 1.0%	3	3	3	9
	F'c=210 kg/cm ²	3	3	3	9
	N.S 1.4%	3	3	3	9
	N.S 1.6%	3	3	3	9

	C.P	3	3	3	9
F'c=350 kg/cm²	N.S 1.0%	3	3	3	9
	N.S 1.2%	3	3	3	9
	N.S 1.4%	3	3	3	9
	N.S 1.6%	3	3	3	9
TOTAL					90

Fuente: Elaboración propia

3.7.3. *Muestreo*

La investigación utilizó el muestreo no probabilístico- intencional, porque en este caso los elementos son escogidos convenientemente a criterio propio, debido a que se conoce las características de la población que se está estudiando.

3.8. **Técnica e instrumentos**

3.8.1. *Técnicas de obtención de datos.*

El estudio tuvo un diseño de investigación de campo, donde se aplicarán técnicas de observación estructurada porque se observarán en forma sistemática, los fenómenos presentados en el concreto en estado fresco y endurecido, utilizando una guía diseñada previamente.

3.8.2. *Instrumentos de investigación.*

Arias (2006) menciona que “un instrumento de investigación es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información” (p.68).

La investigación utilizó instrumentos prediseñados tales como la lista de cotejo. Arias (2006) menciona que “la lista de cotejo también denominada lista de control o de verificación, es un instrumento en el que se indica la presencia o ausencia de un aspecto o conducta a ser observada” (p.68). En nuestro caso realizaremos un diagnóstico sobre el efecto que produce la adición del nanosilice en las propiedades de concreto. Ante ello hace

necesario realizar un análisis documentario comparativo, fichas de recolección de datos documentarios bien ordenados para el registro de datos en campo y laboratorio.

3.9. Consideraciones éticas.

La investigación se ha realizado de acuerdo a la realidad problemática, los datos y ensayos se efectuaron de acuerdo a las normativas actuales para obtener datos fidedignos, lo cual implica que el trabajo es original y único.

3.10. Procesamiento estadístico.

Para la presente investigación se tuvo en cuenta las hipótesis nulas y alternas. Se empleó la distribución t de Student para la diferencia entre dos medias muestrales.

Dado que se desconoce si la adición del nanosílce tiene un efecto positivo o negativo, la región crítica o zona de rechazo de la hipótesis es bilateral (2 colas). El nivel de significancia se divide por la mitad de su valor, lo que significa que ambas colas tendrán un valor de $=0,025$, que se traduce en un nivel de significación del 2.5%.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

Se presentan los resultados obtenidos con relación a las variables independientes (X/I) y dependientes (Y/D). En las variables independientes se consideran los ensayos que determinan las propiedades de los insumos que intervienen en la mezcla del concreto, para realizar sus respectivos diseños de mezcla con adición del nanosílice por el método ACI 211.1, mientras que para la variable dependiente se consideran la caracterización del concreto en estado fresco y endurecido.

Los resultados obtenidos, se muestran de manera secuencial, en función a las variables planteadas (independientes y dependientes). Para la presentación de los resultados realizados, se ha tomado en consideración el orden, según los porcentajes de adición del nanosílice en porcentajes de 1,0%, 1.2%, 1.4% y 1.6% respectivamente.

4.1.1. A nivel de la variable de la variable X/I

4.1.1.1. Propiedades Físicas y Mecánicas de los Agregados

4.1.1.1.1. Contenido de Humedad

a) Agregado Fino:

Tabla 20

Contenido de humedad del agregado fino

ENSAYO	C. Murillo	C. Tapia	C. Quispe	C. Ballón
Peso suelo húmedo + cápsula	514.70	747.97	772.27	743.20
Peso suelo seco + cápsula	505.63	733.53	751.87	726.07
Peso del agua	9.07	14.43	20.40	17.13
Peso de la cápsula	60.00	61.17	61.67	62.70
Peso neto del suelo seco	445.63	672.37	690.20	663.27
% de Humedad	2.03	2.15	2.96	2.58

Fuente: Elaboración propia

b) Agregado Grueso:

Tabla 21

Contenido de humedad agregado grueso

ENSAYO	C. Murillo	C. Tapia	C. Quispe	C. Ballón
Peso suelo húmedo + cápsula	725.63	735.67	539.28	774.20
Peso suelo seco + cápsula	724.63	735.03	538.57	773.87
Peso del agua	1.00	0.63	0.72	0.33
Peso de la cápsula	54.33	60.27	61.93	61.80
Peso neto del suelo seco	670.30	674.77	476.63	712.07
% de Humedad	0.15	0.09	0.15	0.05

Fuente: Elaboración propia

4.1.1.1.2. Análisis Granulométrico

a) Agregado fino:

Tabla 22

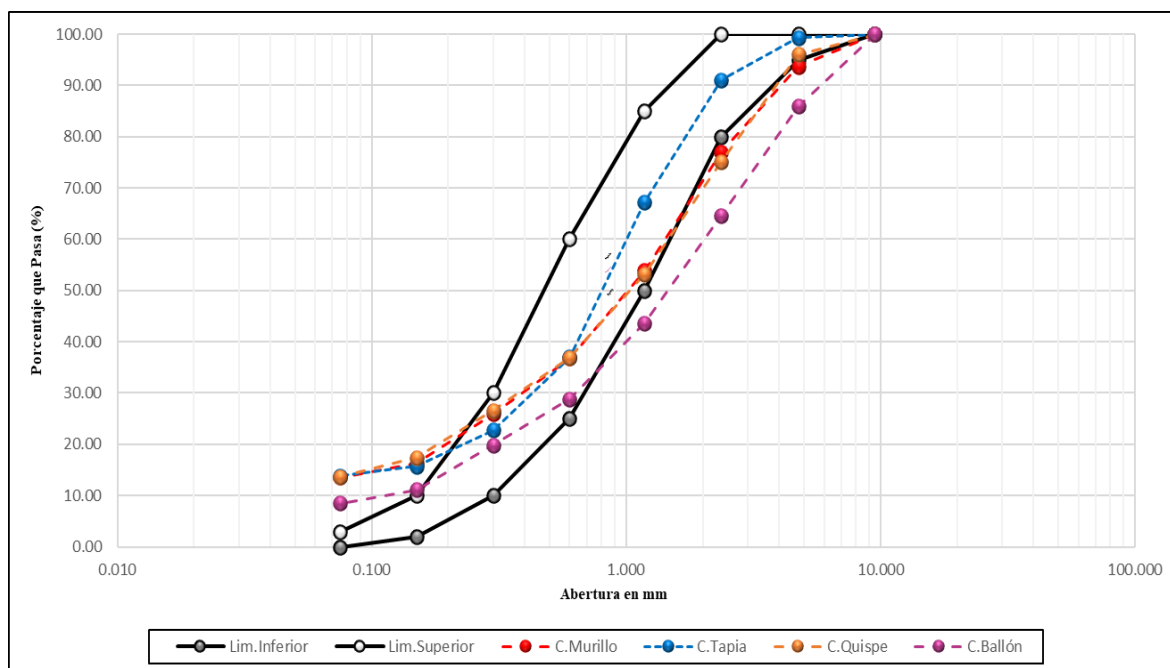
Granulometría del agregado fino

Cuadro Comparativo de Análisis Granulométrico del Agregado Fino									
Tamiz	Abertura (mm)	C. Murillo		C. Tapia		C. Quispe		C. Ballón	
		%	%	%	%	%	%	%	%
		Retenido Acum.	que pasa	Retenido Acum.	que pasa	Retenido Acum.	que pasa	Retenido Acum.	que pasa
3/8"	9.50	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00
N° 4	4.75	6.33	93.67	0.69	99.31	3.98	96.02	14.11	85.89
N° 8	2.36	23.00	77.00	8.96	91.04	24.84	75.16	35.36	64.64
N° 16	1.18	46.13	53.87	32.76	67.24	46.76	53.24	56.35	43.65
N° 30	0.60	63.22	36.78	63.06	36.94	63.07	36.93	71.19	28.81
N° 50	0.30	74.08	25.92	77.23	22.77	73.39	26.61	80.13	19.87
N° 100	0.15	83.75	16.25	84.30	15.70	82.62	17.38	88.85	11.15
N° 200	0.075	86.42	13.58	86.19	13.81	86.36	13.64	91.48	8.52
Fondo	-	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00
Módulo fineza		2.97		2.67		2.95		3.46	

Fuente: Elaboración propia

Figura 8

Curva granulométrica del agregado fino



Fuente: Elaboración propia

b) Agregado Grueso:

Tabla 23

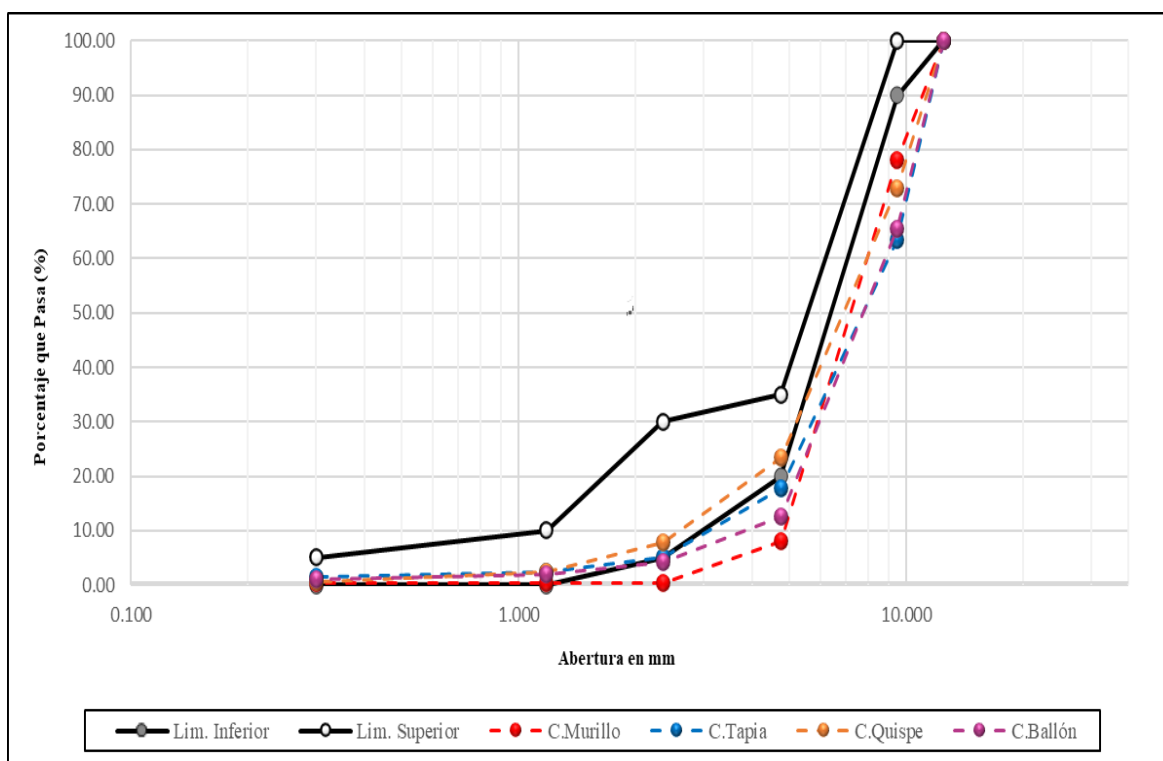
Granulometría del agregado grueso

Cuadro Comparativo de Análisis Granulométrico de Agregado Grueso – Huso 89									
Tamiz	Abertura (mm)	C. Murillo		C. Tapia		C. Quispe		C. Ballón	
		%	%	%	%	%	%	%	%
		Retenido Acum.	que pasa	Retenido Acum.	que pasa	Retenido Acum.	que pasa	Retenido Acum.	que pasa
1/2"	12.5	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00
3/8"	9.5	21.96	78.04	36.54	63.46	27.06	72.94	34.62	65.38
N° 4	4.75	91.89	8.11	82.26	17.74	76.57	23.43	87.53	12.47
N° 8	2.36	99.63	0.37	94.88	5.12	92.17	7.83	95.80	4.20
N° 16	1.18	99.71	0.29	97.58	2.42	97.71	2.29	98.08	1.92
N° 50	0.30	99.73	0.27	98.54	1.46	99.36	0.64	98.97	1.03
Fondo	-	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00
Modulo fineza		6.13		6.06		5.93		6.15	

Fuente: Elaboración propia

Figura 9

Curva granulométrica del agregado grueso



Fuente: Elaboración propia

4.1.1.1.3. *Peso Unitario Suelto*

a) **Agregado fino:**

Tabla 24

Peso unitario suelto del agregado fino

Cuadro Comparativo del Peso Unitario Suelto del Agregado Fino (NTP 400.017)				
Descripción	C. Murillo	C. Tapia	C. Quispe	C. Ballón
Altura (cm)	15.60	15.60	15.60	15.60
Diámetro (cm)	15.10	15.10	15.10	15.10
Área (cm ²)	179.08	179.08	179.08	179.08
Peso del molde (kg)	7.659	7.659	7.659	7.659
Peso del molde + muestra suelta (kg)	12.451	12.384	11.983	12.379
Peso de la muestra suelta (kg)	4.792	4.725	4.324	4.669
Volumen del molde (kg/m ³)	0.002794	0.002794	0.002794	0.002794
Peso Unitario Suelto (Kg/m³)	1715.21	1691.23	1547.69	1671.30

Fuente: Elaboración propia

b) **Agregado grueso:**

Tabla 25

Peso unitario suelto del agregado grueso

Cuadro Comparativo del Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso (NTP 400.017)				
Descripción	C. Murillo	C. Tapia	C. Quispe	C. Ballón
Altura (cm)	15.60	15.60	15.60	15.60
Diámetro (cm)	15.10	15.10	15.10	15.10
Área (cm ²)	179.08	179.08	179.08	179.08
Peso del molde (kg)	7.659	7.659	7.659	7.659
Peso del molde + muestra suelta (kg)	12.184	12.384	11.609	12.000
Peso de la muestra suelta (kg)	4.525	4.725	3.950	4.341
Volumen del molde (kg/m ³)	0.002794	0.002794	0.002794	0.002794
Peso Unitario Suelto (Kg/m³)	1619.64	1691.23	1414.05	1553.89

Fuente: Elaboración propia

4.1.1.1.4. *Peso Unitario Compactado*

a) **Agregado fino:**

Tabla 26

Peso unitario compactado del agregado fino

Cuadro Comparativo del Peso Unitario Compactado del Agregado Fino (NTP 400.017)				
Descripción	C. Murillo	C. Tapia	C. Quispe	C. Ballón
Altura (cm)	15.60	15.60	15.60	15.60
Diámetro (cm)	15.10	15.10	15.10	15.10
Área (cm ²)	179.08	179.08	179.08	179.08
Peso del molde (kg)	7.659	7.659	7.659	7.659
Peso del molde + muestra suelta (kg)	12.884	12.817	12.446	12.812
Peso de la muestra suelta (kg)	5.225	5.158	4.757	5.153
Volumen del molde (kg/m ³)	0.002794	0.002794	0.002794	0.002794
Peso Unitario Suelto (Kg/m³)	1870.21	1846.46	1702.69	1844.67

Fuente: Elaboración propia

b) **Agregado grueso:**

Tabla 27

Peso unitario compactado del agregado grueso

Cuadro Comparativo del Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso (NTP 400.017)				
Descripción	C. Murillo	C. Tapia	C. Quispe	C. Ballón
Altura (cm)	15.60	15.60	15.60	15.60
Diámetro (cm)	15.10	15.10	15.10	15.10
Área (cm ²)	179.08	179.08	179.08	179.08
Peso del molde (kg)	7.659	7.659	7.659	7.659
Peso del molde + muestra suelta (kg)	12.495	12.137	11.933	12.311
Peso de la muestra suelta (kg)	4.836	4.478	4.274	4.652
Volumen del molde (kg/m ³)	0.002794	0.002794	0.002794	0.002794
Peso Unitario Suelto (Kg/m³)	1730.96	1602.81	1530.03	1665.22

Fuente: Elaboración propia

4.1.1.1.5. *Peso Específico*

a) **Agregado fino:**

Tabla 28

Peso específico del agregado fino

Cuadro Comparativo del Peso Específico del Agregado Fino (NTP 400.022)				
Descripción	C. Murillo	C. Tapia	C. Quispe	C. Ballón
Peso Muestra SSS	315.50	295.00	255.73	265.37
Peso Picnómetro + Agua	734.00	692.10	670.09	675.20
Peso Picnómetro + Agua + Muestra SSS	931.70	870.30	837.05	835.73
Volumen de la Masa	117.80	116.80	88.77	104.83
Peso de la muestra seca	311.53	286.23	250.48	257.13
Peso Específico (g/cm³)	2.64	2.45	2.82	2.45

Fuente: Elaboración propia

b) **Agregado grueso:**

Tabla 29

Peso específico del agregado grueso

Cuadro Comparativo del Peso Específico del Agregado Grueso (NTP 400.021)				
Descripción	C. Murillo	C. Tapia	C. Quispe	C. Ballón
Peso Muestra SSS	839.63	809.43	1011.90	755.07
Peso Canastilla Sumergida en Agua	1045.00	1045.00	1049.67	1050.00
Peso Canastilla Sumergida en Agua + muestra	1583.40	1563.17	1685.93	1547.07
Peso Neto de Muestra SSS Sumergida	538.40	518.17	636.27	497.07
Volumen de la Masa	301.23	291.27	375.63	258.00
Peso de la muestra seca	831.80	803.23	1001.00	748.57
Peso Específico (g/cm³)	2.76	2.76	2.67	2.90

Fuente: Elaboración propia

4.1.1.1.6. Absorción

a) Agregado fino:

Tabla 30

Porcentaje de absorción del agregado fino

Cuadro Comparativo del Porcentaje de Absorción del Agr. Fino (NTP 400.022)				
Descripción	C. Murillo	C. Tapia	C. Quispe	C. Ballón
Peso Neto del Suelo Seco	311.53	286.23	250.48	257.13
Peso Neto del Suelo Seco	315.50	295.00	255.73	265.37
% de Absorción	1.27	3.06	2.10	3.20

Fuente: Elaboración propia

b) Agregado grueso:

Tabla 31

Porcentaje de absorción del agregado grueso

Cuadro Comparativo del Porcentaje de Absorción del Agr. Grueso (NTP 400.021)				
Descripción	C. Murillo	C. Tapia	C. Quispe	C. Ballón
Peso Neto del Suelo Seco	831.80	803.23	1001.43	748.57
Peso Neto del Suelo Seco	839.63	809.43	1011.90	755.07
% de Absorción	0.94	0.77	1.05	0.87

Fuente: Elaboración propia

4.1.1.2. Diseño de Mezcla

Se ha empleado cemento Sol tipo I, con respecto a los agregados, se ha optado por emplear agregado fino de la cantera Murillo por su módulo de fineza y agregado Grueso (Huso 89) de la Cantera Quispe, por obedecer a los requisitos mínimos establecidos en la Norma Técnica Peruana 400.037.

Tabla 32*Resumen de las propiedades de los agregados*

PROPIEDADES DEL CEMENTO, AGUA Y AGREGADOS		
Cemento		
Marca y tipo	Sol Tipo I	
Procedencia	Abancay	
Peso Específico (kg/m ³)	2850.00	
Agua		
Agua Potable	Si	
Peso Específico (kg/m ³)	1000.00	
Agregados		
Descripción	A. Fino (C. murillo)	A. Grueso (C. Quispe)
P.U. suelto seco (kg/m ³)	1715.21	1414.05
P.U. Compactado (kg/m ³)	1870.21	1530.03
P.E. de masa (kg/m ³)	2640	2670
Módulo de fineza	2.97	5.93
Absorción (%)	1.27	1.05
Contenido de humedad (%)	2.03	0.15
Tamaño nominal máximo (pulg.)	-	1/2"

Fuente: Elaboración propia

4.1.1.2.1. Diseño de Mezcla Método del ACI 211.1

Se realizó 2 resistencias de diseño $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$. El desarrollo del diseño de mezclas se detalla en el anexo 3 (resultados de laboratorio).

Se efectuó un estudio para determinar el porcentaje de reducción de agua de mezcla, de acuerdo con las especificaciones del fabricante en un rango de 0.8% a 17% del peso de cemento.

Las siglas (CPO), hacen referencia al concreto sin adición de nanosílice, también denominado (Concreto Patrón). Las siglas (NS) hace referencia a la adición del nanosílice.

Tabla 33

Diseño final de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con adición de nanosílice en diferentes dosificaciones y reducción de agua al 5.0%.

Descripción	CPO	NS 1.0%	NS 1.2%	N.S 1.4%	NS 1.6%
Cemento (kg)	402.94	382.79	382.79	382.79	382.79
Agregado Fino (kg)	973.96	1011.18	1009.07	1006.96	1004.85
Agregado grueso (kg)	678.81	678.81	678.81	678.81	678.81
Agua (Lts.)	223.85	212.32	212.33	212.35	212.37
Nanosílice (Lts.)	-	3.912	4.694	5.477	6.259
a/c	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34

Diseño final de concreto $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ con adición de nanosílice en diferentes dosificaciones y reducción de agua al 5.0%.

Descripción	CPO	NS 1.0%	NS 1.2%	N.S 1.4%	NS 1.6%
Cemento (kg)	568.18	539.77	539.77	539.77	539.77
Agregado Fino (kg)	830.84	870.89	867.92	864.95	861.98
Agregado grueso (kg)	678.81	678.81	678.81	678.81	678.81
Agua (Lts.)	224.91	213.36	213.39	213.41	213.43
Nanosílice (Lts.)	-	5.516	6.620	7.723	8.826
a/c	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40

Fuente: Elaboración propia

4.1.1.2.2. Elaboración de testigos cilíndricos y prismáticos

Para la elaboración de los testigos cilíndricos se utilizó moldes de 4"x8", varilla de compactación lisa de 3/8" de diametro y un martillo de goma con masa de 600±200g. El moldeado se realizó en 2 capas de igual profundidad con 25 golpes por capa.

Se ha preparado 18 testigos cilíndricos y 9 testigos prismáticos. Durante este proceso de elaboración del concreto, se hicieron pruebas correspondientes al concreto en estado fresco como el Asentamiento, Extensibilidad, Peso Unitario y Temperatura. En las tablas 35, 36 y

37, se muestra las proporciones en peso de cada material utilizado para la elaboración de los testigos cilíndricos y prismáticos.

Tabla 35

Dimensiones del testigo cilíndrico 4"x 8"

Descripción	Medidas	Unidad
Altura	20.32	cm
Diámetro	10.16	cm
Área	81.07	cm.
Volumen	1647.41	cm ³
Volumen	0.0016	m ³

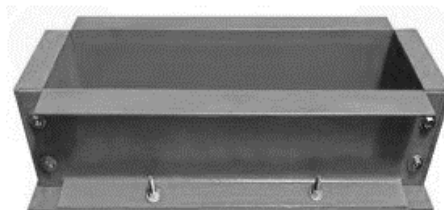


Fuente: Elaboración propia

Tabla 36

Dimensiones del testigo prismático 15 x 15 x 60 cm.

Descripción	Medidas	Unidad
Altura	15.00	cm
Ancho	15.00	cm
Largo	60.00	cm.
Volumen	13500.00	cm ³
Volumen	0.0135	m ³



Fuente: Elaboración propia

Tabla 37

Volumen total de moldes cilíndricos y prismáticos

Descripción	Testigo cilíndrico	Testigo prismático	Unidad
Volumen del molde	0.0016	0.0135	m ³
Número de testigos por diseño	18	9	Und.
Corrección por contracción y desperdicio	1.05	1.05	%
Volumen total	0.03024	0.12758	m³

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38*Materiales por tanda de ensayo (18 especímenes cilíndricos)- $f'c=210$ kg/cm²*

Descripción	F'c= 210 kg/cm²				
	CPO	NS 1.0%	NS 1.2%	N.S 1.4%	NS 1.6%
	18 probetas	18 probetas	18 probetas	18 probetas	18 probetas
Cemento (kg)	12.185	11.576	11.576	11.576	11.576
Agr. Fino (kg)	29.453	30.578	30.514	30.450	30.387
Agr. grueso (kg)	20.527	20.527	20.527	20.527	20.527
Agua (Lts.)	6.769	6.420	6.421	6.421	6.422
Nanosílice (Lts.)	-	0.118	0.142	0.166	0.189
a/c	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39*Materiales por tanda de ensayo (18 especímenes cilíndricos)- $f'c=350$ kg/cm²*

Descripción	F'c= 350 kg/cm²				
	CPO	NS 1.0%	NS 1.2%	N.S 1.4%	NS 1.6%
	18 probetas	18 probetas	18 probetas	18 probetas	18 probetas
Cemento (kg)	17.182	16.323	16.323	16.323	16.323
Agr. Fino (kg)	25.125	26.336	26.246	26.156	26.066
Agr. grueso (kg)	20.527	20.527	20.527	20.527	20.527
Agua (Lts.)	6.801	6.452	6.453	6.453	6.454
Nanosílice (Lts.)	-	0.167	0.200	0.234	0.267
a/c	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40*Materiales por tanda de ensayo (9 especímenes prismáticos)- $f'c=210$ kg/cm²*

Descripción	F'c= 210 kg/cm²				
	CPO	NS 1.0%	NS 1.2%	N.S 1.4%	NS 1.6%
	9 prismas	9 prismas	9 prismas	9 prismas	9 prismas
Cemento (kg)	51.405	48.834	48.834	48.834	48.834
Agr. Fino (kg)	124.253	129.001	128.732	128.463	128.194
Agr. grueso (kg)	86.599	86.599	86.599	86.599	86.599
Agua (Lts.)	28.557	27.086	27.088	27.090	27.092
Nanosílice (Lts.)	-	0.499	0.599	0.699	0.799
a/c	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41*Materiales por tanda de ensayo (9 especímenes prismáticos)- $f'c=350$ kg/cm²*

Descripción	$F'c= 350$ kg/cm ²				
	CPO	NS 1.0%	NS 1.2%	N.S 1.4%	NS 1.6%
	9 prismas	9 prismas	9 prismas	9 prismas	9 prismas
Cemento (kg)	72.486	68.862	68.862	68.862	68.862
Agr. Fino (kg)	105.995	111.104	110.725	110.346	109.966
Agr. grueso (kg)	86.599	86.599	86.599	86.599	86.599
Agua (Lts.)	28.693	27.220	27.223	27.225	27.228
Nanosílice (Lts.)	-	0.704	0.844	0.985	1.126
a/c	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. A nivel de la variable Y/D**4.1.2.2. Resultados de las propiedades del concreto en estado fresco****4.1.2.2.1. Asentamiento y extensibilidad.**

Se determinó el asentamiento y extensibilidad de las mezclas de concreto según la Norma Técnica Peruana 339.035 y 339.219. Los valores del concreto con adición de nanosílice en los diferentes porcentajes (1.0%,1.2%, 1.4%,1.6%) variaron significativamente con respecto al concreto patrón (CPO) tal como se muestra en la tabla 42 y 43.

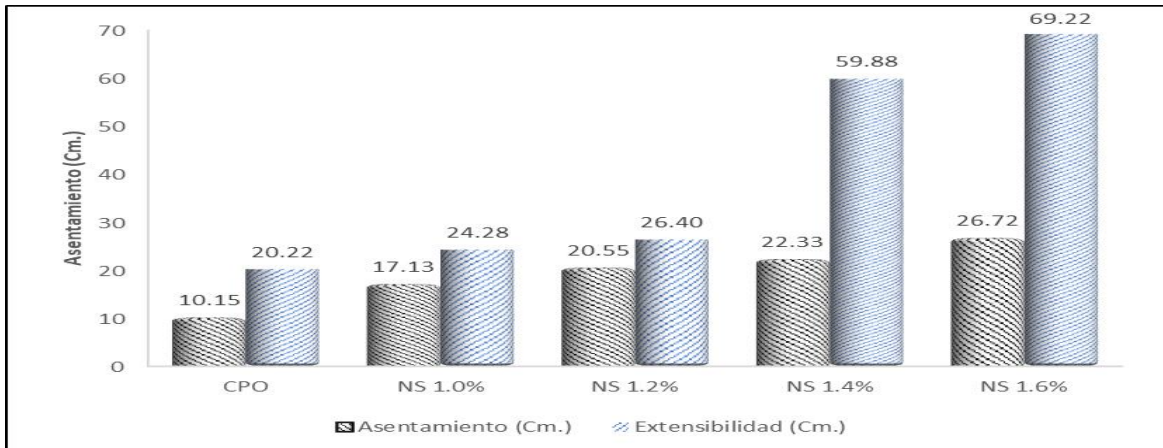
Tabla 42*Valores de asentamiento y extensibilidad para concretos $f'c=210$ kg/cm²*

Descripción	Asentamiento		Extensibilidad (cm)
	Centímetros	Pulgadas	
CPO	10.15	3.99"	20.22
NS 1.0%	17.13	6.74"	24.28
NS 1.2%	20.55	8.09"	26.40
NS 1.4%	22.33	8.79"	59.88
NS 1.6%	26.72	10.52"	69.22

Fuente: Elaboración propia

Figura 10

Asentamiento y extensibilidad de las mezclas de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$



Fuente: Elaboración propia

Tabla 43

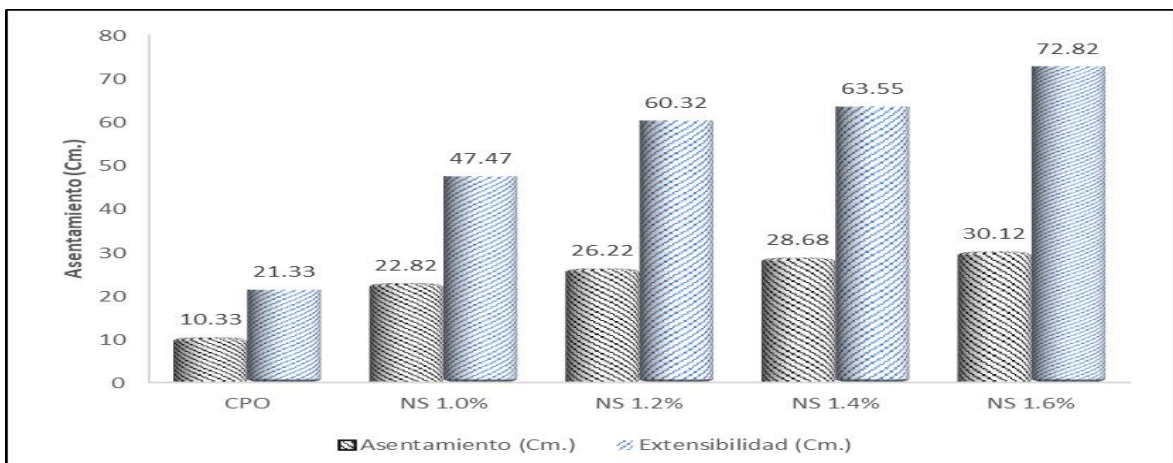
Valores de consistencia y extensibilidad para concretos $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$

Descripción	Asentamiento		Extensibilidad (cm)
	Centímetros	Pulgadas	
CPO	10.33	4.07"	21.33
NS 1.0%	22.82	8.98"	47.47
NS 1.2%	26.22	10.32"	60.32
NS 1.4%	28.68	11.29"	63.55
NS 1.6%	30.12	11.86"	72.82

Fuente: Elaboración propia

Figura 11

Asentamiento y extensibilidad de las mezclas de concreto $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$



Fuente: Elaboración propia

4.1.2.2.2. *Peso unitario*

Se determinó el peso unitario de las mezclas de concreto según la NTP 339.046. Los valores del peso unitario variaron de 2365 a 2492 kg/m³, clasificándose como concreto de peso normal (1700 – 2500 kg/m³). Los resultados del ensayo de peso unitario para los diferentes tipos de mezcla se muestran en las tablas 44 y 45.

Tabla 44

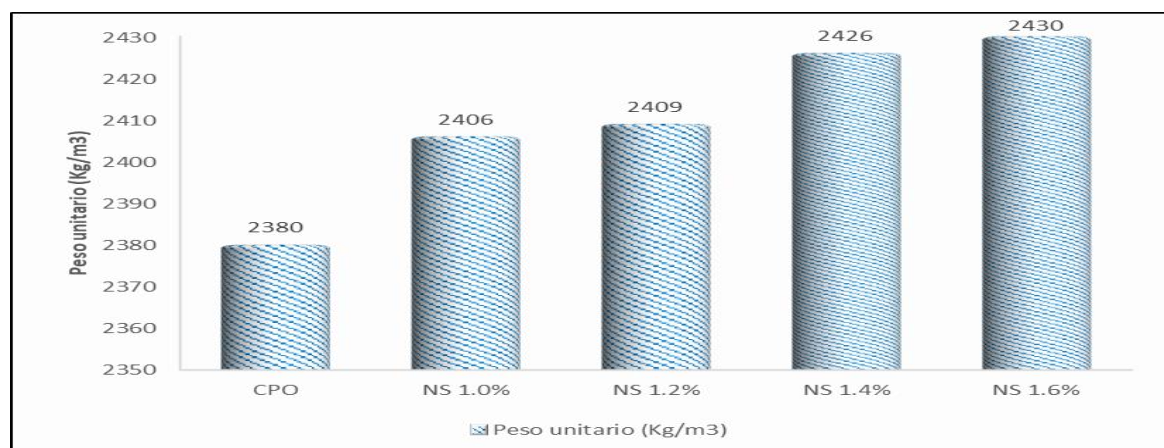
Valores de peso unitario para concreto fresco $f'c=210$ kg/cm²

Descripción	Peso Unitario (kg/m ³)
CPO	2380
NS 1.0%	2406
NS 1.2%	2409
NS 1.4%	2426
NS 1.6%	2430

Fuente: Elaboración propia

Figura 12

Peso unitario para cada tipo de mezcla de concreto $f'c=210$ kg/cm²



Fuente: Elaboración propia

Tabla 45

Valores de peso unitario para concreto fresco $f'c=350$ kg/cm²

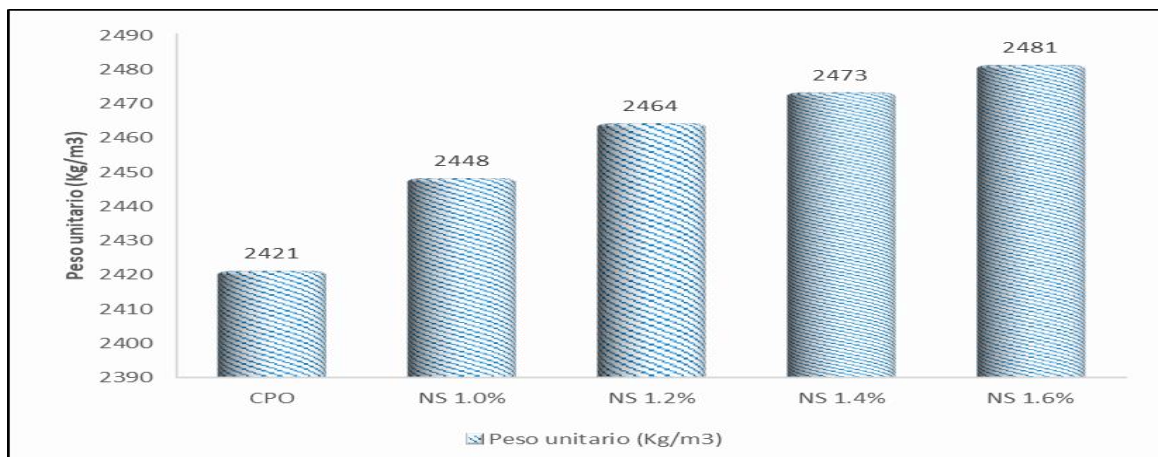
Descripción	Peso Unitario (kg/m ³)
CPO	2421
NS 1.0%	2448
NS 1.2%	2464

NS 1.4%	2473
NS 1.6%	2481

Fuente: Elaboración propia

Figura 13

Peso unitario para cada tipo de mezcla de concreto $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$



Fuente: Elaboración propia

4.1.2.2.3. Temperatura

La temperatura del concreto no debe ser tan alta como para causar dificultades debida a perdida de asentamiento, fragua instantánea o juntas frías. La temperatura del concreto no debe ser menor de 13°C ni mayor a 32°C .

La temperatura de la mezcla de determinó de acuerdo a la Norma Técnica Peruana 339.184, los valores se muestran en la tabla 46 y 47.

Tabla 46

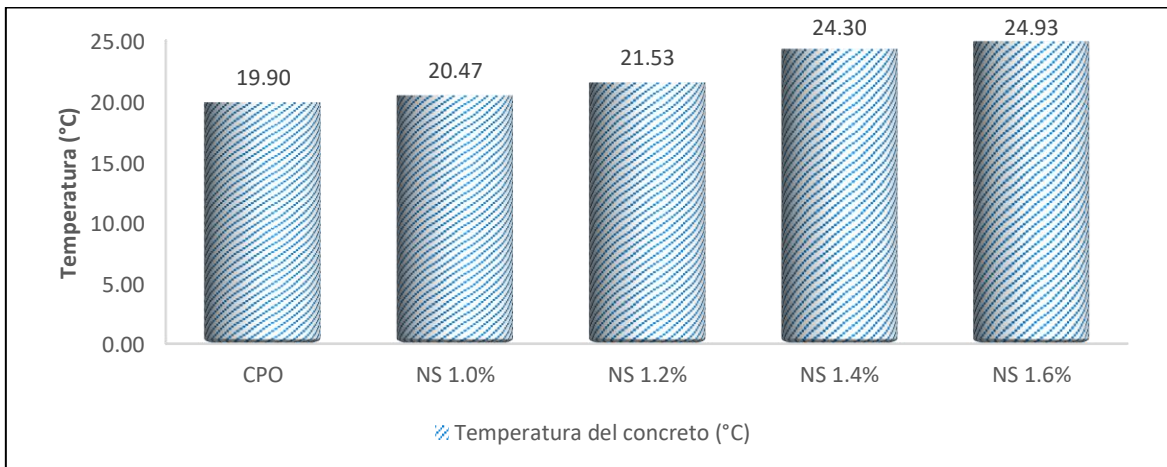
Valores de temperatura para concreto fresco $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

Descripción	Temperatura del concreto ($^{\circ}\text{C}$)
CPO	19.90°
NS 1.0%	20.47°
NS 1.2%	21.53°
NS 1.4%	24.30°
NS 1.6%	24.93°

Fuente: Elaboración propia

Figura 14

Temperatura para cada tipo de mezcla de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$



Fuente: Elaboración propia

Tabla 47

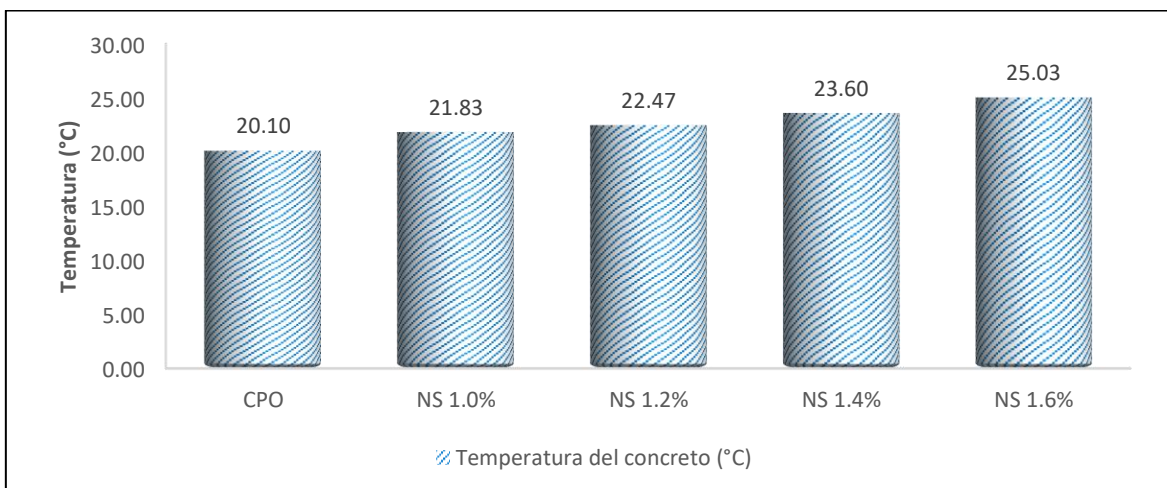
Valores de temperatura para concreto fresco $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$

Descripción	Temperatura del concreto (°C)
CPO	20.10°
NS 1.0%	21.83°
NS 1.2%	22.47°
NS 1.4%	23.60°
NS 1.6%	25.03°

Fuente: Elaboración propia

Figura 15

Temperatura para cada tipo de mezcla de concreto $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$



Fuente: Elaboración propia

4.1.2.3. Resultados de las propiedades del concreto en estado endurecido

4.1.2.3.1. Resistencia a la compresión

A continuación, se presenta los valores obtenidos respecto a la resistencia a compresión, los testigos cilíndricos fueron ensayados a edades de 1, 3, 7, 14, 28 y 56 días.

Tabla 48

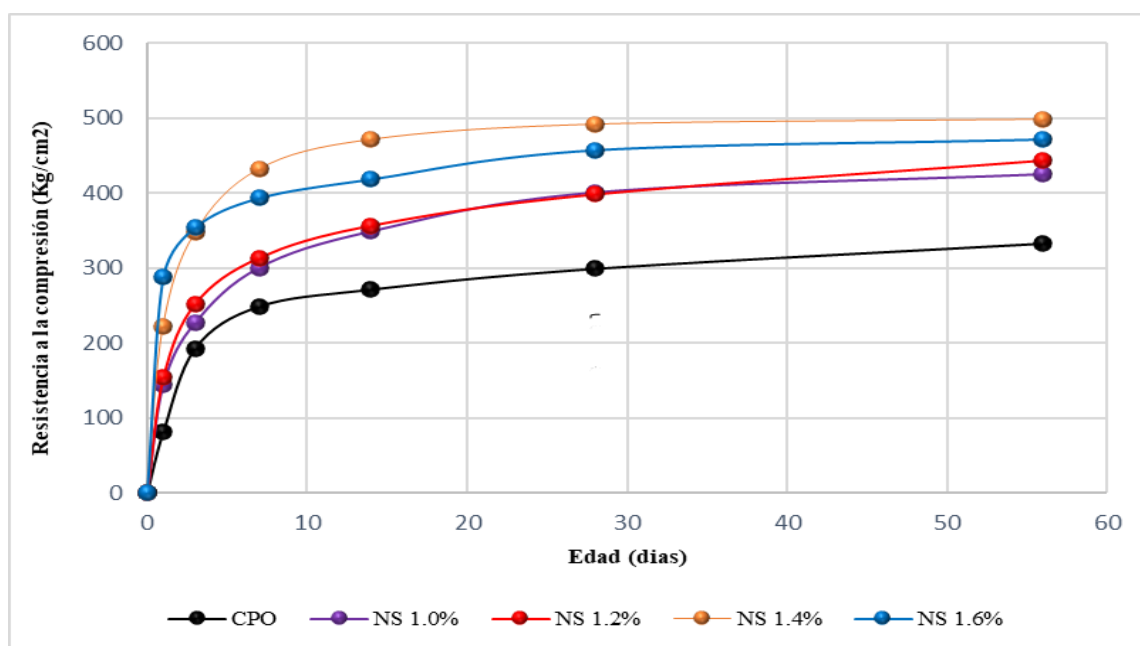
Valores de resistencia a la compresión para concretos $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

Mezcla	Resistencia a la compresión (kg/cm^2)					
	Edad (días)					
	1	3	7	14	28	56
CPO	78.10	185.05	238.11	260.04	287.53	319.96
NS 1.0%	139.28	217.44	289.26	334.77	385.1	409.93
NS 1.2%	147.68	243.95	301.52	343.56	385.13	427.41
NS 1.4%	212.32	335.91	415.38	454.34	474.80	478.88
NS 1.6%	275.27	340.1	377.98	402.66	442.23	453.26

Fuente: Elaboración propia

Figura 16

Resistencia a la compresión para diferentes diseños de mezcla $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$



Fuente: Elaboración propia

Tabla 49

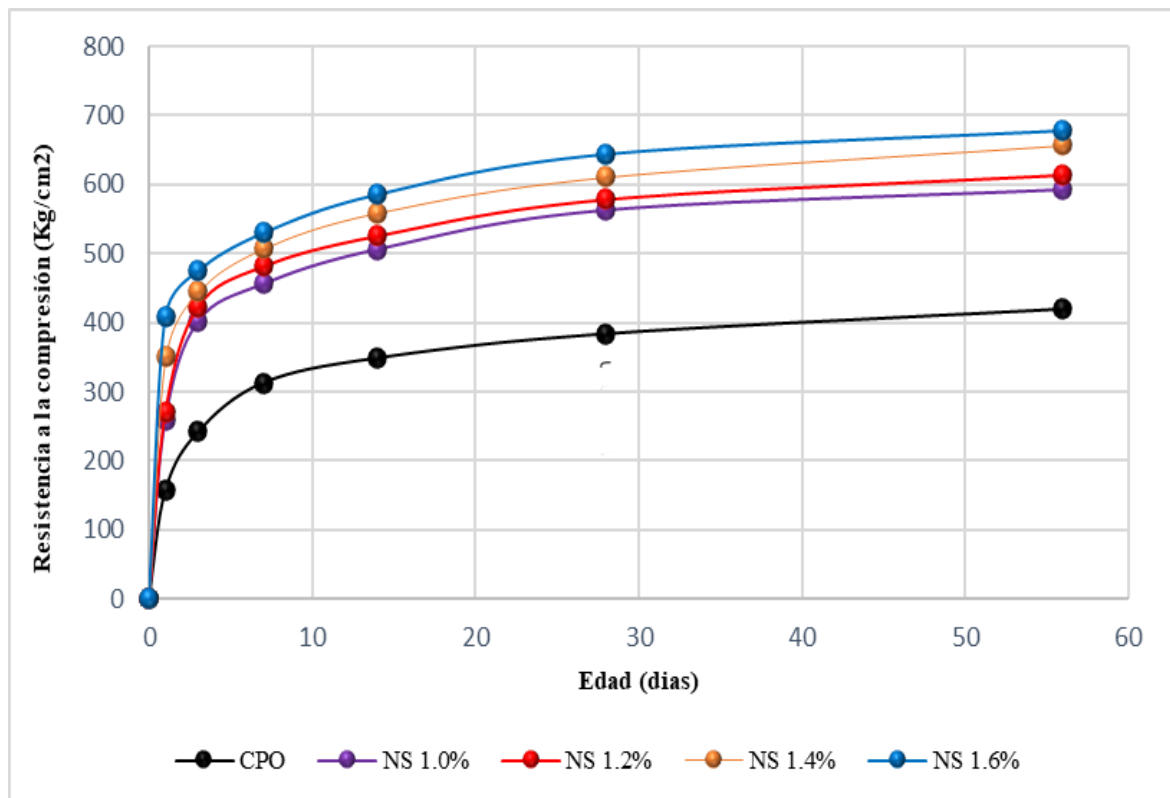
Valores de resistencia a la compresión para concretos $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$

Mezcla	Resistencia a la compresión (kg/cm^2)					
	Edad (días)					
	1	3	7	14	28	56
CPO	156.38	241.63	312.79	348.77	383.77	419.6
NS 1.0%	258.83	401.28	455.77	505.82	562.53	592.2
NS 1.2%	269.37	423.03	481.81	525.81	578.79	614.28
NS 1.4%	349.84	444.69	507.44	559.22	611.01	657.09
NS 1.6%	408.23	474.5	529.65	585.43	643.93	677.98

Fuente: Elaboración propia

Figura 17

Resistencia a la compresión para diferentes diseños de mezcla $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$



Fuente: Elaboración propia

4.1.2.3.2. Resistencia a la flexión

Se presenta los valores obtenidos respecto a la resistencia a flexión, los testigos prismáticos fueron ensayados a edades de 7, 28 y 56 días.

Tabla 50

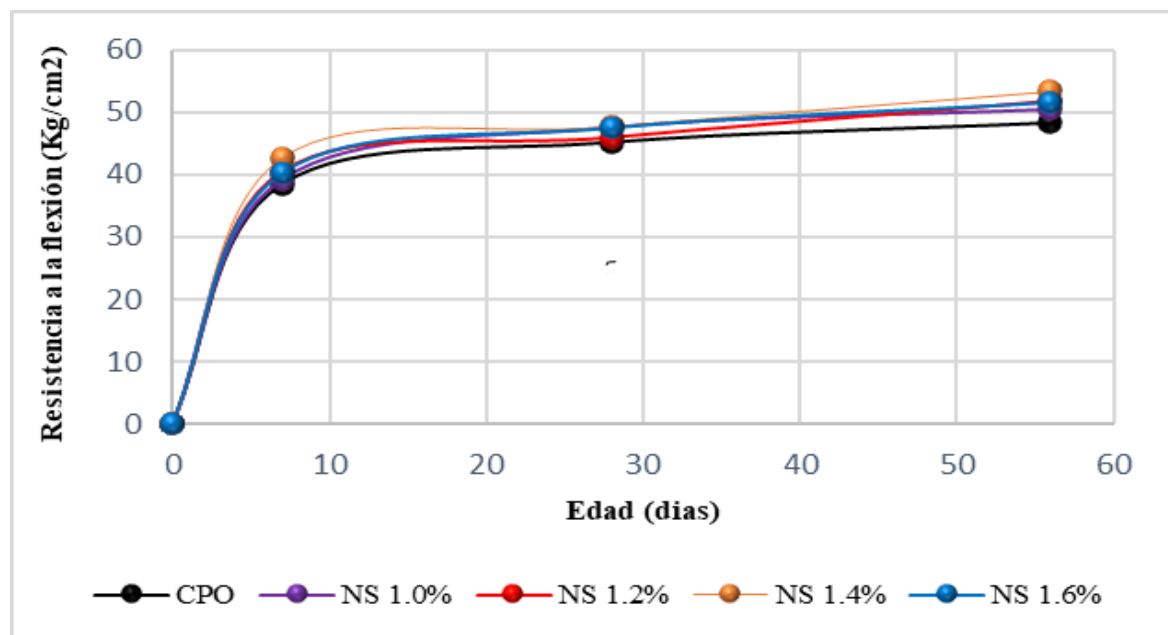
Valores de resistencia a la flexión para concretos $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

Mezcla	Resistencia a la flexión (kg/cm^2)		
	Edad (días)		
	7	28	56
CPO	38.43	45.15	48.27
NS 1.0%	39.13	47.51	50.39
NS 1.2%	40.44	45.91	51.74
NS 1.4%	42.77	47.72	53.34
NS 1.6%	40.20	47.44	51.49

Fuente: Elaboración propia

Figura 18

Resistencia a flexión para diferentes diseños de mezcla $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$



Fuente: Elaboración propia

Tabla 51

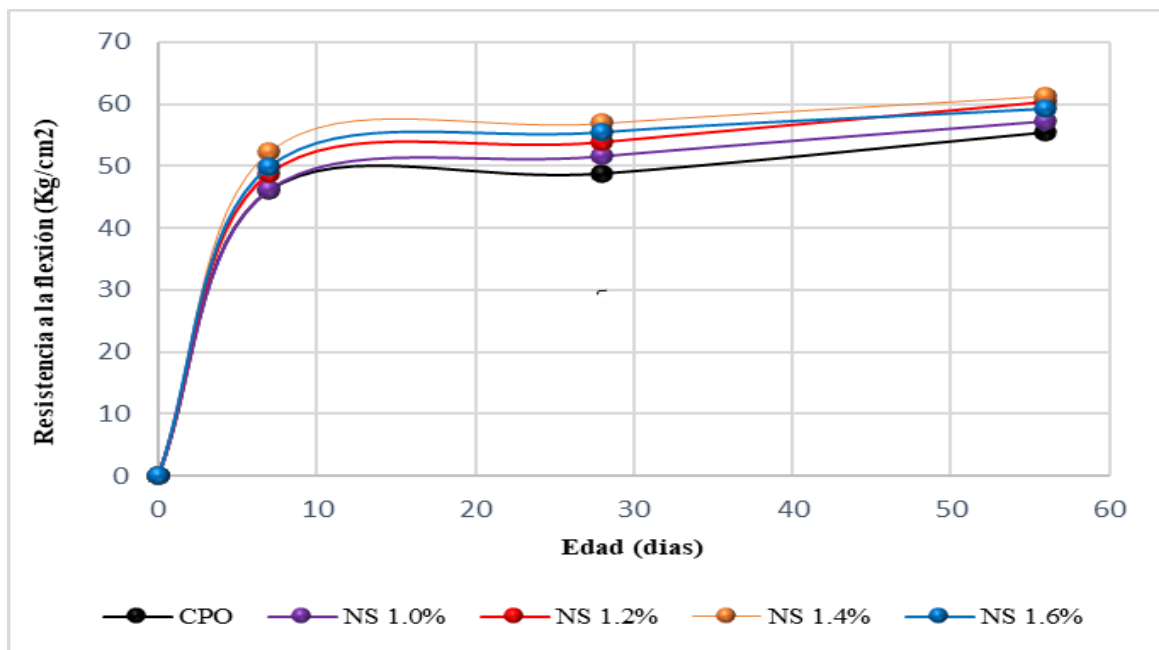
Valores de resistencia a la flexión para concretos $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$

Mezcla	Resistencia a la flexión (kg/cm^2)		
	Edad (días)		
	7	28	56
CPO	46.09	51.89	55.49
NS 1.0%	46.23	48.62	57.33
NS 1.2%	48.83	53.92	60.44
NS 1.4%	52.36	56.90	61.30
NS 1.6%	49.85	55.41	59.19

Fuente: Elaboración propia

Figura 19

Resistencia a flexión para diferentes diseños de mezcla $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$



Fuente: Elaboración propia

4.2. Prueba de hipótesis

La investigación tiene 2 hipótesis específicas, la primera hipótesis hace referencia a las propiedades del concreto en estado fresco (Asentamiento, extensibilidad, peso unitario y temperatura). La segunda hipótesis hace referencia a las propiedades del concreto en estado endurecido las cual consta de los ensayos de resistencia a compresión y flexión. Se considero

el 5% de nivel de significancia ($\alpha=0.05$) y la distribución “t” de Student para diferencia entre dos medias muestrales.

Cálculo de la región crítica

La región crítica se calculó con el t_t (“t” tabulado) utilizando la siguiente fórmula:

$$t_t\left(\frac{\alpha}{(n_1 + n_2 - 2)gl}\right)$$

Donde:

t_t = “t” tabulado

gl = grados de libertad

n_1 = muestra 1 (con adición de nanosíllice)

n_2 = muestra 2 (sin adición de nanosíllice)

$\alpha= 0.025$

Reemplazando datos en la formula anterior, para $n_1=3$ y $n_2= 3$, $\alpha= 0.025$, se tiene:

$$t_t\left(\frac{\alpha}{(n_1 + n_2 - 2)gl}\right) = t_t\left(\frac{0.025}{(3 + 3 - 2)gl}\right) = t_t\left(\frac{0.025}{(4)gl}\right)$$

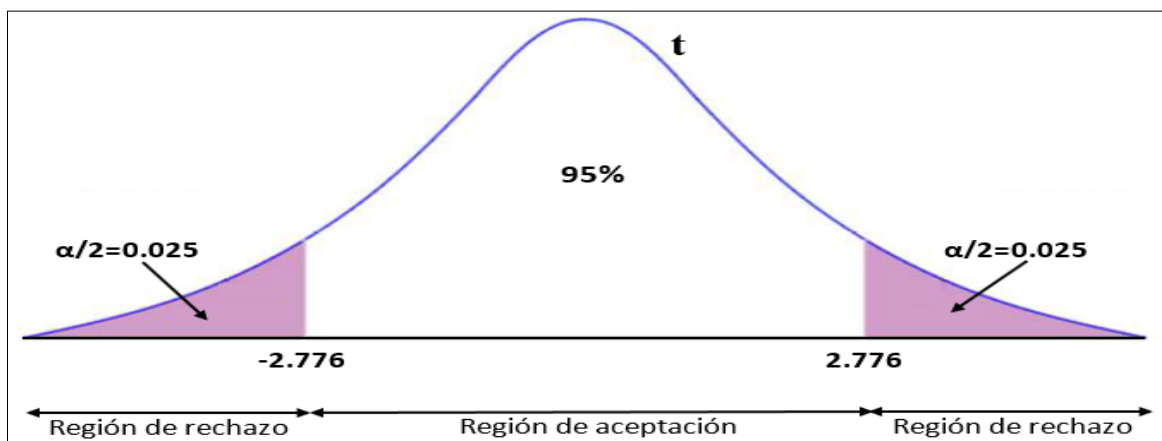
Con los datos obtenidos al reemplazar la formula anterior, se procedió a buscar el valor correspondiente en la tabla “t” de Student, donde el eje “x” corresponde al valor del nivel de significancia (0.025) y el eje “y” corresponde a los grados de libertad, determinándose el valor de $t_t=2.776$ para un nivel de significancia de 0.025 y 4 grados de libertad.

$t_t= 2.776$, indica que ambas colas tendrán el mismo valor, hacia la izquierda el valor de -2.776 y hacia la derecha el valor de 2.776. Finalmente, la región crítica calculada será utilizada en las diferentes pruebas de hipótesis realizadas.

La figura 20, muestra los valores de la zona de rechazo tanto hacia el lado derecho e izquierdo de la distribución “t”.

Figura 20

Diagrama de región crítica y región de aceptación del estudio.



Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Prueba de hipótesis específica 1

H₀ [$\mu_x = \mu_y$]: La adición del nanosílice **no produce efectos significativos** en las propiedades del concreto en estado fresco (asentamiento, extensibilidad, temperatura y peso unitario), empleando agregados de la ciudad de Abancay- Apurímac- 2019.

H_a [$\mu_x \neq \mu_y$]: La adición del nanosílice **produce efectos significativos** en las propiedades del concreto en estado fresco (asentamiento, extensibilidad, temperatura y peso unitario), empleando agregados de la ciudad de Abancay- Apurímac- 2019.

a) Asentamiento del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Tabla 52

Cálculo de " t_c " para el asentamiento del concreto – nanosílice 1.0%

Asentamiento del concreto con adición de nanosílice (1.0%)						
Muestra	NS. 1.0% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	16.40	10.50	17.13	10.15	0.54	0.12
2	17.80	9.85	17.13	10.15	0.44	0.09
3	17.20	10.10	17.13	10.15	0.00	0.00
Σ					0.987	0.215
S^2			0.300			
t_c			15.60			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 53*Cálculo de "t_c" para el asentamiento del concreto – nanosílice 1.2%*

Asentamiento del concreto con adición de nanosílice (1.2%)						
Muestra	NS. 1.2% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	19.65	10.50	20.55	10.15	0.81	0.12
2	21.20	9.85	20.55	10.15	0.42	0.09
3	20.80	10.10	20.55	10.15	0.06	0.00
Σ					1.295	0.215
s^2			0.378			
t_c			20.73			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 54*Cálculo de "t_c" para el asentamiento del concreto – nanosílice 1.4%*

Asentamiento del concreto con adición de nanosílice (1.4%)						
Muestra	NS. 1.4% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	21.75	10.50	22.33	10.15	0.34	0.12
2	23.10	9.85	22.33	10.15	0.59	0.09
3	22.15	10.10	22.33	10.15	0.03	0.00
Σ					0.962	0.215
s^2			0.294			
t_c			27.51			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 55*Cálculo de "t_c" para el asentamiento del concreto – nanosílice 1.6%*

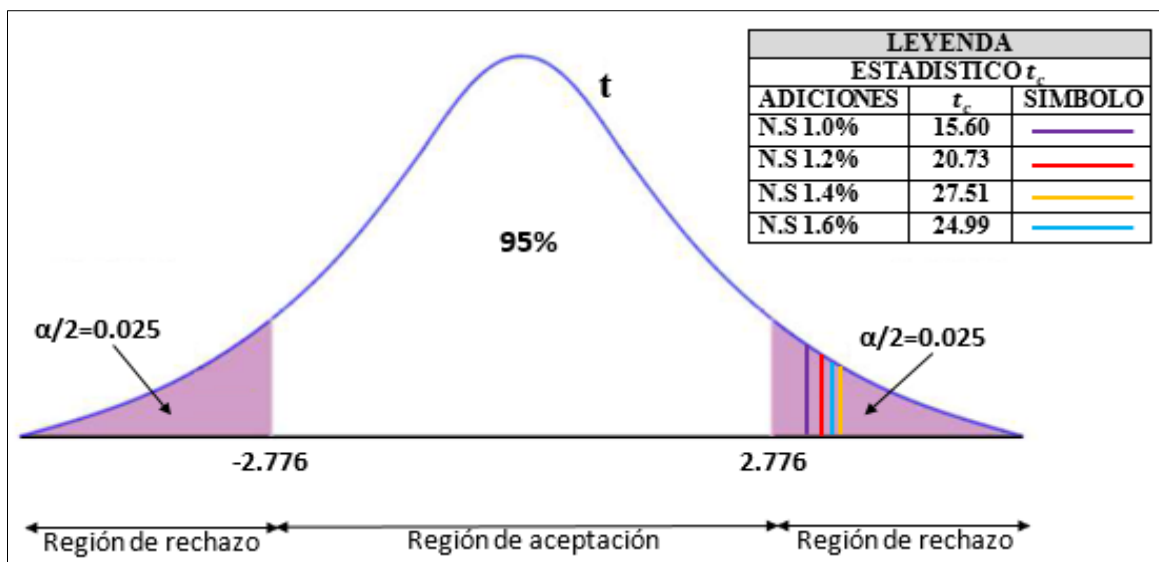
Asentamiento del concreto con adición de nanosílice (1.6%)						
Muestra	NS. 1.6% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	27.80	10.50	26.72	10.15	1.17	0.12
2	25.60	9.85	26.72	10.15	1.25	0.09
3	26.75	10.10	26.72	10.15	0.00	0.00
Σ					2.422	0.215
s^2			0.659			
t_c			24.99			

Fuente: Elaboración propia

En la figura 21 y en la tabla 56 se detalla la prueba de hipótesis realizada, correspondiente al asentamiento del concreto para cada una de las adiciones de nanosílice.

Figura 21

Prueba de hipótesis específica 1 del asentamiento del concreto



Fuente: Elaboración propia

Tabla 56

Resultados del cálculo de " t_c " para el asentamiento del concreto con adiciones de nanosílice en 1.0%, 1.2%, 1.4%, 1.6% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Descripción	Adiciones de nanosílice			
	NS. 1.00%	NS. 1.20%	NS. 1.40%	NS. 1.60%
Planteamiento de hipótesis	<p>H₀: [$\mu_x = \mu_y$] La adición del nanosílice no produce efectos significativos en el asentamiento del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.</p> <p>H_a: [$\mu_x \neq \mu_y$] La adición del nanosílice produce efectos significativos en el asentamiento del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.</p>			
Nivel de significancia	$\alpha = 2.5\% = 0.025$ (2 colas)			
"t" tabulado	2.2776			
Región crítica	$< -\infty; -2.776$] y $[2.776; +\infty >$			
"t" calculado	15.60	20.73	27.51	24.99
Condición	Si $t_c \in \text{R.C.} \rightarrow$ Se rechaza la H_0			

Decisión	Como $t_c \in R.C.$ → Se rechaza la H_0 y se acepta la H_a = La adición del nanosílice produce efectos significativos en el asentamiento del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.
----------	--

Fuente: Elaboración propia

b) Extensibilidad del concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$

Tabla 57

Cálculo de " t_c " para la extensibilidad del concreto – nanosílice 1.0%

Extensibilidad del concreto con adición de nanosílice (1.0%)						
Muestra	NS. 1.0% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	23.30	18.60	24.28	20.22	0.97	2.61
2	25.15	20.95	24.28	20.22	0.75	0.54
3	24.40	21.10	24.28	20.22	0.01	0.78
Σ					1.732	3.932
S^2			1.416			
t_c			4.19			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 58

Cálculo de " t_c " para la extensibilidad del concreto – nanosílice 1.2%

Extensibilidad del concreto con adición de nanosílice (1.2%)						
Muestra	NS. 1.2% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	26.25	18.60	26.40	20.22	0.02	2.61
2	27.95	20.95	26.40	20.22	2.40	0.54
3	25.00	21.10	26.40	20.22	1.96	0.78
Σ					4.385	3.932
S^2			2.079			
t_c			5.25			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 59

Cálculo de " t_c " para la extensibilidad del concreto – nanosílice 1.4%

Extensibilidad del concreto con adición de nanosílice (1.4%)						
Muestra	NS. 1.4% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	59.60	18.60	59.88	20.22	0.08	2.61

2	58.95	20.95	59.88	20.22	0.87	0.54
3	61.10	21.10	59.88	20.22	1.48	0.78
Σ					2.432	3.932
S^2			1.591			
t_c			38.52			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 60

Cálculo de "t_c" para la extensibilidad del concreto – nanosilice 1.6%

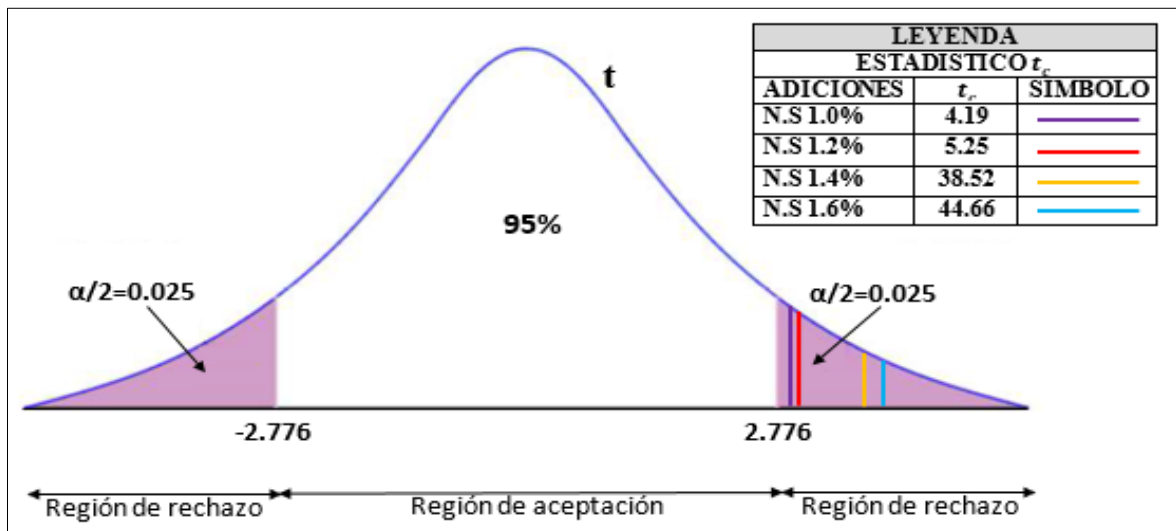
Extensibilidad del concreto con adición de nanosilice (1.6%)						
Muestra	NS. 1.6% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	67.80	18.60	69.22	20.22	2.01	2.61
2	70.30	20.95	69.22	20.22	1.17	0.54
3	69.55	21.10	69.22	20.22	0.11	0.78
Σ					3.292	3.932
S^2			1.806			
t_c			44.66			

Fuente: Elaboración propia

En la figura 22 y en la tabla 61 se detalla la prueba de hipótesis realizada, correspondiente a la extensibilidad del concreto para cada una de las adiciones de nanosilíce.

Figura 22

Prueba de hipótesis específica 1 de la extensibilidad del concreto



Fuente: Elaboración propia

Tabla 61

Resultados del cálculo de " t_c " para la extensibilidad del concreto con adiciones de nanosílice en 1.0%, 1.2%, 1.4%, 1.6%

Descripción	Adiciones de nanosílice			
	NS. 1.00%	NS. 1.20%	NS. 1.40%	NS. 1.60%
Planteamiento de hipótesis	<p>H₀: [$\mu_x = \mu_y$] La adición del nanosílice no produce efectos significativos en la extensibilidad del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.</p> <p>H_a: [$\mu_x \neq \mu_y$] La adición del nanosílice produce efectos significativos en la extensibilidad del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.</p>			
Nivel de significancia	$\alpha = 2.5\% = 0.025$ (2 colas)			
"t" tabulado	2.2776			
Región crítica	$< -\infty; -2.776$] y [$2.776; +\infty$ >			
"t" calculado	4.19	5.25	38.52	44.66
Condición	Si $t_c \in \text{R.C.} \rightarrow$ Se rechaza la H_0			
Decisión	Como $t_c \in \text{R.C.} \rightarrow$ Se rechaza la H_0 y se acepta la $H_a =$ La adición del nanosílice produce efectos significativos en la extensibilidad del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.			

Fuente: Elaboración propia

c) **Peso unitario del concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$**

Tabla 62

Cálculo de " t_c " para el peso unitario del concreto – nanosílice 1.0%

Peso unitario del concreto con adición de nanosílice (1.0%)						
Muestra	NS. 1.0% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	2405	2382	2406	2380	1.00	4.00
2	2407	2373	2406	2380	1.00	49.00
3	2406	2385	2406	2380	0.00	25.00
Σ					2.000	78.000
S^2	20.00					
t_c	7.12					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 63*Cálculo de "t_c" para el peso unitario del concreto – nanosílice 1.2%*

Peso unitario del concreto con adición de nanosílice (1.2%)						
Muestra	NS. 1.2% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	2408	2382	2409	2380	0.44	4.00
2	2410	2373	2409	2380	1.78	49.00
3	2408	2385	2409	2380	0.44	25.00
Σ					2.667	78.000
S^2			20.17			
t_c			7.82			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 64*Cálculo de "t_c" para el peso unitario del concreto – nanosílice 1.4%*

Peso unitario del concreto con adición de nanosílice (1.4%)						
Muestra	NS. 1.4% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	2426	2382	2426	2380	0.11	4.00
2	2428	2373	2426	2380	5.44	49.00
3	2423	2385	2426	2380	7.11	25.00
Σ					12.667	78.000
S^2			22.667			
t_c			11.75			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 65*Cálculo de "t_c" para el peso unitario del concreto – nanosílice 1.6%*

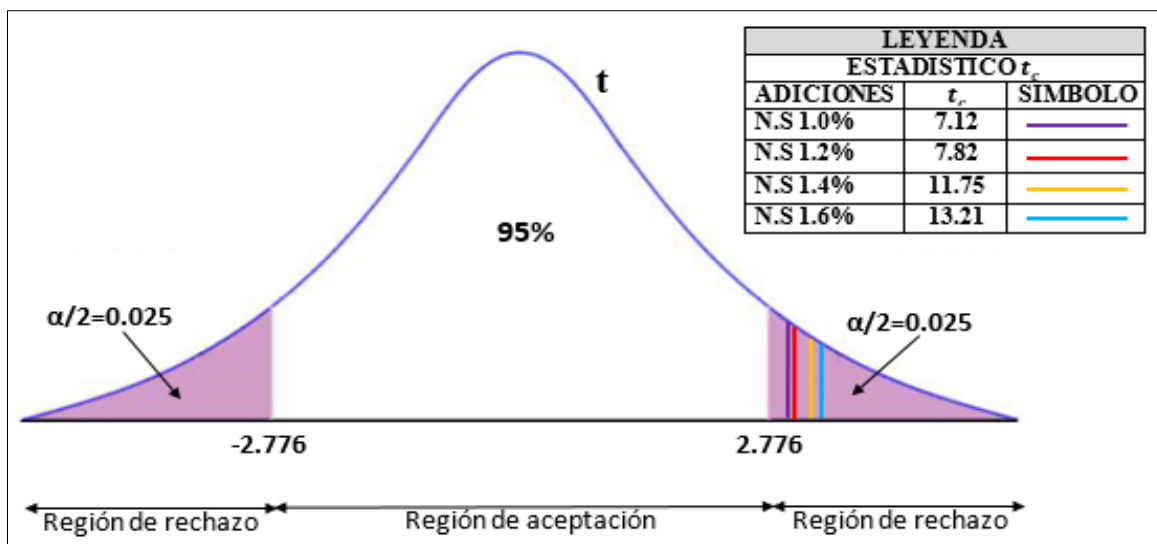
Peso unitario del concreto con adición de nanosílice (1.6%)						
Muestra	NS. 1.6% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	2430	2382	2430	2380	0.00	4.00
2	2432	2373	2430	2380	4.00	49.00
3	2428	2385	2430	2380	4.00	25.00
Σ					8.000	78.000
S^2			21.500			
t_c			13.21			

Fuente: Elaboración propia

En la figura 23 y en la tabla 66 se detalla la prueba de hipótesis realizada, correspondiente al peso unitario del concreto para cada una de las adiciones de nanosílice.

Figura 23

Prueba de hipótesis específica 1 del peso unitario del concreto



Fuente: Elaboración propia

Tabla 66

Resultados del cálculo de “ t_c ” para el peso unitario del concreto con adiciones de nanosílice en 1.0%, 1.2%, 1.4%, 1.6%

Descripción	Adiciones de nanosílice			
	NS. 1.00%	NS. 1.20%	NS. 1.40%	NS. 1.60%
Planteamiento de hipótesis	<p>H₀: [$\mu_x = \mu_y$] La adición del nanosílice no produce efectos significativos en el peso unitario del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.</p> <p>H_a: [$\mu_x \neq \mu_y$] La adición del nanosílice produce efectos significativos en el peso unitario del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.</p>			
Nivel de significancia	$\alpha = 2.5\% = 0.025$ (2 colas)			
“t” tabulado	2.2776			
Región crítica	$< -\infty; -2.776]$ y $[2.776; +\infty >$			
“t” calculado	4.19	5.25	38.52	44.66
Condición	Si $t_c \in \text{R.C.} \rightarrow$ Se rechaza la H_0			

Decisión	Como $t_c \in R.C.$ → Se rechaza la H_0 y se acepta la H_a = La adición del nanosílice produce efectos significativos en el peso unitario del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.
----------	---

Fuente: Elaboración propia

d) Temperatura del concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$

Tabla 67

Cálculo de " t_c " para la temperatura del concreto – nanosílice 1.0%

Temperatura del concreto con adición de nanosílice (1.0%)						
Muestra	NS. 1.0% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	21.00	20.40	20.80	19.90	0.04	0.25
2	20.50	19.50	20.80	19.90	0.09	0.16
3	20.90	19.80	20.80	19.90	0.01	0.01
Σ					0.140	0.420
S^2			0.140			
t_c			2.95			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 68

Cálculo de " t_c " para la temperatura del concreto – nanosílice 1.2%

Temperatura del concreto con adición de nanosílice (1.2%)						
Muestra	NS. 1.2% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	21.80	20.40	21.53	19.90	0.07	0.25
2	21.50	19.50	21.53	19.90	0.00	0.16
3	21.30	19.80	21.53	19.90	0.05	0.01
Σ					0.127	0.420
S^2			0.137			
t_c			5.41			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 69

Cálculo de " t_c " para la temperatura del concreto – nanosílice 1.4%

Temperatura del concreto con adición de nanosílice (1.4%)						
Muestra	NS. 1.4% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$

1	24.40	20.40	24.30	19.90	0.01	0.25	
2	23.90	19.50	24.30	19.90	0.16	0.16	
3	24.60	19.80	24.30	19.90	0.09	0.01	
Σ					0.260	0.420	
S^2						0.170	
t_c						13.07	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 70

Cálculo de “ t_c ” para la temperatura del concreto – nanosílice 1.6%

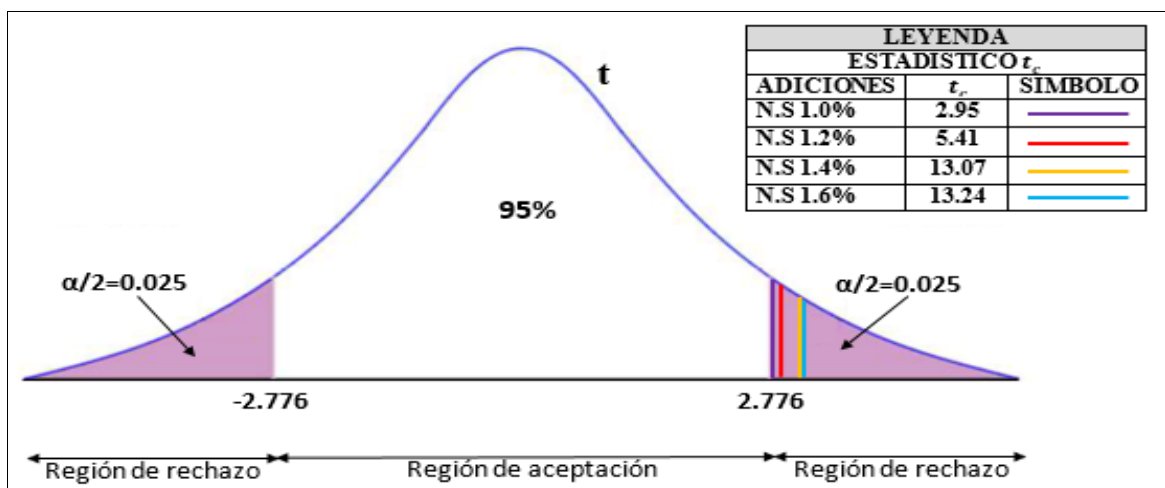
Temperatura del concreto con adición de nanosílice (1.6%)							
Muestra	NS. 1.6% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$	
1	25.30	20.40	24.93	19.90	0.13	0.25	
2	24.40	19.50	24.93	19.90	0.28	0.16	
3	25.10	19.80	24.93	19.90	0.03	0.01	
Σ					0.447	0.420	
S^2						0.217	
t_c						13.24	

Fuente: Elaboración propia

En la figura 24 y en la tabla 71 se detalla la prueba de hipótesis realizada, correspondiente a la temperatura del concreto para cada una de las adiciones de nanosílice.

Figura 24

Prueba de hipótesis específica 1 de la temperatura del concreto



Fuente: Elaboración propia

Tabla 71

Resultados del cálculo de " t_c " para la temperatura del concreto con adiciones de nanosílice en 1.0%, 1.2%, 1.4%, 1.6%

Descripción	Adiciones de nanosílice			
	NS. 1.00%	NS. 1.20%	NS. 1.40%	NS. 1.60%
Planteamiento de hipótesis	<p>H₀: [$\mu_x = \mu_y$] La adición del nanosílice no produce efectos significativos en la temperatura del concreto $f^c=210 \text{ kg/cm}^2$</p> <p>H_a: [$\mu_x \neq \mu_y$] La adición del nanosílice produce efectos significativos en la temperatura del concreto $f^c=210 \text{ kg/cm}^2$.</p>			
Nivel de significancia	$\alpha = 2.5\% = 0.025$ (2 colas)			
"t" tabulado	2.2776			
Región crítica	$< -\infty; -2.776]$ y $[2.776; +\infty >$			
"t" calculado	2.95	5.41	13.07	13.24
Condición	Si $t_c \in \text{R.C.} \rightarrow$ Se rechaza la H_0			
Decisión	Como $t_c \in \text{R.C.} \rightarrow$ Se rechaza la H_0 y se acepta la H_a = La adición del nanosílice produce efectos significativos en la temperatura del concreto $f^c=210 \text{ kg/cm}^2$.			

Fuente: Elaboración propia

e) *Asentamiento del concreto $f^c= 350 \text{ kg/cm}^2$*

Tabla 72

Cálculo de " t_c " para el asentamiento del concreto – nanosílice 1.0%

Asentamiento del concreto con adición de nanosílice (1.0%)						
Muestra	NS. 1.0% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	23.00	10.65	22.82	10.33	0.03	0.10
2	22.50	10.35	22.82	10.33	0.10	0.00
3	22.95	10.00	22.82	10.33	0.02	0.11
Σ					0.152	0.212
s^2	0.091					
t_c	50.73					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 73*Cálculo de "t_c" para el asentamiento del concreto – nanosílice 1.2%*

Asentamiento del concreto con adición de nanosílice (1.2%)						
Muestra	NS. 1.2% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	25.95	10.65	26.22	10.33	0.07	0.10
2	26.60	10.35	26.22	10.33	0.15	0.00
3	26.10	10.00	26.22	10.33	0.01	0.11
Σ					0.232	0.212
S^2			0.111			
t_c			58.43			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 74*Cálculo de "t_c" para el asentamiento del concreto – nanosílice 1.4%*

Asentamiento del concreto con adición de nanosílice (1.4%)						
Muestra	NS. 1.4% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	29.10	10.65	28.68	10.33	0.17	0.10
2	28.70	10.35	28.68	10.33	0.00	0.00
3	28.25	10.00	28.68	10.33	0.19	0.11
Σ					0.362	0.212
S^2			0.143			
t_c			59.36			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 75*Cálculo de "t_c" para el asentamiento del concreto – nanosílice 1.6%*

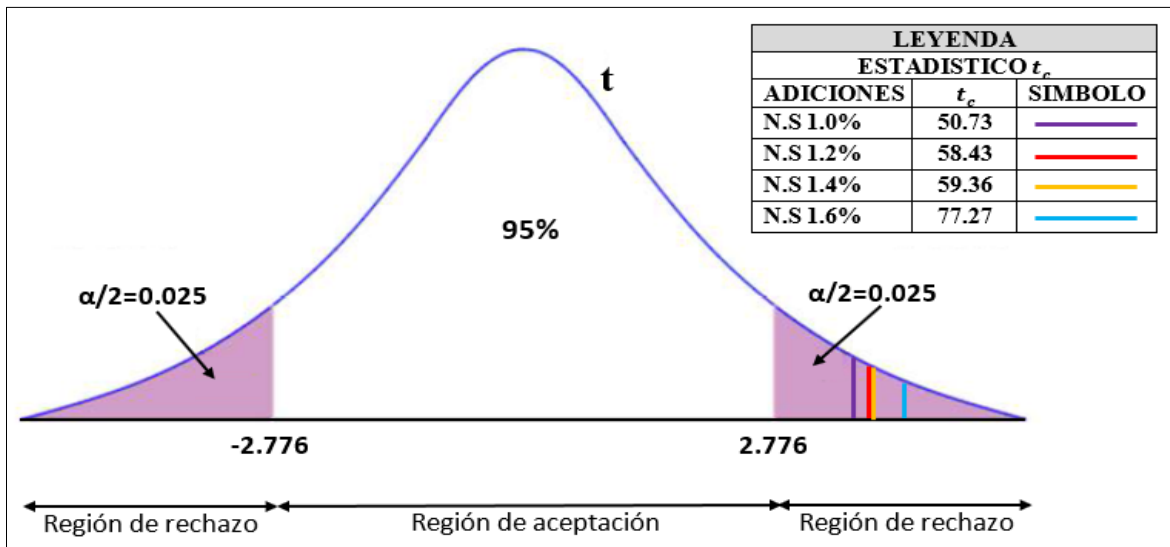
Asentamiento del concreto con adición de nanosílice (1.6%)						
Muestra	NS. 1.6% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	30.15	10.65	30.12	10.33	0.00	0.10
2	29.80	10.35	30.12	10.33	0.10	0.00
3	30.40	10.00	30.12	10.33	0.08	0.11
Σ					0.182	0.212
S^2			0.098			
t_c			77.27			

Fuente: Elaboración propia

En la figura 25 y en la tabla 76 se detalla la prueba de hipótesis realizada, correspondiente al asentamiento del concreto para cada una de las adiciones de nanosílice.

Figura 25

Prueba de hipótesis específica 1 del asentamiento del concreto



Fuente: Elaboración propia

Tabla 76

Resultados del cálculo de “ t_c ” para el asentamiento del concreto con adiciones de nanosílice en 1.0%, 1.2%, 1.4%, 1.6%

Descripción	Adiciones de nanosílice			
	NS. 1.00%	NS. 1.20%	NS. 1.40%	NS. 1.60%
Planteamiento de hipótesis	<p>H₀: [$\mu_x = \mu_y$] La adición del nanosílice no produce efectos significativos en el asentamiento del concreto $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$.</p> <p>H_a: [$\mu_x \neq \mu_y$] La adición del nanosílice produce efectos significativos en el asentamiento del concreto $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$.</p>			
Nivel de significancia	$\alpha = 2.5\% = 0.025$ (2 colas)			
“t” tabulado	2.2776			
Región crítica	$< -\infty; -2.776]$ y $[2.776; +\infty >$			
“t” calculado	50.73	58.43	59.36	77.27
Condición	Si $t_c \in \text{R.C.} \rightarrow$ Se rechaza la H_0			

Decisión	Como $t_c \in R.C.$ → Se rechaza la H_0 y se acepta la H_a = La adición del nanosílice produce efectos significativos en el asentamiento del concreto $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$.
----------	--

Fuente: Elaboración propia

f) Extensibilidad del concreto $f'c= 350 \text{ kg/cm}^2$

Tabla 77

Cálculo de " t_c " para la extensibilidad del concreto – nanosílice 1.0%

Extensibilidad del concreto con adición de nanosílice (1.0%)						
Muestra	NS. 1.0% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	48.10	19.95	47.47	21.33	0.40	1.91
2	46.95	22.95	47.47	21.33	0.27	2.61
3	47.35	21.10	47.47	21.33	0.01	0.05
Σ					0.682	4.582
S^2			1.316			
t_c			27.90			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 78

Cálculo de " t_c " para la extensibilidad del concreto – nanosílice 1.2%

Extensibilidad del concreto con adición de nanosílice (1.2%)						
Muestra	NS. 1.2% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	58.40	19.95	60.32	21.33	3.67	1.91
2	62.35	22.95	60.32	21.33	4.13	2.61
3	60.20	21.10	60.32	21.33	0.01	0.05
Σ					7.822	4.582
S^2			3.101			
t_c			27.11			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 79

Cálculo de " t_c " para la extensibilidad del concreto – nanosílice 1.4%

Extensibilidad del concreto con adición de nanosílice (1.4%)						
Muestra	NS. 1.4% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	65.20	19.95	63.55	21.33	2.72	1.91

2	61.95	22.95	63.55	21.33	2.56	2.61
3	63.50	21.10	63.55	21.33	0.00	0.05
Σ					5.285	4.582
S^2			2.467			
t_c			32.92			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 80

Cálculo de “ t_c ” para la extensibilidad del concreto – nanosílice 1.6%.

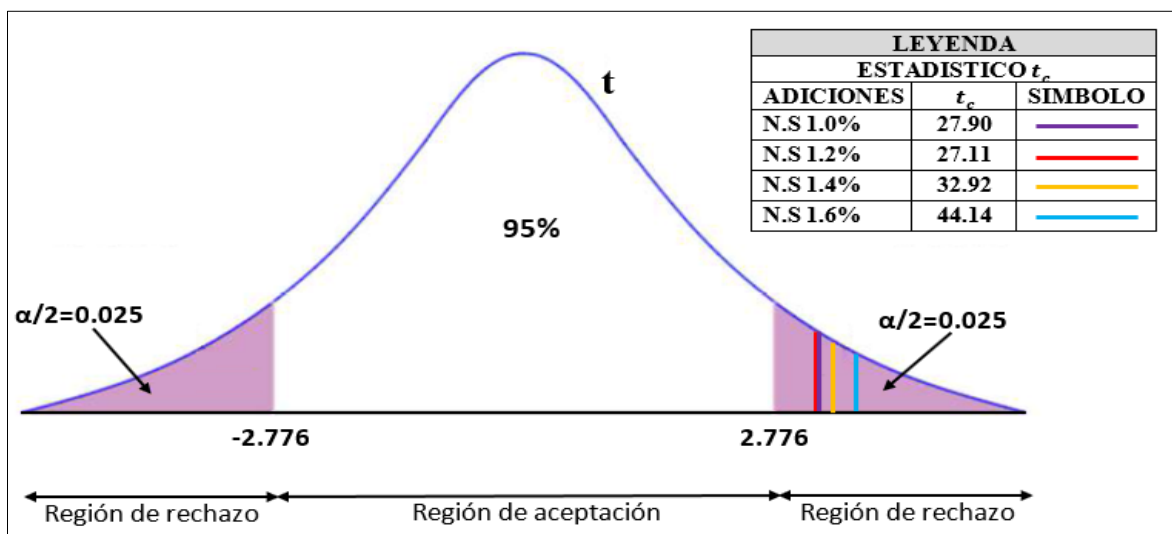
Extensibilidad del concreto con adición de nanosílice (1.6%)						
Muestra	NS. 1.6% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	74.30	19.95	72.82	21.33	2.20	1.91
2	71.70	22.95	72.82	21.33	1.25	2.61
3	72.45	21.10	72.82	21.33	0.13	0.05
Σ					3.582	4.582
S^2			2.041			
t_c			44.14			

Fuente: Elaboración propia

En la figura 26 y en la tabla 81 se detalla la prueba de hipótesis realizada, correspondiente a la extensibilidad del concreto para cada una de las adiciones de nanosílice.

Figura 26

Prueba de hipótesis específica 1 de la extensibilidad del concreto



Fuente: Elaboración propia

Tabla 81

Resultados del cálculo de “ t_c ” para la extensibilidad del concreto con adiciones de nanosílice en 1.0%, 1.2%, 1.4%, 1.6%

Descripción	Adiciones de nanosílice			
	NS. 1.00%	NS. 1.20%	NS. 1.40%	NS. 1.60%
Planteamiento de hipótesis	<p>H₀: [$\mu_x = \mu_y$] La adición del nanosílice no produce efectos significativos en la extensibilidad del concreto $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$.</p> <p>H_a: [$\mu_x \neq \mu_y$] La adición del nanosílice produce efectos significativos en la extensibilidad del concreto $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$.</p>			
Nivel de significancia	$\alpha = 2.5\% = 0.025$ (2 colas)			
“t” tabulado	2.2776			
Región crítica	$< -\infty; -2.776]$ y $[2.776; +\infty >$			
“t” calculado	27.90	27.11	32.92	44.14
Condición	Si $t_c \in \text{R.C.} \rightarrow$ Se rechaza la H_0			
Decisión	Como $t_c \in \text{R.C.} \rightarrow$ Se rechaza la H_0 y se acepta la H_a = La adición del nanosílice produce efectos significativos en la extensibilidad del concreto $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$.			

Fuente: Elaboración propia

g) Peso unitario del concreto $f'c= 350 \text{ kg/cm}^2$

Tabla 82

Cálculo de “ t_c ” para el peso unitario del concreto – nanosílice 1.0%.

Peso unitario del concreto con adición de nanosílice (1.0%)						
Muestra	NS. 1.0% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	2448	2422	2448	2421	0.00	1.78
2	2452	2419	2448	2421	16.00	2.78
3	2444	2421	2448	2421	16.00	0.11
Σ					32.000	4.667
s^2			9.167			
t_c			11.06			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 83*Cálculo de "t_c" para el peso unitario del concreto – nanosílice 1.2%.*

Peso unitario del concreto con adición de nanosílice (1.2%)						
Muestra	NS. 1.2% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	2465	2422	2464	2421	1.00	1.78
2	2466	2419	2464	2421	4.00	2.78
3	2461	2421	2464	2421	9.00	0.11
Σ					14.000	4.667
S^2			4.667			
t_c			24.57			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 84*Cálculo de "t_c" para el peso unitario del concreto – nanosílice 1.4%.*

Peso unitario del concreto con adición de nanosílice (1.4%)						
Muestra	NS. 1.4% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	2475	2422	2473	2421	2.78	1.78
2	2472	2419	2473	2421	1.78	2.78
3	2473	2421	2473	2421	0.11	0.11
Σ					4.667	4.667
S^2			2.333			
t_c			42.23			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 85*Cálculo de "t_c" para el peso unitario del concreto – nanosílice 1.6%.*

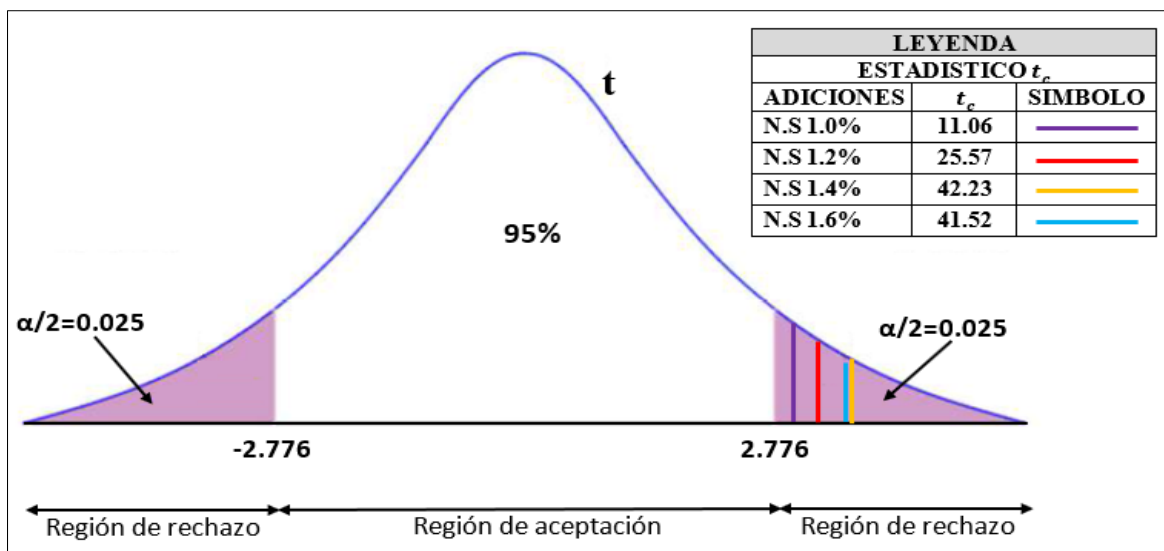
Peso unitario del concreto con adición de nanosílice (1.6%)						
Muestra	NS. 1.6% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	2481	2422	2481	2421	0.00	1.78
2	2483	2419	2481	2421	4.00	2.78
3	2479	2421	2481	2421	4.00	0.11
Σ					8.000	4.667
S^2			3.167			
t_c			41.52			

Fuente: Elaboración propia

En la figura 27 y en la tabla 86 se detalla la prueba de hipótesis realizada, correspondiente al peso unitario del concreto para cada una de las adiciones de nanosílice.

Figura 27

Prueba de hipótesis específica 1 del peso unitario del concreto



Fuente: Elaboración propia

Tabla 86

Resultados del cálculo de “ t_c ” para el peso unitario del concreto con adiciones de nanosílice en 1.0%, 1.2%, 1.4%, 1.6%

Descripción	Adiciones de nanosílice			
	NS. 1.00%	NS. 1.20%	NS. 1.40%	NS. 1.60%
Planteamiento de hipótesis	<p>H₀: [$\mu_x = \mu_y$] La adición del nanosílice no produce efectos significativos en el peso unitario del concreto $f^c=350 \text{ kg/cm}^2$.</p> <p>H_a: [$\mu_x \neq \mu_y$] La adición del nanosílice produce efectos significativos en el peso unitario del concreto $f^c=350 \text{ kg/cm}^2$.</p>			
Nivel de significancia	$\alpha= 2.5\% = 0.025$ (2 colas)			
“t” tabulado	2.2776			
Región crítica	$< -\infty; -2.776]$ y $[2.776; +\infty >$			
“t” calculado	11.06	24.57	42.23	41.52
Condición	Si $t_c \in \text{R.C.} \rightarrow$ Se rechaza la H ₀			

Decisión	Como $t_c \in R.C.$ → Se rechaza la H_0 y se acepta la H_a = La adición del nanosílice produce efectos significativos en el peso unitario del concreto $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$.
----------	---

Fuente: Elaboración propia

h) Temperatura del concreto $f'c= 350 \text{ kg/cm}^2$

Tabla 87

Cálculo de “ t_c ” para la temperatura del concreto – nanosílice 1.0%.

Temperatura del concreto con adición de nanosílice (1.0%)						
Muestra	NS. 1.0% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	22.10	20.40	21.83	20.10	0.07	0.09
2	21.60	20.10	21.83	20.10	0.05	0.00
3	21.80	19.80	21.83	20.10	0.00	0.09
Σ					0.127	0.180
S^2			0.077			
t_c			7.67			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 88

Cálculo de “ t_c ” para la temperatura del concreto – nanosílice 1.2%.

Temperatura del concreto con adición de nanosílice (1.2%)						
Muestra	NS. 1.2% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	22.50	20.40	22.47	20.10	0.00	0.09
2	22.60	20.10	22.47	20.10	0.02	0.00
3	22.30	19.80	22.47	20.10	0.03	0.09
Σ					0.047	0.180
S^2			0.057			
t_c			12.18			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 89

Cálculo de “ t_c ” para la temperatura del concreto – nanosílice 1.4%.

Temperatura del concreto con adición de nanosílice (1.4%)						
Muestra	NS. 1.4% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	23.20	20.40	23.60	20.10	0.16	0.09

2	24.10	20.10	23.60	20.10	0.25	0.00
3	23.50	19.80	23.60	20.10	0.01	0.09
Σ					0.420	0.180
S^2			0.150			
t_c			11.07			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 90

Cálculo de "t_c" para la temperatura del concreto – nanosílice 1.6%.

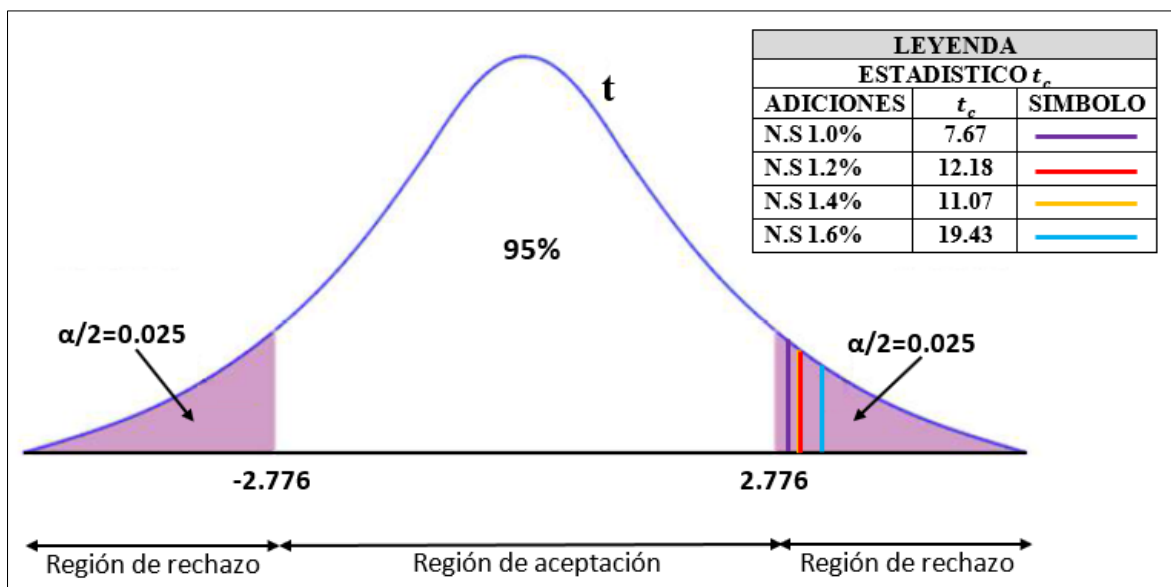
Temperatura del concreto con adición de nanosílice (1.6%)						
Muestra	NS. 1.6% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	24.80	20.40	25.03	20.10	0.05	0.09
2	25.40	20.10	25.03	20.10	0.13	0.00
3	24.90	19.80	25.03	20.10	0.02	0.09
Σ					0.207	0.180
S^2			0.097			
t_c			19.43			

Fuente: Elaboración propia

En la figura 28 y en la tabla 91 se detalla la prueba de hipótesis realizada, correspondiente a la temperatura del concreto para cada una de las adiciones de nanosílice.

Figura 28

Prueba de hipótesis específica 1 de la temperatura del concreto



Fuente: Elaboración propia

Tabla 91

Resultados del cálculo de “ t_c ” para la temperatura del concreto con adiciones de nanosílice en 1.0%, 1.2%, 1.4%, 1.6%

Descripción	Adiciones de nanosílice			
	NS. 1.00%	NS. 1.20%	NS. 1.40%	NS. 1.60%
Planteamiento de hipótesis	<p>H₀: [$\mu_x = \mu_y$] La adición del nanosílice no produce efectos significativos en la temperatura del concreto $f^c=350$ kg/cm²</p> <p>H_a: [$\mu_x \neq \mu_y$] La adición del nanosílice produce efectos significativos en la temperatura del concreto $f^c=350$ kg/cm².</p>			
Nivel de significancia	$\alpha= 2.5\% = 0.025$ (2 colas)			
“t” tabulado	2.2776			
Región crítica	$< -\infty; -2.776]$ y $[2.776; +\infty>$			
“t” calculado	7.67	12.18	11.07	19.43
Condición	Si $t_c \in$ R.C. \rightarrow Se rechaza la H_0			
Decisión	Como $t_c \in$ R.C. \rightarrow Se rechaza la H_0 y se acepta la $H_a=$ La adición del nanosílice produce efectos significativos en la temperatura del concreto $f^c=350$ kg/cm ² .			

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, con respecto a la hipótesis específica 1, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, cuyo planteamiento es el siguiente: La adición del nanosílice produce efectos significativos en las propiedades del concreto en estado fresco (Asentamiento, extensibilidad, peso unitario y temperatura). Por lo tanto, se tiene evidencia estadística para manifestar que los efectos de la adición del nanosílice es de manera positiva, ya que a mayor adición de nanosílice las propiedades del concreto en estado fresco se incrementa.

4.2.3. Prueba de hipótesis específica 2

H₀: [$\mu_x = \mu_y$] La adición del nanosílice **no produce efectos significativos** en las propiedades del concreto en estado endurecido (resistencia a compresión y flexión), empleando agregados de la ciudad de Abancay- Apurímac-2019.

Ho: $[\mu_x \neq \mu_y]$ La adición del nanosílice **produce efectos significativos** en las propiedades del concreto en estado endurecido (resistencia a compresión y flexión), empleando agregados de la ciudad de Abancay- Apurímac-2019.

a) *Resistencia a la compresión axial del concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$.*

Tabla 92

Cálculo de “ t_c ” para la compresión axial del concreto – nanosílice 1.0%

Resistencia a compresión axial con adición de nanosílice (1.0%)						
Muestra	NS. 1.0% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	411.28	325.18	409.93	319.96	1.82	27.25
2	420.58	317.45	409.93	319.96	113.42	6.30
3	397.93	317.25	409.93	319.96	144.00	7.34
Σ					259.245	40.893
S^2			75.034			
t_c			12.72			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 93

Cálculo de “ t_c ” para la compresión axial del concreto – nanosílice 1.2%

Adición de nanosílice (1.2%)						
Muestra	NS. 1.2% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	421.83	325.18	427.41	319.96	31.17	27.25
2	446.71	317.45	427.41	319.96	372.36	6.30
3	413.70	317.25	427.41	319.96	188.06	7.34
Σ					591.590	40.893
S^2			158.121			
t_c			10.47			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 94

Cálculo de “ t_c ” para la compresión axial del concreto – nanosílice 1.4%

Adición de nanosílice (1.4%)						
Muestra	NS. 1.4% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	481.53	325.18	478.88	319.96	7.00	27.25

2	491.44	317.45	478.88	319.96	157.67	6.30
3	463.68	317.25	478.88	319.96	231.14	7.34
Σ					395.816	40.893
S^2	109.177					
t_c	18.63					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 95

Cálculo de “ t_c ” para la compresión axial del concreto – nanosílice 1.6%.

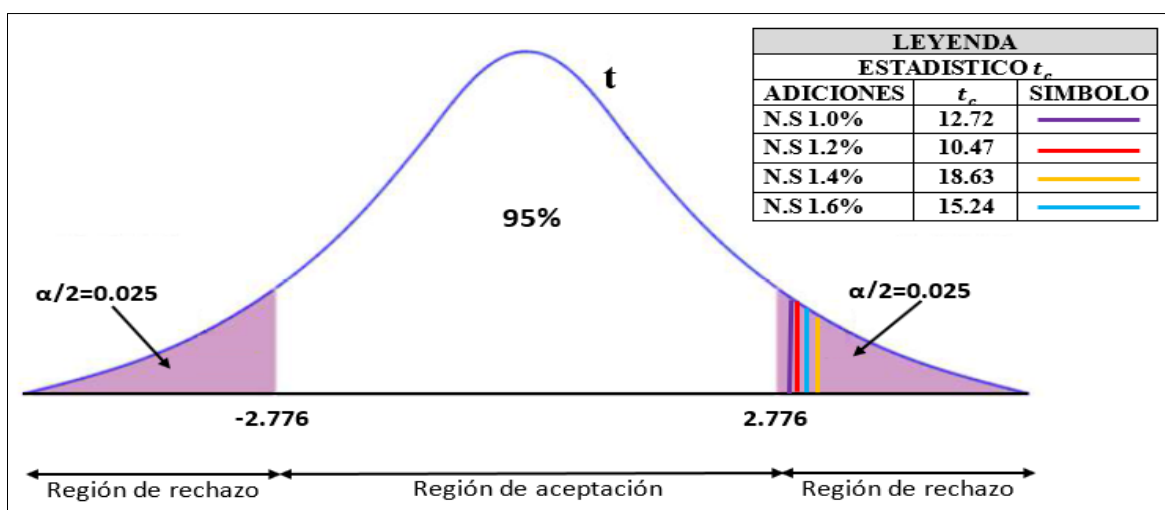
Adición de nanosílice (1.6%)						
Muestra	NS. 1.6% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	467.69	325.18	453.26	319.96	208.32	27.25
2	438.78	317.45	453.26	319.96	209.57	6.30
3	453.30	317.25	453.26	319.96	0.00	7.34
Σ					417.897	40.893
S^2	114.697					
t_c	15.24					

Fuente: Elaboración propia

En la figura 29 y en la tabla 96 se detalla la prueba de hipótesis correspondiente a la resistencia a compresión axial $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ del concreto para cada una de las adiciones de nanosílice.

Figura 29

Prueba de hipótesis específica 2 de la resistencia a compresión del concreto



Fuente: Elaboración propia

Tabla 96

Resultados del cálculo de " t_c " para la resistencia a compresión axial del concreto con adiciones de nanosílice en 1.0%, 1.2%, 1.4%, 1.6%

Descripción	Adiciones de nanosílice			
	NS. 1.00%	NS. 1.20%	NS. 1.40%	NS. 1.60%
Planteamiento de hipótesis	<p>H₀: [$\mu_x = \mu_y$] La adición del nanosílice no produce efectos en la resistencia a compresión axial del concreto $f'c=210$ kg/cm².</p> <p>H_a: [$\mu_x \neq \mu_y$] La adición del nanosílice produce efectos en la resistencia a compresión axial del concreto $f'c=210$ kg/cm².</p>			
Nivel de significancia	$\alpha = 2.5\% = 0.025$ (2 colas)			
"t" tabulado	2.2776			
Región crítica	$< -\infty; -2.776]$ y $[2.776; +\infty >$			
"t" calculado	12.72	10.47	18.63	15.24
Condición	Si $t_c \in$ R.C. \rightarrow Se rechaza la H ₀			
Decisión	Como $t_c \in$ R.C. \rightarrow Se rechaza la H ₀ y se acepta la H _a = La adición del nanosílice produce efectos significativos en la resistencia a compresión axial del concreto $f'c=210$ kg/cm ² .			

Fuente: Elaboración propia

b) Resistencia a la flexión del concreto $f'c= 210$ kg/cm²

Tabla 97

Cálculo de " t_c " para la resistencia a flexión del concreto – nanosílice 1.0%

Resistencia a flexión con adición de nanosílice (1.0%)						
Muestra	NS. 1.0% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	49.94	48.04	50	48	0.20	0.05
2	50.16	48.63	50	48	0.05	0.13
3	51.06	48.15	50	48	0.45	0.02
Σ					0.700	0.196
s^2	0.22					
t_c	5.48					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 98*Cálculo de "t_c" para la resistencia a flexión del concreto – nanosílice 1.2%*

Resistencia a flexión con adición de nanosílice (1.2%)						
Muestra	NS. 1.2% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	52.53	48.04	52	48	0.62	0.05
2	51.94	48.63	52	48	0.04	0.13
3	50.76	48.15	52	48	0.97	0.02
Σ					1.623	0.196
S^2			0.45			
t_c			6.30			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 99*Cálculo de "t_c" para la resistencia a flexión del concreto – nanosílice 1.4%*

Resistencia a flexión con adición de nanosílice (1.4%)						
Muestra	NS. 1.4% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	52.71	48.04	53	48	0.40	0.05
2	53.38	48.63	53	48	0.00	0.13
3	53.94	48.15	53	48	0.35	0.02
Σ					0.749	0.196
S^2			0.236			
t_c			12.78			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 100*Cálculo de "t_c" para la resistencia a flexión del concreto – nanosílice 1.6%*

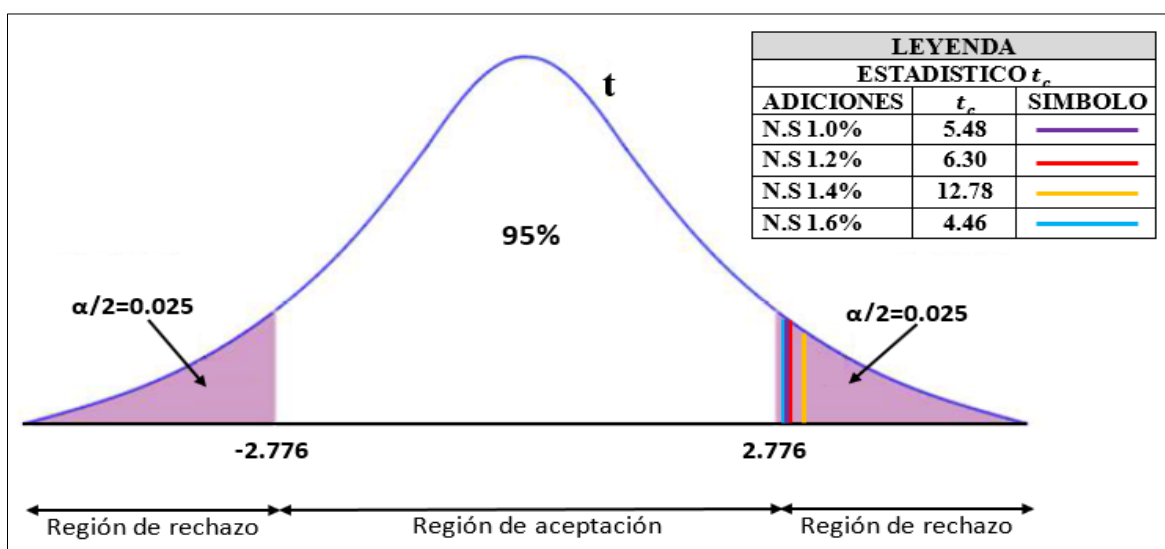
Resistencia a flexión con adición de nanosílice (1.6%)						
Muestra	NS. 1.6% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	50.50	48.04	51	48	0.98	0.05
2	52.84	48.63	51	48	1.82	0.13
3	51.13	48.15	51	48	0.13	0.02
Σ					2.931	0.196
S^2			0.782			
t_c			4.46			

Fuente: Elaboración propia

En la figura 30 y en la tabla 101 se detalla la prueba de hipótesis correspondiente a la resistencia a flexión $f^c=210 \text{ kg/cm}^2$ del concreto para cada una de las adiciones de nanosílice.

Figura 30

Prueba de hipótesis específica 2 de la resistencia a flexión del concreto.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 101

Resultados del cálculo de “ t_c ” para la resistencia a flexión del concreto con adiciones de nanosílice en 1.0%, 1.2%, 1.4%, 1.6%

Descripción	Adiciones de nanosílice			
	NS. 1.00%	NS. 1.20%	NS. 1.40%	NS. 1.60%
Planteamiento de hipótesis	<p>H₀: $[\mu_x = \mu_y]$ La adición del nanosílice no produce efectos en la resistencia a la flexión del concreto $f^c=210 \text{ kg/cm}^2$.</p> <p>H_a: $[\mu_x \neq \mu_y]$ La adición del nanosílice produce efectos en la resistencia a la flexión del concreto $f^c=210 \text{ kg/cm}^2$.</p>			
Nivel de significancia	$\alpha = 2.5\% = 0.025$ (2 colas)			
“t” tabulado	2.2776			
Región crítica	$< -\infty; -2.776]$ y $[2.776; +\infty >$			
“t” calculado	5.48	6.30	12.78	4.46
Condición	Si $t_c \in \text{R.C.} \rightarrow$ Se rechaza la H_0			

Decisión	Como $t_c \in R.C.$ → Se rechaza la H_0 y se acepta la H_a = La adición del nanosílice produce efectos significativos en la resistencia a la flexión del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$.
----------	---

Fuente: Elaboración propia

c) *Resistencia a la compresión axial del concreto $f'_c= 350 \text{ kg/cm}^2$.*

Tabla 102

Cálculo de “ t_c ” para la resistencia a compresión del concreto – nanosílice 1.0%

Resistencia a compresión axial del concreto con adición de nanosílice (1.0%)						
Muestra	NS. 1.0% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	591.70	417.46	592	420	0.25	4.57
2	593.59	427.61	592	420	1.92	64.21
3	591.32	413.72	592	420	0.78	34.54
Σ					2.956	103.314
S^2			26.568			
t_c			41.01			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 103

Cálculo de “ t_c ” para la resistencia a compresión del concreto – nanosílice 1.2%

Resistencia a compresión axial del concreto con adición de nanosílice (1.2%)						
Muestra	NS. 1.2% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	605.18	417.46	614	420	82.75	4.57
2	624.97	427.61	614	420	114.35	64.21
3	612.68	413.72	614	420	2.55	34.54
Σ					199.646	103.314
S^2			75.740			
t_c			27.40			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 104

Cálculo de “ t_c ” para la resistencia a compresión del concreto – nanosílice 1.4%

Resistencia a compresión axial del concreto con adición de nanosílice (1.4%)						
Muestra	NS. 1.4% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	656.78	417.46	657	420	0.09	4.57

2	665.42	427.61	657	420	69.44	64.21
3	649.06	413.72	657	420	64.43	34.54
Σ					133.966	103.314
S^2			59.320			
t_c			37.77			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 105

Cálculo de “ t_c ” para la resistencia a compresión del concreto – nanosílice 1.6%

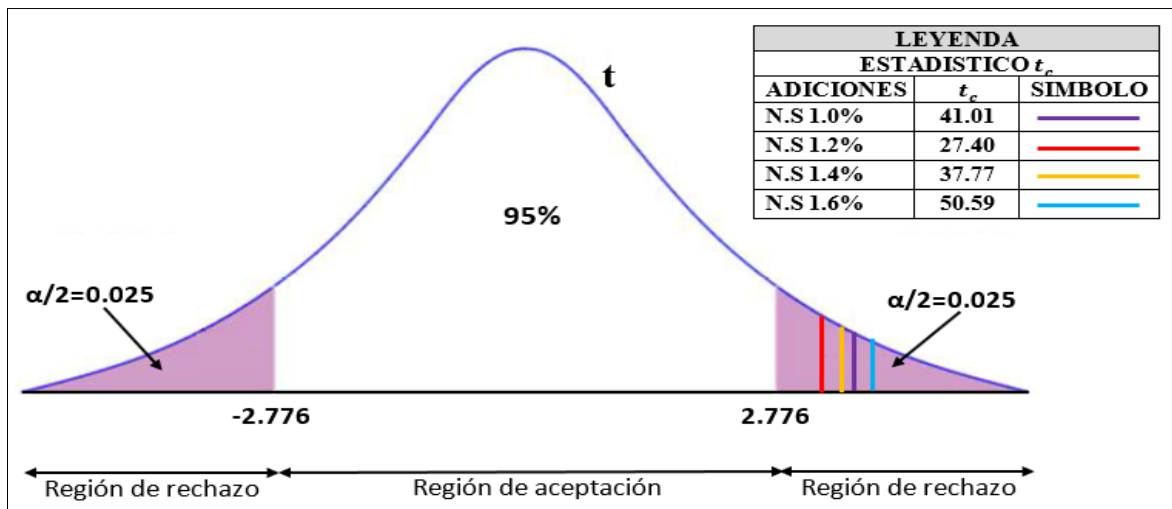
Resistencia a compresión axial del concreto con adición de nanosílice (1.6%)						
Muestra	NS. 1.6% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	672.92	417.46	678	420	25.60	4.57
2	677.79	427.61	678	420	0.04	64.21
3	683.23	413.72	678	420	27.56	34.54
Σ					53.202	103.314
S^2			39.129			
t_c			50.59			

Fuente: Elaboración propia

En la figura 31 y en la tabla 106 se detalla la prueba de hipótesis correspondiente a la resistencia a compresión axial $f^c=350 \text{ kg/cm}^2$ del concreto para cada una de las adiciones de nanosílice.

Figura 31

Prueba de hipótesis específica 2 de resistencia a compresión del concreto.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 106

Resultados del cálculo de " t_c " para la resistencia a compresión axial del concreto con adiciones de nanosílice en 1.0%, 1.2%, 1.4%, 1.6%

Descripción	Adiciones de nanosílice			
	NS. 1.00%	NS. 1.20%	NS. 1.40%	NS. 1.60%
Planteamiento de hipótesis	<p>H₀: [$\mu_x = \mu_y$] La adición del nanosílice no produce efectos en la resistencia a compresión axial del concreto $f'c=350$ kg/cm².</p> <p>H_a: [$\mu_x \neq \mu_y$] La adición del nanosílice produce efectos en la resistencia a compresión axial del concreto $f'c=350$ kg/cm².</p>			
Nivel de significancia	$\alpha = 2.5\% = 0.025$ (2 colas)			
"t" tabulado	2.2776			
Región crítica	$< -\infty; -2.776]$ y $[2.776; +\infty >$			
"t" calculado	41.01	27.40	37.77	50.59
Condición	Si $t_c \in R.C. \rightarrow$ Se rechaza la H_0			
Decisión	Como $t_c \in R.C. \rightarrow$ Se rechaza la H_0 y se acepta la H_a = La adición del nanosílice produce efectos significativos en la resistencia a compresión axial del concreto $f'c=350$ kg/cm ² .			

Fuente: Elaboración propia

d) Resistencia a la flexión del concreto $f'c= 350$ kg/cm²

Tabla 107

Cálculo de " t_c " para la resistencia a flexión del concreto – nanosílice 1.0%

Muestra	Adición de nanosílice (1.0%)					
	NS. 1.0% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	57.61	55.48	57	55	0.08	0.00
2	57.67	55.97	57	55	0.12	0.23
3	56.70	55.00	57	55	0.39	0.23
Σ					0.585	0.465
s^2	0.26					
t_c	4.41					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 108*Cálculo de "t_c" para la resistencia a flexión del concreto – nanosílice 1.2%*

Adición de nanosílice (1.2%)						
Muestra	NS. 1.2% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	60.87	55.48	60	55	0.18	0.00
2	59.92	55.97	60	55	0.28	0.23
3	60.54	55.00	60	55	0.01	0.23
Σ					0.472	0.465
s^2			0.23			
t_c			12.55			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 109*Cálculo de "t_c" para la resistencia a flexión del concreto – nanosílice 1.4%*

Adición de nanosílice (1.4%)						
Muestra	NS. 1.4% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	61.32	55.48	61	55	0.00	0.00
2	60.96	55.97	61	55	0.11	0.23
3	61.63	55.00	61	55	0.10	0.23
Σ					0.219	0.465
s^2			0.171			
t_c			17.23			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 110*Cálculo de "t_c" para la resistencia a flexión del concreto – nanosílice 1.6%*

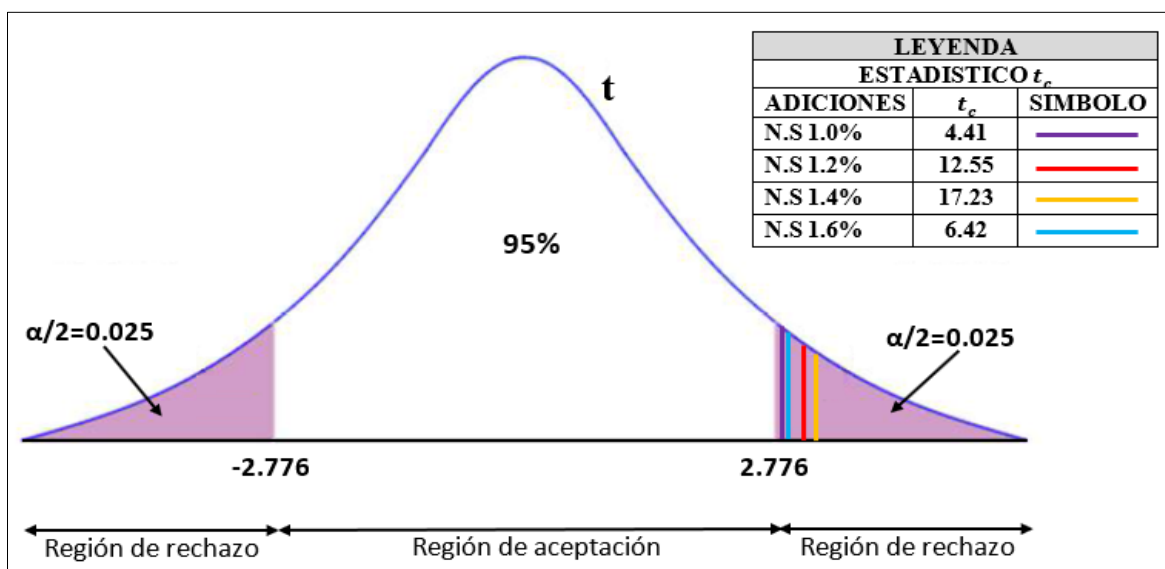
Adición de nanosílice (1.6%)						
Muestra	NS. 1.6% (X)	CPO (Y)	\bar{X}	\bar{Y}	$(Xi - \bar{X})^2$	$(Yi - \bar{Y})^2$
1	59.14	55.48	59	55	0.00	0.00
2	58.34	55.97	59	55	0.73	0.23
3	60.09	55.00	59	55	0.80	0.23
Σ					1.531	0.465
s^2			0.499			
t_c			6.42			

Fuente: Elaboración propia

En la figura 32 y en la tabla 111 se detalla la prueba de hipótesis correspondiente a la resistencia a flexión $f^c=350 \text{ kg/cm}^2$ del concreto para cada una de las adiciones de nanosílice.

Figura 32

Prueba de hipótesis específica 2 de la resistencia a flexión del concreto



Fuente: Elaboración propia

Tabla 111

Resultados del cálculo de “ t_c ” para la resistencia a flexión del concreto con adiciones de nanosílice en 1.0%, 1.2%, 1.4%, 1.6%

Descripción	Adiciones de nanosílice			
	NS. 1.00%	NS. 1.20%	NS. 1.40%	NS. 1.60%
Planteamiento de hipótesis	<p>H₀: $[\mu_x = \mu_y]$ La adición del nanosílice no produce efectos en la resistencia a flexión del concreto $f^c=350 \text{ kg/cm}^2$.</p> <p>H_a: $[\mu_x \neq \mu_y]$ La adición del nanosílice produce efectos en la resistencia a flexión del concreto $f^c=350 \text{ kg/cm}^2$.</p>			
Nivel de significancia	$\alpha = 2.5\% = 0.025$ (2 colas)			
“t” tabulado	2.2776			
Región crítica	$< -\infty; -2.776]$ y $[2.776; +\infty >$			

“t” calculado	4.41	12.55	17.23	6.42
Condición	Si $t_c \in R.C.$ → Se rechaza la H_0			
Decisión	Como $t_c \in R.C.$ → Se rechaza la H_0 y se acepta la H_a = La adición del nanosílice produce efectos significativos en la resistencia a flexión del concreto $f'c=350$ kg/cm ² .			

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, con respecto a la hipótesis específica 2, que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, cuyo planteamiento es el siguiente: La adición del nanosílice produce efectos significativos en las propiedades del concreto en estado endurecido (compresión y flexión); Por lo tanto, se tiene evidencia estadística para manifestar que los efectos la adición del nanosílice en las propiedades del concreto en estado endurecido es de manera positiva, ya que a mayor adición de nanosílice las propiedades del concreto endurecido se incrementa.

4.3. Discusión de resultados

Discusión 01.

Con respecto a la hipótesis específica 1 “La adición del nanosílice influye en las propiedades del concreto en estado fresco (asentamiento, extensibilidad, temperatura y peso unitario), empleando agregados de la ciudad de Abancay- Apurímac-2019”. Loayza (2018), en su tesis “Influencia del nanosílice en el concreto con agregado angular y agregado redondeado”, obtuvo como resultado que, con el incremento del porcentaje de nanosílice (0.5%, 1.0%, 1.2%) y con una relación agua/cemento de 0.40, se obtuvo asentamientos superiores a 11 pulgadas y extensibilidades superiores a 43 centímetros, revelando una consistencia fluida y buena trabajabilidad. En cuanto al peso unitario compactado del concreto fresco, las mezclas de concreto con adiciones de nanosílice poseen un peso unitario superior al concreto sin adición, debido a que en estos concretos hay menor cantidad de agua que se reemplaza por agregado para no cambiar el volumen inicial. En relación a la temperatura del concreto fresco Cabanillas (2020), en su tesis “Concreto de alta resistencia, utilizando nanosílice y superplastificante” obtuvo que con el incremento de nanosílice en porcentajes de 1.0% y 1.5% se incrementa la temperatura (25.45 °C y 25.20 °C.) con respecto al concreto sin adición (24.38 °C).

Los resultados del presente trabajo de investigación son similares a los antecedentes antes mencionados, los resultados muestran que la consistencia del concreto con adición del nanosílice mejora con respecto al concreto patrón en un 276% y la extensibilidad en un 348%, a manera que se incrementa el porcentaje del nanosílice se incrementa la consistencia, trabajabilidad y extensibilidad (ver tablas 42 y 43). Referente al peso unitario del concreto en estado fresco se observa que el peso unitario del concreto patrón es menor al concreto con adición de nanosílice teniendo una variación entre 2380-2481 kg/m³, clasificándose como concretos de peso normal (ver tablas 44 y 45). En cuanto a la temperatura del concreto

se ha observado que no existe mucha disparidad entre el concreto convencional y el concreto con adición de nanosílice en todos los porcentajes (ver tablas 46 y 47).

Discusión 02.

Con respecto a la hipótesis específica 2 “La adición del nanosílice influye en las propiedades del concreto en estado endurecido (resistencia a compresión y flexión), empleando agregados de la ciudad de Abancay- Apurímac-2019”. Arredondo (2019), en su tesis “Optimización del concreto mediante la adición de nanosílice, empleando agregados de la cantera de Añashuayco de Arequipa”, obtuvo como resultado que, para resistencias a la compresión de 210 kg/cm², la dosificación óptima de nanosílice es 1.0% con respecto al peso del cemento, obteniendo un incremento de 16.62% en resistencia a la compresión respecto al concreto patrón, equivalente a 422.45 kg/cm² a la edad de 28 días. Para resistencias a la compresión de 350 kg/cm² la dosificación óptima de nanosílice es 1.4% con respecto al peso del cemento, obteniendo un incremento de 29.15% en resistencia a la compresión con respecto al concreto patrón, equivalente a 528.10 kg/cm² a la edad de 28 días. En cuanto a la resistencia a flexión Valenzuela (2021), realizó una resistencia de diseño para 210 kg/cm², obteniendo mayores resistencias a flexión con dosis de 1.3% de nanosílice, el incremento influyó en 12.50% de módulo de rotura, pasando de 40 kg/cm² (7 días de edad) a 45 kg/cm² (28 días de edad).

Los resultados del presente trabajo de investigación difieren con el antecedente mencionado, según nuestros resultados para concretos con resistencias a la compresión de 210 kg/cm² se obtiene mejores resultados con dosificaciones de 1.4% respecto al peso del cemento, obteniendo resistencias de 491.09 kg/cm² a los 28 días y 497 kg/cm² a los 56 días (ver tabla 48). Para resistencias a la compresión de 350 kg/cm² se obtiene mejores resultados con dosificaciones de 1.6% respecto al peso del cemento, obteniendo resistencias de 629.23 kg/cm² a los 28 días y 702.21 kg/cm² a los 56 días (ver tabla 49). La diferencia se debe a

que el autor mantiene las cantidades de cemento, agua, agregado fino y grueso en el concreto patrón y en los diferentes diseños con adición de nanosílice.

Referente a la resistencia a flexión, nuestros resultados difieren con los resultados del autor antes mencionado, en nuestro caso, para concretos con resistencias de diseño (210 kg/cm^2), se obtiene mejores resultados con dosificaciones de 1.4% respecto al peso del cemento, obteniendo resistencias de 47.72 kg/cm^2 a los 28 días y 53.34 kg/cm^2 a los 56 días (ver tabla 50). Para resistencias de diseño (350 kg/cm^2), se obtiene mejores resultados con dosificaciones de 1.6% respecto al peso del cemento, obteniendo resistencias de 56.90 kg/cm^2 a los 28 días y 61.30 kg/cm^2 a los 56 días (ver tabla 51).

CONCLUSIONES

- 1) Referente al objetivo general **“Evaluar el efecto de la adición del nanosílice en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido empleando agregados de la ciudad de Abancay- Apurímac- 2019”**, se ha evaluado que la adición del nanosílice produce efectos significativos en las propiedades del concreto en estado fresco (Asentamiento, Extensibilidad, Peso Unitario, Temperatura) y en estado endurecido (resistencia a compresión y flexión) en comparación al concreto sin adición de nanosílice.
- 2) Referente al objetivo específico 1 **“Analizar el efecto de la adición del nanosílice en las propiedades del concreto en estado fresco (asentamiento, extensibilidad, temperatura y peso unitario), empleando agregados de la ciudad de Abancay- Apurímac- 2019”** se ha evidenciado:

Con respecto al asentamiento del concreto para diseños de mezclas $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$, se ha demostrado que a mayor adición de nanosílice (1.0%, 1.2%, 1.4% y 1.6%) el incremento del asentamiento, consistencia y extensibilidad es proporcional, logrando mezclas de consistencias fluidas y autocompactantes en todos los casos. Con la adición de 1.6% de nanosílice se obtuvo un asentamiento de $10 \frac{1}{2}$ " y extensibilidades de 69.22 centímetros con respecto al concreto patrón que obtuvo asentamiento de 4" y extensibilidad de 20.22 centímetros (ver tablas 42 y 43).

Con respecto al peso unitario del concreto se ha demostrado que los concretos con adición de nanosílice son mayores a los concretos patrones, los valores de peso unitario del concreto en estado fresco variaron de 2380 a 2481 kg/m^3 en todos los casos, clasificándose como concretos de peso normal (1700 – 2500 kg/m^3) (ver tabla 44 y 45).

Con respecto a la temperatura del concreto se ha demostrado que para diseños de mezclas $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ los valores de temperatura reflejan un ligero incremento que varía entre 19.90°C a 25.03°C en comparación al concreto patrón (ver tablas 46 y 47).

- 3) Referente al objetivo específico 2 **“Determinar el efecto de la adición del nanosílice en las propiedades del concreto en estado endurecido (resistencia a compresión y flexión), empleando agregados de la ciudad de Abancay- Apurímac- 2019”** se ha evidenciado:

Para un diseño de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ se obtuvo mayor resistencia a compresión con 1.4% de adición de nanosílice, logrando obtener resistencias a compresión de $f'c = 212.32 \text{ kg/cm}^2$ a la edad de 01 día, $f'c = 474.80 \text{ kg/cm}^2$ a la edad de 28 días y $f'c = 478.88 \text{ kg/cm}^2$ a la edad de 56 días con respecto al concreto patrón donde se obtuvo $f'c = 78.10 \text{ kg/cm}^2$ a los 01 días, $f'c = 287.53 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días y $f'c = 319.96 \text{ kg/cm}^2$ a los 56 días (ver tabla 48).

Para un diseño de $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ se obtuvo mayor resistencia a compresión con 1.6% de adición de nanosílice, logrando obtener resistencias de $f'c = 408.23 \text{ kg/cm}^2$ a la edad de 01 día, $f'c = 643.93 \text{ kg/cm}^2$ a la edad de 28 días y $f'c = 677.98 \text{ kg/cm}^2$ a la edad de 56 días con respecto al concreto patrón donde se obtuvo $f'c = 156.38 \text{ kg/cm}^2$ a los 01 días, $f'c = 383.77 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días y $f'c = 419.60 \text{ kg/cm}^2$ a los 56 días (ver tabla 49).

Con respecto a la resistencia a flexión $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ se obtuvo mayor resistencia con 1.4% de adición de nanosílice, logrando obtener valores de resistencia a flexión de $f'c = 42.77 \text{ kg/cm}^2$ a la edad de 7 días, $f'c = 47.72 \text{ kg/cm}^2$ a la edad de 28 días y $f'c = 53.34 \text{ kg/cm}^2$ a la edad de 56 días con respecto al concreto patrón donde se obtuvo $f'c = 38.43$

kg/cm² a los 7 días, $f'c=45.15$ kg/cm² a los 28 días y $f'c=48.27$ kg/cm² a los 56 días (ver tabla 50).

Con respecto a la resistencia a flexión $f'c= 350$ kg/cm² se obtuvo mayores resistencias con 1.4% de adición de nanosílice, logrando obtener resistencias de $f'c= 52.36$ kg/cm² a la edad de 7 días, $f'c= 56.90$ kg/cm² a la edad de 28 días y $f'c= 61.30$ kg/cm² a la edad de 56 días con respecto al concreto patrón donde se obtuvo $f'c=46.09$ kg/cm² a los 7 días, $f'c=48.83$ kg/cm² a los 28 días y $f'c=55.49$ kg/cm² a los 56 días (ver tabla 51).

RECOMENDACIONES

- 1) Con respecto al objetivo general, se recomienda que, durante la elaboración de la mezcla, la colocación del nanosílice se realice de manera progresiva con la finalidad de facilitar una mejor distribución del aditivo. Además, se recomienda mezclar el aditivo con un pequeño porcentaje de agua durante su uso. Se debe tener un estricto control en la cantidad de nanosílice ya que su inexactitud podría alterar los resultados estimados según los diseños de mezclas.
- 2) Con respecto al objetivo específico 1, se recomienda la reducir el porcentaje de agua, cada vez que se incrementa el porcentaje de adición del nanosílice para evitar segregación en la mezcla, el porcentaje recomendable de reducción de agua para amasado varía entre 5% a 10% dependiendo de las características físicas y mecánicas de los agregados. Se recomienda realizar diseños de mezclas patrones con consistencias secas, porque diseños con consistencias fluidas ocasionarían segregación en la mezcla debido a que la nanosílice tiene propiedades superplastificantes lo que hace innecesario el uso de aditivos plastificantes.

Con respecto a la temperatura de las mezclas de concreto, estas deben mantenerse en un rango de 5°C a 35°C según lo especificado en el Instituto Americano del Concreto (ACI), ya que al tener mayores temperaturas tendremos un fraguado acelerado, mayor requerimiento de agua en la mezcla, pérdida en la consistencia de la mezcla, necesidad de curado temprano y fisuras por contracción plástica.

Con respecto al peso unitario de la mezcla se recomienda utilizar dosificaciones mayores al 1.2% de nanosílice debido a que este tipo de mezclas poseen consistencias fluidas y mayor compacidad, lo que permite disminuir el índice de vacíos del concreto.

- 3) Con respecto al objetivo específico 2, se recomienda el uso de concretos elaborados con adiciones de nanosílice entre 1.4% y 1.6%, debido a que estos concretos poseen altas resistencias iniciales y finales a fuerzas de compresión y flexión. Se recomienda realizar roturas a compresión y flexión a edades mayores a los 60 días para ver si esta incrementa o decrece en el transcurso de tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

- Abanto Castillo, F. (2009). *Tecnología del concreto*. Lima: San Marcos.
- 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*. Universidad Austral de Chile, Valdivia.
- Al Luhybi, A. S., & Diyar Altalabani. (2019). *La influencia de la nanosílice en las propiedades y microestructura de hormigón ligero*. Universidad de Mosul, Mosul.
- Benavides CH., R. J. (s.f.). *Concreto de alto desempeño*. Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia.
- Bhuvaneshwari, B., Saptarshi, S., & Iyer, N. (s.f.). Nanoscience to Nanotechnology for Civil Engineering. *Structural Engineering Research Centre*, 6.
- Caballero Arredondo, P. W. (2019). *Optimización del concreto mediante la adición de nanosílice empleando agregados de la cantera de Añashuayco de Arequipa*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa.
- Cabanillas Guillén, H. H. (2020). *Concreto de alta resistencia, utilizando nanosílice y superplastificante*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.
- Carrasco Díaz, S. (2005). *Metodología de la investigación científica*. Lima: San Marcos.
- Castillo Linton, C. E. (2015). *Modificación de las propiedades de matrices cementantes mediante la adición de nanopartículas de sílice*. Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León.
- Chaudhery Mustansa, H. (2020). *Handbook of nanomaterials for manufacturing applications*. Amsterdam: Elsevier.
- Chileno Yachi, M. A. (2017). *Relación del aditivo nanosilice en la resistencia del concreto en la urbanización Chorrillos- ciudad de Huancayo, 2016*. Universidad Peruana los Andes, Huancayo.

- Dávila , M., Da Costa, D., & Duarte, D. (2014). Efecto de la adición de nanosílice en cementos y concretos. *Universidad Simón Bolívar* , 16.
- Dirven , B. B., Pérez, R., Cáceres, R. J., Tito, A. T., Gómez , R. K., & Ticona, A. (2018). *El desarrollo rural establecido en las áreas Vulnerables*. Lima: Colección Racso.
- Escobedo Portal, G. (2014). *Incidencia de la nanosílice en la resistencia mecánica de un concreto de alta resistencia con cemento portland tipo I*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.
- Fundación española para la ciencia y la tecnología. (2009). *Nanociencia y nanotecnología*. España: FECYT.
- G.Arias, F. (2006). *El proyecto de investigación introducción a la metodología científica*. Venezuela: Episteme.
- Gutiérrez de López, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Jerez Sanchez, J. A., & Rivas Cisterna, F. A. (2013). *Determinación de la influencia microsílice y nanosílice en el hormigón sometido a esfuerzo de compresión*. Universidad Tecnológica de Chile, Talcahuano.
- Kartik Ganesh, V. (s.f.). *Nanotechnology in civil engineering*. SRM University. India: SRM University.
- Larico Mamani, I. Y. (2018). Influencia del uso del nanosílice en la resistencia a la compresión del concreto simulando condiciones de curado en obra, en la ciudad de Juliaca – 2018. *Influencia del uso del nanosílice en la resistencia a la compresión del concreto simulando condiciones de curado en obra, en la ciudad de Juliaca – 2018*. Universidad Peruana Unión, Juliaca.

- Leon 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*. Universidad Continental, Huancayo.
- León Brito, N. E. (2012). *Influencia de la adición de nano sílice en el hormigón autocompactante*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Loaiza Osorio , L. I., & Diaz Gonzáles, E. T. (2019). *Nanosilice como aditivo para el concreto*. Pontificia Universidad Javeriana Cali, Cali.
- Loayza Puma, K. A. (2018). *Influencia del nanosilice en el concreto con agregado angular y agregado redondeado*. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.
- Lochana Poudyal, B. (2018). *Use of Nanotechnology in Concrete*. Universidad Tecnológica de Texas, Texas.
- Meghe College, R. (2014). Application of Nanotechnology in Civil Infrastructure. *Journal of Engineering Research and Applications*, 4.
- Molina Villar, F. R., & Chara Surco, H. (2017). *Influencia de la adición de nanosílice en la propiedades de un concreto de alta resistencia para la ciudad de Arequipa*. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.
- Moreno Bazán, Á. (2018). *Optimización en la incorporación de nanoadiciones al cemento para la mejora de sus prestaciones y durabilidad*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Niño Sandoval, W. A. (2013). *Caracterización mecánica y de durabilidad de concretos de alto desempeño*. Pontificia Universidad Javeriana, Colombia.
- Norma Técnica Peruana. (30 de 12 de 2014). *Especificaciones normalizadas para agregados en concreto*. Obtenido de Slideshare:
<https://es.slideshare.net/hersacs/ntp-400-037-2014especificacionesagregados>

- Pasquel Carbajal, E. (1998). *Tópicos de tecnología del concreto*. Lima: Colegio de ingenieros del Perú Consejo Nacional.
- Pérez Bahamonde, M. H. (2008). *Caracterización de morteros con adición de combinaciones de microsilice y nanosilice*. Universidad Austral de Chile, Valdivia.
- Portugal Barriga, P. (s.f.). *Tecnología del concreto de alto desempeño*. Arequipa.
- 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*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Ramirez Morales, J. J. (2018). *Concreto liviano de alta resistencia empleando nanosílice y puzolana natural en el Perú*. Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima.
- Rivva López, E. (2000). *Naturaleza y materiales del concreto*. Lima: ACI.
- Rivva López, E. (2002). *Concretos de alta resistencia*. Lima: ICG.
- Rivva López, E. (2004). *Control de concreto en obra*. Lima: ICG.
- Rocha Chiu, L. (2009). Concretos especiales en la construcción. *Red Académica Internacional UADY, UAM, WPI*, 33.
- Saavedra Pérez, O. J. (2019). *Análisis de la influencia de la nanosílice en la resistencia y costo de producción de concretos convencionales elaborados con cementos yura tipo I y IP en la ciudad de Arequipa - 2019*. Universidad Católica de Santa María, Arequipa.
- Saleh Alshammari, D. (2018). *The effect of nanosilica on porosity and strength*. Universidad de Dayton, Estados Unidos.
- Sobolev, K., Flores, I., Roman, H., & Torres Martínez, L. (s.f.). *Nanomaterials and nanotechnology for high-performance cement composites*. University of Wisconsin-Milwaukee, USA.

Tovar, G. L. (1986). *El asentamiento y la segregación de los Blancos y Mestizos*. Bogotá: Cengage.

Velasquez Pizango, K. Y. (2019). Propiedades físicas y mecánicas del concreto pesado con nanosilice para los hospitales de Lima Metropolitana - 2019. *Propiedades físicas y mecánicas del concreto pesado con nanosilice para los hospitales de Lima Metropolitana - 2019*. Universidad Cesar Vallejo, Lima.

Zanon, T., Schmalz, R., & Fernanda Giannotti, D. F. (2018). Evaluación de los efectos del nanosilice en hormigones sometidos a la acción de iones cloruros. *ALCONPAT*, 12.

ANEXOS

Índice de anexos

Anexo 1. Matriz de consistencia	131
Anexo 2. Instrumento de recolección de información	132
Anexo 3. Base de datos, resultados de laboratorio	139
Anexo 4. Juicio de expertos	210
Anexo 5. Evidencias con fotos del avance de la investigación	215
Anexo 6. Certificados de calibración	243
Anexo 7. Certificados de calidad	265
Anexo 8. Declaración de autenticidad del proyecto de tesis	267

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de Repositorio Digital Institucional de la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes