

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL –
SEDE JAÉN



**“COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE CON
INCORPORACIÓN DE DIFERENTES PORCENTAJES DE
AGREGADO FINO Y ADICIÓN DE NANOSÍLICE EN LA
CIUDAD JAÉN- CAJAMARCA”.**

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

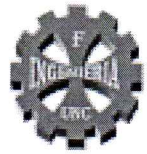
PRESENTADO POR LA BACHILLER.
MAYTI ABIGAIL SÁNCHEZ BERRIOS

ASESOR:

DR. ING. HERMES ROBERTO MOSQUEIRA RAMIREZ

JAÉN-PERÚ

2023



CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

La que suscribe, Directora de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca certifica:

La originalidad de la tesis denominada **COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE CON INCORPORACIÓN DE DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADICIÓN DE NANOSÍLICE EN LA CIUDAD DE JAÉN - CAJAMARCA**, realizada por el Bachiller en Ingeniería Civil **Mayti Abigail Sánchez Berrios**, de acuerdo al resultado del análisis reportado por su asesor **Dr. Hermes Roberto Mosqueira Ramírez** con el software antiplagio Turnitin que identifica **20% (veinte por ciento)** de similitud, asignándole el código **oid:3117:291079736**.

Se expide el presente certificado para los fines pertinentes.

Cajamarca, 04 de diciembre del 2023

Documento firmado digitalmente

Dra. Yvonne Katherine Fernández León
Directora Unidad de Investigación Facultad de Ingeniería



Firmado digitalmente por:
FERNANDEZ LEON Yvonne
Katherine FAU 20148258601 soft
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 04/12/2023 19:37:24-0500

Cc.
Archivo
c15123ms.

DEDICATORIA:

Dedico esta investigación a Dios, por darme entendimiento y fortaleza durante toda esta etapa de formación profesional.

Esta investigación se la dedico a mis padres y hermano por brindarme su apoyo incondicional, y en especial a mi madre por ser mi cómplice en cada una de mis decisiones, en busca de mi crecimiento profesional y personal.

AGRADECIMIENTO.

Agradezco a Dios por sus bendiciones a lo largo de mi vida y guiarme durante mi desarrollo profesional, permitiéndome lograr la culminación de esta investigación.

A mis padres, hermano y demás familiares, por brindarme su confianza y apoyarme en cumplir cada uno de mis objetivos; de manera especial agradezco a mi madre por sus cuidados y esfuerzo, para poder culminar mi carrera profesional.

Mi más sincero agradecimiento a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la universidad donde me formé, por sus enseñanzas y consejos para desarrollarme como profesional con principios y valores. De forma especial agradezco a mi asesor, por compartir sus conocimientos y su tiempo para lograr la elaboración de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.

DEDICATORIA:	i
AGRADECIMIENTO.	ii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.	ix
ABSTRACT.....	x
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	1
1.1.1 SELECCIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.1.4 ALCANCES O DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.	3
1.1.5 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.	5
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	5
2.1.1. INTERNACIONALES.	5
2.1.2. NACIONALES.....	6
2.1.3. LOCALES.....	7
2.2. BASES TEÓRICAS.....	9
2.2.1. CONCRETO PERMEABLE:	9
2.2.1.1 DEFINICIÓN.....	9
2.2.1.2 COMPONENTES DEL CONCRETO PERMEABLE.	9
2.2.1.2.1. CEMENTO PORTLAND.	9
2.2.1.2.2. AGREGADOS.....	10
2.2.1.2.3. AGUA.....	20
2.2.1.2.4. ADITIVOS.....	20
2.2.1.3 PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE.....	21
2.2.1.3.1. PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO.	21
2.2.1.3.2. PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO.....	22
2.2.2. ENSAYOS DE LABORATORIO.	26

2.3.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	27
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS		28
3.1.	HIPÓTESIS.....	28
3.1.1.	HIPÓTESIS GENERAL.....	28
3.2.	VARIABLES.....	28
3.2.1.	VARIABLE INDEPENDIENTE.....	28
3.2.2.	VARIABLE DEPENDIENTE.....	28
3.3.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	28
3.4.	METODOLOGÍA.....	30
3.4.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	30
3.4.2.	NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	30
3.4.3.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	30
3.4.4.	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	31
3.5.	POBLACIÓN, MUESTRA Y UNIDAD DE ANÁLISIS.....	31
3.5.1.	POBLACIÓN DE ESTUDIO.....	31
3.5.2.	MUESTRA.....	31
3.5.3.	UNIDAD DE ANÁLISIS.....	33
3.6.	TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	33
3.7.	TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	33
3.8.	PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....	34
3.8.1.	MATERIALES.....	35
3.8.1.1.	AGREGADOS.....	35
3.8.1.2.	AGREGADO GRUESO UTILIZADO.....	37
3.8.1.3.	AGREGADO FINO UTILIZADO.....	38
3.8.1.4.	CEMENTO.....	38
3.8.1.5.	ADITIVO NANOSÍLICE.....	39
3.8.1.6.	AGUA PARA MEZCLA.....	39
3.8.2.	DISEÑO DEL CONCRETO PERMEABLE.....	40
3.8.2.1.	CONSIDERACIONES INICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE.....	41
3.8.2.2.	PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO.....	44
3.8.3.	ENSAYOS DEL CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO.....	50
3.8.3.1.	ENSAYOS DEL CONCRETO FRESCO.....	51
3.8.3.2.	ENSAYOS DEL CONCRETO ENDURECIDO.....	56
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		61

4.1.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.	61
4.1.1.	PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS DE LA CANTERA OLANO.	61
4.1.1.1.	PROPIEDADES DE AGREGADO FINO.	61
4.1.1.2.	PROPIEDADES DEL AGREGADO GRUESO.	61
4.1.2.	DISEÑO DE MEZCLAS.	62
4.1.3.	PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO FRESCO.	63
4.1.4.	PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO ENDURECIDO DE LAS MEZCLAS.	65
4.2.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	70
4.3.	CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.	74
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.		76
5.1.	CONCLUSIONES.	76
5.2.	RECOMENDACIONES.	77
CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.		79
6.1.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	79
ANEXOS		84
ANEXO 01. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LOS AGREGADOS DE LA CANTERA OLANO.		84
ANEXO 02. FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO PÓRTLAND TIPO I – PACASMAYO.		96
ANEXO 03. FICHA TÉCNICA Y CERTIFICADO DE CALIDAD DEL ADITIVO.		97
ANEXO 04. DISEÑO DE MEZCLAS.		99
ANEXO 05. DENSIDAD DEL CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO FRESCO.		140
ANEXO 06. CONTENIDO DE VACÍOS DEL CONCRETO PERMEABLE.		143
ANEXO 07. RESULTADO DE ENSAYOS MECÁNICOS.		146
ANEXO 08. PERMEABILIDAD DE PROBETAS DEL CONCRETO PERMEABLE.		151
ANEXO 09. CERTIFICADO DE CONFORMIDAD DEL LABORATORIO DONDE SE REALIZARON LOS ENSAYOS.		152
ANEXO 10. PANEL FOTOGRÁFICO.		153

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1	Requerimiento de granulometría de los agregados gruesos.....	12
Tabla 2	Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso o global.....	13
Tabla 3	Límite granulométrico del agregado fino.....	13
Tabla 4	Carga abrasiva.....	18
Tabla 5	Gradación de muestras de ensayo.....	19
Tabla 6	Límites permisibles para el agua de mezcla y curado.....	20
Tabla 7	Efectos principales del aditivo súper plastificante en las propiedades del hormigón.....	21
Tabla 8	Propiedades típicas del concreto permeable.....	25
Tabla 9	Normas Técnicas para ensayos de laboratorio para agregados.....	26
Tabla 10	Normas Técnicas para ensayos de laboratorio para el concreto.....	26
Tabla 11	Normas Técnicas para ensayos de laboratorio para el cemento.....	27
Tabla 12	Identificación de mezclas de estudio.....	31
Tabla 13	Resumen de probetas por ensayo.....	33
Tabla 14	Requisitos para pavimentos especiales.....	43
Tabla 15	Requisitos mínimos según tipo de pavimentos.....	43
Tabla 16	Numero de capas y golpes.....	55
Tabla 17	Tiempo de prueba de los especímenes y tolerancia.....	56
Tabla 18	Propiedades del agregado fino de la cantera Olano.....	61
Tabla 19	Propiedades del agregado grueso.....	62
Tabla 20	Proporcionamiento de diseños de mezcla de concreto permeable.....	62
Tabla 21	Asentamiento del concreto permeable, según tipo de mezcla.....	63
Tabla 22	Densidad del concreto permeable en estado fresco, según tipo de mezcla.....	63
Tabla 23	Contenido de vacíos del concreto permeable en estado fresco, según tipo de mezcla.....	64
Tabla 24	Promedio de resistencia a la compresión del concreto permeable, según tipo de mezcla.....	65
Tabla 25	Promedio de resistencia a flexión del concreto permeable, según tipo de mezcla.....	67
Tabla 26	Permeabilidad del concreto ecológico, según tipo de mezcla.....	69
Tabla 27	Material fino que pasa el tamiz N° 200.....	84
Tabla 28	Análisis granulométrico del agregado fino de la cantera Olano, ensayo N°01.....	84
Tabla 29	Análisis granulométrico del agregado fino de la cantera Olano, ensayo N°02.....	85
Tabla 30	Análisis granulométrico del agregado fino de la cantera Olano, ensayo N°03.....	86
Tabla 31	Módulo de finura promedio.....	87
Tabla 32	Contenido de humedad en % del agregado fino, de la cantera Olano.....	87
Tabla 33	Valores obtenidos del ensayo, para los cálculos del peso específico y Absorción del agregado fino.....	88
Tabla 34	Peso específico y absorción del agregado fino, de la cantera Olano.....	88
Tabla 35	Peso unitario suelto del agregado fino, de la cantera Olano.....	88
Tabla 36	Peso unitario Compactado del agregado fino, de la cantera Olano.....	89
Tabla 37	Material fino que pasa el tamiz N° 200.....	89
Tabla 38	Análisis granulométrico del agregado grueso, de la cantera Olano, ensayo N° 01.....	90
Tabla 39	Análisis granulométrico del agregado grueso, de la cantera Olano, ensayo N° 02.....	91
Tabla 40	Análisis granulométrico del agregado grueso, de la cantera Olano, ensayo N° 03.....	92
Tabla 41	Promedio del módulo Granulométrico.....	93
Tabla 42	Contenido de humedad en % del agregado grueso, de la cantera Olano.....	93

Tabla 43 Valores obtenidos del ensayo, para los cálculos del peso específico y Absorción del agregado grueso.....	93
Tabla 44 Peso específico y absorción del agregado grueso, de la cantera Olano.	93
Tabla 45 Peso unitario suelto del agregado grueso, de la cantera Olano.	94
Tabla 46 Peso unitario compactado del agregado grueso, de la cantera Olano.	94
Tabla 47 Peso unitario compactado del agregado grueso, de la cantera Olano.	95
Tabla 48 Ensayo de densidad de la mezcla CP-AF0-N0 (concreto permeable con 0.0% de agregado fino y 0.0% de aditivo Nanosílice).....	140
Tabla 49 Ensayo de densidad de la mezcla CP-AF5-N0 (concreto permeable con 5.0% de agregado fino y 0.0% de aditivo Nanosílice).....	140
Tabla 50 Ensayo de densidad de la mezcla CP-AF10-N0 (concreto permeable con 10.0% de agregado fino y 0.0% de aditivo Nanosílice).....	140
Tabla 51 Ensayo de densidad de la mezcla CP-AF0-N0.5 (concreto permeable con 0.0% de agregado fino y 0.5% de aditivo Nanosílice).....	141
Tabla 52 Ensayo de densidad de la mezcla CP-AF5-N0.5 (concreto permeable con 5.0% de agregado fino y 0.5% de aditivo Nanosílice).....	141
Tabla 53 Ensayo de densidad de la mezcla CP-AF10-N0.5 (concreto permeable con 10.0% de agregado fino y 0.5% de aditivo Nanosílice).....	141
Tabla 54 Ensayo de densidad de la mezcla CP-AF0-N1 (concreto permeable con 0.0% de agregado fino y 1.0% de aditivo Nanosílice).....	142
Tabla 55 Ensayo de densidad de la mezcla CP-AF5-N1 (concreto permeable con 5.0% de agregado fino y 1.0% de aditivo Nanosílice).....	142
Tabla 56 Ensayo de densidad de la mezcla CP-AF10-N1 (concreto permeable con 10.0% de agregado fino y 1.0% de aditivo Nanosílice).....	142
Tabla 57 Contenido de vacío de la mezcla CP-AF0-N0 (concreto permeable con 0.0% de agregado fino y 0.0% de aditivo Nanosílice).....	143
Tabla 58 Contenido de vacío de la mezcla CP-AF5-N0 (concreto permeable con 5.0% de agregado fino y 0.0% de aditivo Nanosílice).....	143
Tabla 59 Contenido de vacío de la mezcla CP-AF10-N0 (concreto permeable con 10.0% de agregado fino y 0.0% de aditivo Nanosílice).....	143
Tabla 60 Contenido de vacío de la mezcla CP-AF0-N0.5 (concreto permeable con 0.0% de agregado fino y 0.5% de aditivo Nanosílice).....	144
Tabla 61 Contenido de vacío de la mezcla CP-AF5-N0.5 (concreto permeable con 5.0% de agregado fino y 0.5% de aditivo Nanosílice).....	144
Tabla 62 Contenido de vacío de la mezcla CP-AF10-N0.5 (concreto permeable con 10.0% de agregado fino y 0.5% de aditivo Nanosílice).....	144
Tabla 63 Contenido de vacío de la mezcla CP-AF0-N1 (concreto permeable con 0.0% de agregado fino y 1.0% de aditivo Nanosílice).....	145
Tabla 64 Contenido de vacío de la mezcla CP-AF5-N1 (concreto permeable con 5.0% de agregado fino y 1.0% de aditivo Nanosílice).....	145
Tabla 65 Contenido de vacío de la mezcla CP-AF10-N1 (concreto permeable con 10.0% de agregado fino y 1.0% de aditivo Nanosílice).....	145
Tabla 66 Ensayo de resistencia a compresión. Edad 7 días.	146
Tabla 67 Ensayo de resistencia a compresión. Edad 14 días.	147
Tabla 68 Ensayo de resistencia a compresión. Edad 28 días.	148
Tabla 69 Ensayo de Resistencia a flexión. Edad 14 días.	149
Tabla 70 Ensayo de Resistencia a flexión. Edad 28 días.	150
Tabla 71 Resultados de ensayo de permeabilidad.....	151

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1: Resistencia a la compresión vs contenido de aire en cilindros de concreto permeable.	22
Figura 2: Resistencia a la flexión en vigas versus contenido de vacíos.....	23
Figura 3: Equipo de ensayo de permeabilidad recomendado por el ACI 522R.....	25
Figura 4: Plano de ubicación del laboratorio “GEOCON VIAL”.....	29
Figura 5: Imagen satelital del laboratorio Geocon Vial.....	30
Figura 6: Esquema de secuencia de actividades.....	34
Figura 7: Plano de ubicación de la cantera Olano.....	36
Figura 8: Imagen satelital de la cantera Olano.....	37
Figura 9: Agregado grueso.....	38
Figura 10: Agregado fino.....	38
Figura 11: Cemento Portland Tipo I.....	39
Figura 12: Aditivo GAIA - Nanosílice.....	39
Figura 13: Efecto de la inclusión de pasta de cemento en el árido con alto contenido inicial de vacíos.	40
Figura 14: Relación entre contenido de aire y capacidad de filtración.....	45
Figura 15: Ensayo de Asentamiento (slump).....	51
Figura 16: Medición y pesado de molde más muestra.....	53
Figura 17: Elaboración de probetas y vigas.....	55
Figura 18: Esquema de los patrones de tipos de fracturas.....	57
Figura 19: Ensayo de resistencia a la compresión.....	57
Figura 20: Ensayo de Resistencia a la flexión.....	59
Figura 21: Elaboración del permeámetro para el ensayo.....	60
Figura 22: Asentamiento vs tipo de mezclas en estudio.....	63
Figura 23: Densidad del concreto vs tipo de mezclas en estudio.....	64
Figura 24: Contenido de vacíos del concreto vs tipo de mezclas en estudio.....	64
Figura 25: Promedio de resistencia a la compresión de diferentes tipos de mezcla, a los 7 días de edad	65
Figura 26: Promedio de resistencia a la compresión de diferentes tipos de mezcla, a los 14 días de edad.	66
Figura 27: Promedio de resistencia a la compresión de diferentes tipos de mezcla, a los 28 días de edad.	66
Figura 28: Promedio de resistencia a compresión de diferentes tipos de mezcla y diferentes edades.....	67
Figura 29: Promedio de resistencia a flexión de diferentes tipos de mezcla, a los 14 días de edad. ...	68
Figura 30: Promedio de resistencia a flexión de diferentes tipos de mezcla, a los 28 días de edad. ...	68
Figura 31: Promedio de resistencia a flexión de diferentes tipos de mezcla y diferentes edades.....	69
Figura 32: Permeabilidad vs tipo de mezcla de diseño.....	70
Figura 33: Curva granulométrica del agregado fino (ensayo N°01).....	85
Figura 34: Curva granulométrica del agregado fino (ensayo N°02).....	86
Figura 35: Curva granulométrica del agregado fino (ensayo N°03).....	87
Figura 36: Curva granulométrica del agregado grueso (ensayo N°01).....	90
Figura 37: Curva granulométrica del agregado grueso (ensayo N°02).....	91
Figura 38: Curva granulométrica del agregado grueso (ensayo N°03).....	92

RESUMEN.

En esta investigación, se determinó el comportamiento del concreto permeable al adicionarse diferentes porcentajes de agregado fino y aditivo Nanosílice, evaluando su resistencia a compresión, flexión y permeabilidad. Se elaboró un total de 9 mezclas con 0%; 5% y 10% de agregado fino y 0.5%, 1% de aditivo, empleando agregados de la cantera Olano, cemento Portland Tipo I Pacasmayo y aditivo Nanosílice de la empresa Ulmen. Para ensayos de resistencia a compresión se elaboró 81 especímenes, 54 especímenes prismáticos para el ensayo a flexión y 18 probetas de 4"x8" para pruebas de permeabilidad. Se verificó, que con una adición del 0.5% de aditivo Nanosílice, se generó mejores efectos en resistencias a compresión y flexión que con el 1%; por otro lado, la adición de 5% y 10% de agregado fino incrementan las resistencias compresión y flexión, comparadas con las mezclas con el 0% de arena, alcanzando mejores resistencias cuando no contienen aditivo, pero a la vez tiende a disminuir el porcentaje de vacíos y la permeabilidad del concreto; los resultados mejoran cuando se combina las mismas cantidades de agregado fino con el 0.5% de aditivo Nanosílice; la mezcla con el 10% de agregado fino y un 0.5% de aditivo Nanosílice, tiene un incremento de 65.28% de resistencia a compresión y 48.31% de resistencia a flexión, con respecto a la mezcla sin adiciones a la edad de 28 días, un coeficiente de permeabilidad de 0.39 cm/s y 14.68 % de contenido de vacíos.

Palabras claves: Concreto permeable, permeabilidad, porosidad, resistencias, agregado fino, aditivo Nanosílice.

ABSTRACT.

In this research, the behavior of permeable concrete was determined when different percentages of fine aggregate and Nanosilica additive were added, evaluating its resistance to compression, bending and permeability. A total of 9 mixtures were prepared with 0%; 5% and 10% fine aggregate and 0.5%, 1% additive, using aggregates from the Olano quarry, Pacasmayo Type I Portland cement and Nanosilica additive from the Ulmen company. For compression resistance tests, 81 specimens were made, 54 prismatic specimens for the flexural test and 18 4"x8" specimens for permeability tests. It was verified that with an addition of 0.5% of Nanosilica additive, better effects were generated in compression and flexural strength than with 1%; On the other hand, the addition of 5% and 10% of fine aggregate increases the compression and flexural resistance, compared to mixtures with 0% sand, achieving better resistance when they do not contain additive, but at the same time it tends to decrease the percentage of voids and the permeability of concrete; The results improve when the same amounts of fine aggregate are combined with 0.5% Nanosilica additive; The mixture with 10% fine aggregate and 0.5% Nanosilica additive has an increase of 65.28% in compressive strength and 48.31% in flexural strength, with respect to the mixture without additions at the age of 28 days, a coefficient permeability of 0.39 cm/s and 14.68% void content

Key words: Permeable concrete, permeability, porosity, resistance, fine aggregate, Nanosilica additive.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1.1 SELECCIÓN DEL PROBLEMA

En ciudades, donde el crecimiento urbano se desarrolla con rapidez sin una correcta supervisión y planificación, trae como consecuencia que no se tome en cuenta obras de infraestructura urbana para la satisfacción de la comunidad, entre ellas el drenaje urbano, convirtiéndose a lo largo del tiempo en un gran problema al producirse inundaciones de calles, viviendas e instituciones públicas; por otro lado, la pavimentación de calles con material impermeable origina el aumento de la escorrentía superficial, aumentando la probabilidad de sufrir inundaciones e incluso el colapso del sistema de alcantarillado; paradójicamente, la escasez de agua a nivel mundial se acrecienta cada día, siendo una de las causas la construcción de pavimentos con concreto hidráulico convencional, sumando grandes áreas de terreno impermeabilizadas, alterando el ciclo natural del agua y provocando la escasez de este recurso natural vital.

En países como Estados Unidos, en la época de los 70, se dieron los primeros estudios sobre concreto permeable, como una alternativa para mitigar el impacto ambiental y la contaminación del sistema sanitario por las aguas de lluvias; de igual manera, los países del continente europeo, también han mostrado interés en estudiar la manera de reducir la escorrentía superficial (Fernández y Navas, 2011).

En Perú, en los últimos años, se han ejecutado proyectos que contemplan la pavimentación de calles con concreto hidráulico convencional, tomando como ejemplo la ciudad de Jaén, que tiene sus calles impermeabilizadas con concreto hidráulico, alterando así el ciclo natural del agua e incremento del flujo superficial, y al no contar con un drenaje urbano, se producen fuertes inundaciones de calles, viviendas, mercados e instituciones públicas, siendo este un problema que aqueja a la ciudad durante décadas. El concreto permeable aplicado en pavimentos, es una opción tecnológica y sostenible para mitigar estos impactos negativos, por tal motivo, se desarrolló la presente investigación donde se estudió el comportamiento que presenta el concreto permeable, al adicionarse agregado fino y aditivo Nanosílice en diferentes porcentajes, evaluando su comportamiento mecánico e hidráulicos, y se verificó si estas propiedades cumplen con lo establecido por la Norma ACI 522R-10, y si

logran alcanzar lo especificado en la normativa CE-010, para ser empleado en pavimentos urbanos; asimismo, se considere este estudio como un aporte para la realización de otras investigaciones, que tengan como finalidad la aplicación del concreto permeable, como una alternativa innovadora en futuras pavimentaciones de estacionamientos, ciclovías, parques, estacionamientos y calles de bajo tránsito en la ciudad de Jaén.

Finalmente, es importante indicar que hemos tenido en cuenta la influencia de problemas climáticos, siendo los más importantes los Fenómenos del Niño: 62 y 63, 97 y 98, considerados por su alto impacto en los daños de infraestructura, como Meganiños, los mismos que por las altas intensidades en las lluvias han incrementado los caudales, inestabilizando el suelo y creando grandes caudales de escorrentía que han dañado y colapsado: centros educativos, carreteras, puentes, inestabilidad de taludes y deslizamientos, daños importantes en la agricultura, ganadería, obras hidráulicas, centrales hidroeléctricas, con pérdidas humanas y daños materiales en la propiedad del estado y privada; también es importante mencionar, los últimos efectos de desastre del Niño Costero del 2017, el ciclo Yaco del 2022 y no sabemos que nos espere en este Niño que inicia el 2023.

1.1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

¿Cómo influye en el comportamiento del concreto permeable con la incorporación de diferentes porcentajes de agregado fino y adición de Nanosílice en la ciudad de Jaén?

1.1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

La ciudad de Jaén, presenta un inadecuado manejo de aguas pluviales, problema que se acrecienta al continuar con la impermeabilización del suelo, con concreto hidráulico convencional; considerando que el concreto permeable, es una alternativa de solución para el manejo de escorrentías, y al no haberse desarrollado diversas investigaciones sobre este tipo de concreto para la ciudad de Jaén, se plantea esta investigación, con la finalidad de evaluar el comportamiento de las propiedades del concreto permeable, al adicionar agregado fino y aditivo Nanosílice en porcentajes variables, y verificar si las propiedades mecánicas e hidráulicas de las mezclas en estudio, se encuentran dentro de las características indicadas en la Norma ACI 522R-10, y asimismo verificar si alcanzan las resistencias establecidas en la norma CE-010, para poder ser aplicado en pavimentos rígidos de la ciudad de Jaén.

Con los resultados de esta investigación, también se busca aportar a futuros estudios que se desarrollen sobre el concreto permeable en la ciudad de Jaén, con la finalidad de que se logre utilizar este tipo de concreto en pavimentos, como alternativa para disminuir los caudales de escorrentías en temporadas de lluvias, y producir un efecto positivo medioambiental.

1.1.4 ALCANCES O DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.

La presente investigación, tuvo como alcance evaluar el comportamiento que presenta el concreto permeable, en sus propiedades mecánicas e hidráulicas en estado fresco y endurecido, al adicionarse aditivo Nanosílice al 0.5%, 1%, y agregado fino al 0%, 5% y 10%; además se verificó si cumplen con las características principales indicadas en Norma ACI 522R-10, y si lograron alcanzar las resistencias especificadas en la Norma CE-010, para ser utilizado en pavimentos rígidos en la ciudad de Jaén.

La investigación se realizó empleando agregado fino y grueso de la cantera Olano de la ciudad de Jaén. Se adicionó, a la mezcla de concreto permeable, aditivo Nanosílice al 0.5% y 1%, con agregado fino en porcentajes variables del 0%, 5% y 10% con respecto al volumen del agregado total, con el fin de evaluar cómo influyen estas adiciones en el comportamiento de las propiedades mecánicas e hidráulicas. Inicialmente se diseñó una mezcla sin adiciones, y teniendo en consideración las características propias del agregado grueso de la cantera Olano, se empleó la metodología de Castro, Solminihaç, Videla y Fernández (2009) y criterios indicados en la norma estadounidense American Concrete Institute (ACI) 522R-10, esta norma también se tomó como base para la validación de las características de las mezclas estudiadas; por lo tanto, se ensayaron diversas muestras en el laboratorio, para determinar las principales propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable, en estado fresco y endurecido.

1.1.5 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.

El estudio, presentó limitaciones con respecto a la metodología de diseño del concreto permeable, puesto que las tablas y métodos de diseños encontradas en las normativas y otras investigaciones, fueron resultados de ensayos de pruebas en laboratorios, cuyos resultados dependieron de las características propias de los agregados empleados en la zona de estudio. Por lo que, esta investigación solo puede ser aplicada en Jaén - Cajamarca, debido a las características de los agregados de la cantera Olano.

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

1.2.1. OBJETIVO GENERAL.

Determinar el comportamiento del concreto permeable con la incorporación de diferentes porcentajes de agregado fino y adición de Nanosílice en la ciudad de Jaén-Cajamarca.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Determinar las propiedades del concreto permeable en estado fresco.
- Determinar las propiedades mecánicas del concreto permeable en estado endurecido.
- Determinar las propiedades hidráulicas del concreto permeable.
- Determinar el diseño de mezcla con características óptimas para ser empleado en pavimentos rígido para tráfico de vehículos livianos en la ciudad de Jaén.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS.

2.1.1. INTERNACIONALES.

Bautista, Rivera, Castillo (2016), en la investigación “Fase experimental para obtener concretos permeable a partir de un concreto convencional con agregados de los ríos Sumapaz, Magdalena y Coello”, el cual tiene un enfoque cuantitativo y metodología experimental; se realizó 108 muestras con 6 dosificaciones diferentes, ensayados a compresión a los 7, 14 y 28 días; la resistencia del concreto permeable, a los 28 días de edad, con agregado del río Sumapaz es de 77.35 kg/cm^2 , 46.76 kg/cm^2 con los agregados de la cantera Coello y 44.60 kg/cm^2 con agregado de la cantera Magdalena; la permeabilidad alcanzada por las muestras es de $0.0001 \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que recomiendan el uso del diseño sólo en estructuras para uso liviano.

Gallo, Posada (2017), en el estudio “Diseño de un pavimento en concreto poroso con adición de agregados de concreto reciclado para la construcción de un modelo a escala”; en este estudio, se diseñó tres mezclas con diferentes porcentajes de agregado reciclado. La resistencias, de la mezcla con el 50% de material reciclado es de 10.06 MPa y 1.6 MPa a compresión y flexión respectivamente, con una permeabilidad de 3.76mm/s; la mezcla con el 25% de material reciclado alcanzó una permeabilidad de 1.96mm/s, 16.41 MPa en resistencia a compresión y 2.04 MPa a flexión, los cuales son menores que las resistencias de la mezcla que contienen el 100% de agregado natural, con valores de 10.98 MPa y 2.78 MPa a compresión y flexión respectivamente, con una permeabilidad de 1.18mm/s; además concluye, que el agregado de 1” empleado, originó separación entre los mismos, disminuyendo las resistencias mecánicas.

Laguna, Piedrahita (2017), en la investigación “Estudio comparativo de mezclas de concreto poroso usando materiales disponibles en Cartagena de Indias para uso de pavimentos en parqueaderos”, se diseñó 18 mezclas con diferente tipo de agregado (canto rodado y triturado de caliza), diferentes valores de relación agua/cemento (0.26; 0.35; 0.45) y porcentajes de vacíos (15%; 20% y 25%); las mezclas elaboradas con triturado de caliza obtuvo resistencias de compresión de 0.02 a 4.54 MPa y resistencias a flexión de 0.13 a 1.43 MPa; las mezclas elaboradas con canto rodado alcanzó 1.58 MPa a 6.11 MPa en resistencia a compresión y resistencias a flexión de 0.85 a 2.73 MPa, corroborando que ambas resistencias son

inversamente proporcional al porcentaje de vacíos; también se tiene como conclusión que el costo del concreto permeable disminuye al incrementar la relación agua/cemento.

Porras (2017), en su estudio “Metodología de diseño para concretos permeables y sus respectivas correlaciones de permeabilidad”, se realizó dos diseños, en el diseño A se empleó el índice de compactación recomendado por la metodología NRMA, buscando un porcentaje de vacíos de 15 %; sin embargo, en los ensayos realizados se encontró valores de 13% y 15.4% con resistencias a compresión de 14.5MPa hasta 19.45MPa, un rango de permeabilidad de 91.86mm/min hasta los 103.09mm/min; en el ensayo B, se emplearon índices propios de compactación encontrándose porcentaje de vacío de 16,8% y 17,2% y resistencias de compresión de 12,99 MPa hasta 13.70MPa, con valores de permeabilidad entre 108.44mm/min y 114.87mm/min. Concluyendo que con la metodología de diseño propuesta, se obtuvieron resultados más precisos en los ensayos, según lo que se busca diseñar.

2.1.2. NACIONALES.

Choque y Ccana (2016) “Evaluación de la resistencia a compresión y permeabilidad del concreto poroso elaborado con agregado de las canteras Vicho y Zurite, adicionando aditivo súper plastificante de densidad 1.2 kg/l para una resistencia 210kg/cm²”. Este estudio tiene como finalidad mejorar la resistencia a la compresión y una permeabilidad óptima del concreto poroso, elaborado con agregados de la cantera Vicho y Zurite y adicionando aditivo súper plastificante de densidad 1.2 kg/l, para lo cual se elaboró un grupo de testigos patrón sin contenido de aditivo para una resistencia de 210 kg/cm², y otro grupo donde incorporó aditivo súper plastificante en porcentajes de 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% y 2.5% con respecto al peso del cemento. Este estudio concluye que los diseños realizados, cumple con las características indicadas en la norma ACI-522R; además concluye que la variación de la resistencia a compresión, entre el concreto patrón y el concreto con aditivo, varía en un 22.17%.

Morales (2018), en su investigación “Resistencia a la compresión de un concreto permeable vs. uno convencional, utilizando agregados de la cantera Shonguwarqui del Distrito de Chingas, Provincia Antonio Raymondi”, se diseñó como patrón un concreto convencional y dos mezclas de concreto permeables, empleando agregado de 3/4" y 3/8" de la cantera Shonguwarqui; como resultado se tiene, que el concreto convencional alcanzó la mayor resistencia con 210 kg/cm², comparada con las resistencias del concreto permeable, cuya resistencia máxima es de 164.63 kg/cm²; se concluye, que las resistencias a compresión

obtenidas de las mezclas diseñadas, se encuentran dentro del rango establecido por la norma ACI 522R, al igual que la permeabilidad con valores de 23.18mm/seg con grava de 3/4” y 20.45 mm/seg con grava de 3/8”.

Paucar y Morales, (2018), en la investigación “Influencia del agregado grueso de la cantera del río Ichu en el concreto permeable para pavimentos de bajo tránsito - f'c 175kg/cm²”. Estudia la influencia del huso granulométrico del agregado en la resistencia a compresión y permeabilidad, con la finalidad de fabricar pavimentos de bajo tránsito con f'c 175kg/cm²; para el diseño se utilizó agregado grueso de 3/4”, 1/2” y 3/8”, se elaboró 8 probetas por cada tamaño de agregado, para ensayos a compresión, y 15 probetas para las pruebas de permeabilidad. En este trabajo se concluye que, para las características del agregado de la zona, la piedra chancada de 3/8”, es la que permite alcanzar resistencias más cercanas a las requeridas por los pavimentos de bajo tránsito, y la piedra chancada de 3/4” brinda los mayores porcentajes de permeabilidad; asimismo, se concluyó que un metro cúbico de concreto permeable es más económico que el concreto convencional.

Cabrera, Yalle (2022), en la investigación “Diseño de concreto poroso para la evaluación de la resistencia a compresión 210kg/cm², elaborado con agregado de las canteras del río Ichu y cantera de Cerro, Huancavelica – 2021” de tipo aplicativo, se tiene como objetivo determinar la diferencia en resistencia a compresión, de un diseño de 210kg/cm², y el coeficiente de permeabilidad, según el contenido de vacíos de las mezclas (15%; 20% y 22.5%), en el concreto poroso; se ensayó 36 probetas a compresión y 36 para el ensayo de permeabilidad; teniendo como resultado, que la resistencia a compresión con mejor rendimiento, fue el de la mezcla diseñada con agregado de la cantera Cerro y el 15% de vacíos, con un valor de 251.75kg/cm²; la mezcla que presentó mejor permeabilidad, fue la diseñada con agregado de la cantera Río Ichu y 22.5% de vacíos, con un valor de 0.687 cm/s.

2.1.3. LOCALES.

Aquino (2015) en la investigación “Diseño y aplicación de concreto ecológico con fibra de polipropileno para pavimentos rígidos”, tuvo como propósito, elaborar una mezcla de concreto ecológico con agregados de la cantera Victoria, con fibra de polipropileno SIKA FIBER PE de 19mm de longitud y aditivo polifuncional SIKAMENT-299N. Las mezclas diseñadas con fibra alcanzaron resistencias de 17.67 Mpa y 2.80 Mpa, de compresión y flexión respectivamente, una permeabilidad de 21.32 mm/s. La mezcla con fibra y aditivo

polifuncional, tuvo una resistencia de 18.67 Mpa a compresión, 3.01 Mpa a flexión y 21.53mm/s de coeficiente de permeabilidad, el peso unitario en estado endurecido de ambas mezclas, fue de 2050.44 kg/cm³ y 2064.71kg/cm³; concluyendo, que los diseños cumplen con los requisitos de la norma ACI211.3R-97 Y ACI 5522R-10.

Díaz (2017), en su investigación “Diseño de mezcla de concreto permeable elaborado con aditivo y adición de fibra de polipropileno para uso en pavimentos, en la ciudad de Cajamarca”, tiene como objetivo diseñar una mezcla de concreto permeable para una resistencia a compresión de 210 kg/cm² y 42 kg/cm² de resistencia a flexión, donde se evaluó 78 especímenes en el ensayo a compresión, 42 vigas en el ensayo a flexión y 12 especímenes en los ensayos de permeabilidad empleando agregado de la cantera “Tartar”; como resultado se tienen, que la mezcla con código RDBIII-AD1-FPP1 alcanza resistencias de 227.78 kg/cm² y 44.21 kg/cm² de compresión y flexión respectivamente; concluyendo que alcanza las resistencias mínimas para ser empleados en pavimentos de tránsito normal, al igual que la permeabilidad, está dentro de lo indicado en la norma ACI 211.3R-02.

Estela y Vásquez (2020) en la investigación “Influencia de la incorporación de partículas de caucho reciclado en concreto poroso, en la ciudad de Jaén - Cajamarca”, en este estudio se evaluó el comportamiento del concreto permeable, con la adición de partículas de caucho reciclado en un 5%, 10% y 15% más una muestra patrón de 0%; se concluyó, que la resistencia a la compresión, conforme se aumenta la incorporación de partículas de caucho reciclado en las diferentes dosificaciones, tiende a un declive negativo en comparación con la mezcla patrón sin adición de caucho. También se concluyó, que el coeficiente de permeabilidad, determinado para todas las dosificaciones (0%, 05%, 10% y 15%), tiende a aumentar conforme incrementamos de partículas de caucho reciclado, encontrándose dentro de la permeabilidad definida por el reporte ACI 522R.

2.2. BASES TEÓRICAS.

2.2.1. CONCRETO PERMEABLE:

2.2.1.1 Definición. Es un material de granulometría abierta, unida por pasta de cemento, que permite la permeabilidad del agua y presenta una resistencia moderada; el concreto permeable, también es utilizado como material aislante por su alto contenido de huecos (ACI 211.3R-02, 2009). El concreto permeable generalmente describe un asentamiento cero, granulometría clasificada, compuesto por cemento Portland, agregado grueso, poca o nada de agregado fino, aditivos y agua. La combinación de estos ingredientes producirá un material endurecido con poros conectados, con tamaño desde 0.08 a 0.32 pulg. (2 a 8 mm), que permite que el agua pase por él fácilmente. El contenido de vacíos puede variar desde 15% al 35%, con puntos fuertes típicos a la compresión de 400 a 4.000 psi (2,8 a 28 MPa); la capacidad de drenaje del pavimento de hormigón permeable, variará con el tamaño y la densidad de la mezcla de agregados, pero en general caerá en el rango de 2 a 18 gal. /Min/ft² (81 hasta 730 L/min/m²). El concreto permeable, es considerado como un material sostenible para la construcción, por reducir las escorrentías de aguas de lluvias, mejorando su calidad; además, puede recargar las fuentes de agua subterráneas, y disminuir el impacto del efecto isla de calor urbano (ACI 522R-10, 2010).

2.2.1.2 Componentes del concreto permeable. Compuesto esencialmente de cemento Portland, agregado grueso, agua, aditivos y en ocasiones pequeñas cantidades de finos. Esta mezcla forma una aglomeración de agregados gruesos, envueltos por una delgada capa de pasta de cemento endurecida en sus puntos de contacto; esta configuración permite que entre el agregado grueso se produzca grandes huecos, permitiendo la filtración del agua en una cantidad mucho más elevada que en el concreto convencional (ACI 522R-10, 2010).

2.2.1.2.1. Cemento Portland. Según la Norma Técnica Peruana NTP 334.009 (2020), el cemento hidráulico es producido mediante la pulverización del Clinker, compuesto esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente sulfato de calcio, y eventualmente caliza como adición durante la molienda. En un concreto permeable, cuanto más pasta de material cementante esté disponible para compactación, mayor será la resistencia a la compresión, por esta razón, se obstruirá los poros y perjudicará la función del concreto permeable (Chopra et al., 2007).

2.2.1.2.2. Agregados. Según la NTP 400.011 (2008), también son conocidos como áridos, pueden ser de origen natural o artificial, los cuales podrían ser tratados o elaborados.

A. Agregado Grueso.

Es aquel material proveniente de la descomposición natural o mecánica de las rocas y es retenido en el tamiz N° 4, 4.75mm (NTP 400.037, 2018).

No existe una diferencia considerable, en la permeabilidad del concreto, cuando se emplea agregados de forma redondeada o angulosa; sin embargo, la permeabilidad disminuye con agregados de granulometrías más uniformes y de tamaño máximo menor, pero su efecto, no es tan marcado como el incremento en resistencia que se obtiene (Crouch et al., 2005 citado en Fernández y Navas, 2011).

El concreto permeable no contiene agregado fino, o tal vez muy poco, y el agregado grueso utilizado debe ser de tamaño uniforme; comúnmente, las granulometrías de agregado grueso utilizado, deben de cumplir con la norma ASTM C33, estas son: N° 67 (3/4" a N°4), N° 8 (3/8" a N°16), o N°89 (3/8" a N°50); otra norma que puede ser empleada para determinar la granulometría es la ASTM D448 (Pérez, 2009).

El ACI 522R-10 indica, que el tamaño nominal del agregado grueso generalmente es de 3/4 a 3/8 de pulgada (19 a 9.5mm), tamaños de agregados mayores pueden incrementar la porosidad, pero pueden disminuir la trabajabilidad.

B. Agregado Fino.

Proviene de la desintegración natural o artificial de las rocas, deben pasar por el tamiz 3/8" y quedar retenidos en la malla N° 200 (NTP 400.037, 2018).

El agregado fino debe cumplir con los siguientes requisitos (Rivva, 2013, citado por Chávez, 2014).

- Puede ser de arena natural o manufacturada, o una combinación de las dos, de partículas limpias, con un perfil preferentemente angular, duro, compacto y resistente.
- Deberá estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, materia orgánica, terrones, partículas escamosas o blandas, pizarras, esquistos, álcalis, sales, u otras sustancias dañinas.

- El módulo de finura, debe estar dentro de los límites de ± 0.2 cuando es asumido para la selección de las proporciones del concreto; los valores recomendables deben estar comprendidos entre 2.30 y 3.10.
- El agregado no deberá retener más del 45% en dos tamices consecutivos cualesquiera.
- El porcentaje de partículas inconvenientes en el agregado fino no deberá exceder de los siguientes límites:
 - Lentes de arcilla y partículas desmenuzables.....3%
 - Material más fino que la malla N° 200:
 - a) Concretos sujetos a abrasión.....3%
 - b) Otros concretos.....5%
 - Carbón:
 - a) Cuando la apariencia superficial es importante.....0.5%
 - b) Otros concretos.....1%

C. Propiedades de los agregados.

i. Granulometría:

Pasquel, E. (2000) explica el método para determinar la granulometría de los agregados, el cual consiste en tamizar las partículas por una serie de mallas de aberturas conocidas y pesar los materiales retenidos, refiriéndolos en porcentaje con respecto al peso total. Este proceso es denominado análisis granulométrico, que es la representación numérica de la distribución volumétrica de las partículas por tamaños.

- **Del agregado Grueso.** Según Abanto (2017), la granulometría del agregado grueso, deberá estar comprendida en los límites establecidos por la NTP 400.037 o la norma ASTM C33, indicados en la tabla 1.

Tabla 1*Requerimiento de granulometría de los agregados gruesos.*

HUSO	Tamaño Nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados													
		100mm (4")	90mm (3 1/2")	75mm (3")	63mm (2 1/2")	50mm (2")	37.5mm (1 1/2")	25.0mm (1")	19.0mm (3/4")	12.5mm (1/2")	9.5mm (3/8")	4.75mm (N°4)	2.36mm (N°8)	1.18mm (N°16)	300µm (N°50)
1	90mm a 37.5mm (3 1/2" a 1 1/2")	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 15						
2	63mm a 37.5mm (2 1/2" a 1 1/2")			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5						
3	50mm a 25,0 mm (2" a 1")				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
357	50mm a 25,0 mm (2" a N°4)				100	95 a 100		35 a 70		0 a 30		0 a 5			
4	37,5mm a 19,0mm (1 1/2" a 3/4")					100	90 a 100	20 a 55	0 a 5		0 a 5				
467	375mm a 4.75mm (11/2" a N° 4)					100	95 a 100		35 a 70		0 a 30	0 a 5			
5	25,0 mm a 12,5 mm (1" a 1/2")						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5				
56	25,0mm a 9,5mm (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 4,75 mm (3/4" a N° 4)							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5		
7	12,5mm a 4,75mm (1/2" N° 4)								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5		
8	9,5mm a 2,36 mm (3/8" a N°8)									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	
89	9,5mm a 1,18mm (3/8" a N° 16)									100	90 a 100	20 a 35	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4,75mm a 1,18mm (N° 4 a N°.16)										100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Fuente: ASTM C33

El ensayo granulométrico del agregado grueso, para esta investigación, se realizó de manera manual y se siguió los procedimientos indicados en la NTP 400.012; la cantidad de muestra necesaria para el ensayo se determinó mediante la tabla 2.

Tabla 2

Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso o global.

TMN mm (pulg.)	Cantidad Mínima kg (lb)
9.5 (3/8)	1 (2)
12.5(1/2)	2 (4)
19.0 (3/4)	5 (11)
25.0 (1)	10 (22)
37.5 (1 1/2)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 (2 1/2)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 1/2)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
125 (5)	300 (660)

Fuente: NTP 400.012, 2018.

- **Del agregado fino.** La distribución del tamaño de partículas, se determina por separación con una serie de mallas normalizadas. Las mallas normalizadas utilizadas para el agregado fino son la N° 04; 08; 16; 30; 50 y 100 (Abanto, 2017).

La granulometría recomendada, del agregado fino, se muestra en la tabla 3.

Tabla 3.

Límite granulométrico del agregado fino.

Tamiz	Porcentaje que pasa
9.5 mm (3/8 pulg)	100
4.75 mm (N° 4)	95 a 100
2.36 mm (N°8)	80 a 100
1.18 mm (N° 16)	50 a 85
600 µm (N°30)	25 a 60
300 µm (N°50)	05 a 30
150 µm (N°100)	0 a 10

Fuente: NTP 400.037, 2018.

Para realizar este ensayo, se siguió los procedimientos indicados en la NTP 400.012.

ii. Módulo de Finura.

Es la suma de los porcentajes retenidos acumulativos de la serie Standard hasta el Tamiz N° 100, dividido entre 100; puesto que es proporcional, al promedio logarítmico del tamaño de partículas de una cierta distribución granulométrica (Pasquel 2000).

Para el agregado Fino:

$$M.F = \frac{\Sigma \% \text{Ret. Acum. Tamices (N}^\circ 4, \text{N}^\circ 8, \text{N}^\circ 16, \text{N}^\circ 30, \text{N}^\circ 50, \text{N}^\circ 100)}{100} \dots\dots\dots(1)$$

Para el agregado grueso:

$$M.G = \frac{\Sigma \% \text{Ret. Acum. tamices (N}^\circ 3/4'', \text{N}^\circ 3/8'', \text{N}^\circ 4, \text{N}^\circ 16, \text{N}^\circ 30, \text{N}^\circ 50, \text{N}^\circ 100)}{100} \dots\dots\dots(2)$$

iii. Peso específico y absorción.

Los valores de absorción y pesos específicos, son empleados en el cálculo y corrección de las dosificaciones de mezclas (NTP 400.021, 2018)

- **Peso específico:** Es el cociente de dividir la masa de un material de un volumen unitario, entre la masa del mismo volumen de agua a temperaturas estables.

Definición del peso específico de los agregados, según la norma NTP 400.021 y de acuerdo a sus condiciones de saturación.

Peso específico nominal o aparente. Es la relación de la masa en el aire de un volumen unitario de la porción impermeable de un material, a la masa en el aire de igual volumen de agua destilada libre de gas, a una temperatura especificada.

P.e.a para el agregado fino:

$$P.e.a = \frac{W_0}{(V-V_a)-(500-W_0)} \dots\dots\dots(3)$$

Donde:

P.e.a. : Peso específico aparente.

W₀ : Peso en el aire de la muestra secada al horno a 105°C.

V : Volumen del frasco.

V_a : Volumen de agua añadida.

P.e.a para el agregado Grueso:

$$P.e.a = \frac{A}{A-C} \dots\dots\dots(4)$$

Donde:

P.e.a. : Peso específico aparente

A : Peso en el aire de la muestra secada al horno a 105°C

C : Peso en el agua de la muestra saturada.

Peso específico de masa. Es la relación de la masa en el aire de un volumen unitario de material (sin incluir los poros entre partículas), a la masa en el aire de igual volumen de agua destilada libre de gas, a una temperatura determinada.

P.e del agregado fino:

$$P.e = \frac{W_0}{V - V_a} \dots\dots\dots(5)$$

Donde:

P.e : Peso específico de masa.

W₀ : Peso en el aire de la muestra secada al horno a 105°C

V : Volumen del frasco.

V_a : Volumen de agua añadida.

P.e del agregado grueso:

$$P.e = \frac{A}{B - C} \dots\dots\dots(6)$$

Donde:

P.e : Peso específico de masa.

A : Peso en el aire de la muestra secada al horno a 105°C

B : Peso en el aire de la muestra saturada de superficie seca.

C : Peso en el agua de la muestra saturada.

Peso específico de masa saturada superficialmente seca. Tiene la misma definición que el peso específico de masa, con la excepción que incluye la masa del agua de los poros llenos por inmersión en el agua durante 24 horas, sin incluir los poros entre partículas.

P.e.s.s.s para el agregado fino:

$$P.e.s.s.s = \frac{500}{V - V_a} \dots\dots\dots(7)$$

Donde:

P.e.s.s.s : Peso específico de masa saturada superficialmente seca.

V : Volumen del frasco.

Va : Volumen de agua añadida.

P.e.s.s.s para el agregado grueso:

$$P.e.s.s.s = \frac{B}{B - C} \dots\dots\dots(8)$$

Donde:

P.e.s.s.s : Peso específico de masa saturada superficialmente seca.

B : Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca.

C : Peso en el agua de la muestra saturada.

- Absorción.

La NTP 400.0021 (2018), lo define como la cantidad de agua que absorbe el agregado, después de ser inmersa en agua por 24 horas, y expresa como porcentaje del peso seco.

Para el agregado fino:

$$Ab = \frac{500 - W_0}{W_0} \times 100 \dots\dots\dots(9)$$

Donde:

Ab : Porcentaje de absorción.

W₀ : Peso en el aire de la muestra secada al horno a 105 °C.

Para el agregado grueso:

$$Ab = \frac{B - A}{A} \times 100 \dots\dots\dots(10)$$

Donde:

Ab : Porcentaje de absorción.

A : Peso en el aire de la muestra secada al horno a 105 °C.

B : Peso de la muestra saturada superficialmente seca.

Para determinar los pesos específicos y la propiedad de absorción de agregados fino, se siguieron los procedimientos y criterios indicados en la NTP 400.022 y ASTM C128; y en el agregado grueso se empleó lo establecido en la norma NTP 400.021 y ASTM C127.

iv. Contenido de humedad.

La NTP 339.185 (2013), lo define como el porcentaje total de humedad evaporable, incluyendo la humedad superficial y la contenida en los poros del agregado fino o grueso; esta característica es importante, puesto que se aplica en la corrección del proporcionamiento de los componentes de las mezclas.

Por lo general, los agregados, se encuentran húmedos y su estado varía con el tiempo.

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

Donde:

- W% : Porcentaje de Humedad
- A : Peso de Muestra Húmeda.
- B : Peso de la muestra seca.

El ensayo, de contenido de humedad del agregado grueso y fino, se realizó teniendo en cuenta los procedimientos indicados en la NTP 339.185.

v. Peso Unitario.

Es el valor, que se obtiene de dividir el peso de las partículas entre el volumen total, incluyendo los vacíos; por lo que en esto influye la manera en que se acomodan las partículas, al incluir los espacios entre ellas; en un parámetro hasta cierto punto relativo (Pasquel, 2000).

- Peso unitario suelto seco:

Llenar el contenedor con un cucharón o pala, vaciando el agregado de una altura como máximo de 50 mm encima del borde superior del mismo; se determinan la masa de ambos, como también, la masa del recipiente vacío, con una precisión de 0.05 kg (NTP 400.017, 2011).

- Peso unitario compactado seco:

Se plantea dos procedimientos; el método del apisonado, para agregado con tamaño máximo no mayor de 5 cm y el método de percusión, para agregados cuyo tamaño máximo está entre 5 cm y 10 cm. En el método de apisonado, se llena el recipiente en tres capas, cada una se compacta con 25 golpes distribuidos, hasta colmatar el contenedor, luego se enrasa la superficie empleando una varilla; se determina el peso del agregado en kg y se obtiene el peso unitario compactado (NTP 400.017, 2011).

Para determinar el peso unitario seco suelto y compactado del agregado fino y grueso, se siguió lo establecido en la NTP 4000.017 y la norma ASTM C29.

vi. Resistencia a la Abrasión.

Es la medida de la degradación del agregado sometido a fuerzas de impacto, abrasión, trituración, en la máquina de los Ángeles, la degradación producida se expresa como porcentaje de pérdida de la muestra inicial (NTP 400.019, 2002).

La NTP 400.019 (2002) indica la fórmula para calcular el porcentaje de desgaste:

$$De = \frac{W_0 - W_f}{W_0} \times 100 \dots \dots \dots (12)$$

Donde:

- De : Porcentaje de desgaste.
- W₀ : Peso original de la muestra.
- W_f : Peso final de la muestra.

Para el cálculo de la resistencia a la abrasión, se escoge una de las 4 gradaciones (A, B, C, D), establecidas en la Norma Técnica Peruana NTP 400.019 (2002), dependiendo del tipo de gradación y con el número determinado de esferas, se procede a realizar el ensayo. Las esferas deben ser de hierro fundido, con un diámetro de 48 mm y, entre 390 y 445 g de masa.

Tabla 4
Carga abrasiva.

GRADACIÓN	NÚMERO DE ESFERAS	MASA DE LAS ESFERAS (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 25
D	6	2500 ± 15

Fuente: NTP 400.019, 2002.

Tabla 5*Gradación de muestras de ensayo.*

TAMAÑO DE TAMICES (ABERTURAS GRADADAS)		PESO DE LOS TAMAÑOS INDICADOS (g)			
PASA	RETENIDO	A	B	C	D
37.50 mm (1 1/2")	25.40 mm (1")	1250±25	-----	-----	-----
25.40 mm (1")	19.00 mm (3/4")	1250±25	-----	-----	-----
19.00 mm (3/4")	12.70 mm (1/2")	1250±10	2500±10	-----	-----
12.70 mm (1/2")	9.51 mm (3/8")	1250±10	2500±10	-----	-----
9.51 mm (3/8")	6.35 mm (1/4")	-----	-----	2500±10	-----
6.35 mm (1/4")	4.76 mm (N° 4)	-----	-----	2500±10	-----
4.76 mm (N°4)	2.36 mm (N° 8)	-----	-----	-----	5000±10

Fuente: NTP 400.019, 2002.

Para este ensayo se tomó en cuenta los procedimientos indicados en la NTP 400.019 y la norma ASTM C131.

vii. Porcentaje que pasa el Tamiz N° 200.

El recubrimiento del exterior del agregado con material fino, como polvo, influye en el comportamiento del concreto; para calcular el material que pasa el tamiz n°200, los materiales que son solubles por el agua, son removidas del agregado durante el ensayo (NTP 400.018, 2002).

Esta propiedad interviene en la adherencia que tiene la pasta con el agregado, influyendo en su resistencia; por lo que, se acostumbra limitarlos entre el 3% al 5%; aunque valores mayores al 7%, no causan un efecto que no pueda contrarrestarse mejorando el diseño de mezcla, ya sea reduciendo la relación agua/cemento y/o mejorando la granulometría (Pasquel,2000).

$$A = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100 \dots \dots \dots (13)$$

Donde:

A : Porcentaje de material fino que pasa el tamiz N° 200.

P₁ : Peso seco de la muestra original.

P₂ : Peso seco de la muestra luego del lavado.

El ensayo se realizó según lo indicado en la NTP 400.018, por el método del lavado en la malla N° 200, cuyo resultado es expresado en porcentaje.

2.2.1.2.3. Agua. El agua es fundamental para la preparación del concreto, estando relacionado con la resistencia, trabajabilidad y propiedades del concreto endurecido (Abanto, 2017).

El agua utilizada en la elaboración y curado del concreto permeable, debe cumplir la norma NTP 339.088 (Métodos de prueba estándar para el pH del agua), debe ser potable, estar libre de materiales perjudiciales como materia orgánica, aceites, grasas, etc. Cuyas propiedades y sustancias disueltas contenidas, se encuentren en los límites establecidos en la tabla 6.

Tabla 6

Límites permisibles para el agua de mezcla y curado.

DESCRIPCIÓN	LÍMITE PERMISIBLE	
Sólidos en suspensión (residuo insoluble)	5000 ppm	Máximo
Materia Orgánica	3 ppm	Máximo
Alcalinidad (NaCHCO3)	1000 ppm	Máximo
Sulfatos (ion SO4)	600 ppm	Máximo
Cloruros (ion Cl-)	1000 ppm	Máximo
Ph	05-08	Rango

Fuente: Norma NTP 339.088, 2006.

2.2.1.2.4. Aditivos. Se define como un material diferente del agua, agregado y cemento hidráulico, utilizado como un componente de concretos o morteros, y adiciona a la mezcla inmediatamente antes o durante su mezclado (Sánchez, 2001).

Los aditivos tienen cumplir con lo indicado de la norma ASTM C 494.

A. Aditivo Nanosílice.

El aditivo Nanosílice se clasifica como aditivo tipo F según la norma ASTM C494, por lo que se considera como un súper plastificante, puede convertir a un hormigón normal a uno fluido, puede reducir el agua hasta en un 30% (Quiroz y Salamanca, 2006). En la Tabla N° 7 se muestra la influencia de un aditivo súper plastificante en el concreto.

Tabla 7*Efectos principales del aditivo súper plastificante en las propiedades del hormigón.*

EFFECTOS EN	ADITIVO SÚPER PLASTIFICANTE
Trabajabilidad	Aumenta. Como reductor de la cantidad de agua con finos suficientes, no influye significativamente. Cuando se usa en hormigones pobres o deficientes en finos, o cuando se usa para producir hormigón de fácil flujo, se puede presentar una exudación severa.
Exudación	
Cantidad de agua	Disminuye hasta un 30%
Perdida de trabajabilidad	Más rápida.
Inicio del fraguado	Como reductor de agua afecta poco. Como plastificante retrasa.
Resistencia inicial	Aumenta.
Resistencia final	Aumenta.
Permeabilidad	Disminuye.

Fuente: Quiroz y Salamanca, 2006.

2.2.1.3 Propiedades del concreto permeable.

Las propiedades, dependen del contenido de cemento, de la relación a/c, la fuerza de compactación, de las propiedades y granulometría de los agregados, la resistencia también depende del tamaño de los poros en el concreto. En Estados Unidos se emplea hace 20 años el concreto permeable, sin embargo, pocos estudios se han realizado para determinar su funcionamiento (ACI 522R-10, 2010).

2.2.1.3.1. Propiedades en estado fresco.

A. Revenimiento.

El concreto permeable, por su baja relación de a/c y por el poco o nada de contenido de agregado fino, tiene bajo revenimiento; no es un concreto muy fluido (Barahona et al., 2013).

Para que el agregado tenga mejor recubrimiento y estabilidad en la mezcla, el ACI 211.3R-02 y el ACI 522R-10 recomienda la relación agua/cemento entre 0.26-0.45.

B. Contenido de vacíos

La graduación de los agregados, contenido de cemento, relación a/c, esfuerzo de compactación, son factores que intervienen en el contenido de vacíos (Neithalath, 2004 citado por ACI 522R-10, 2010).

El concreto permeable, posee un porcentaje significativo de vacíos, valores que se encuentran entre el 15% y 35%, según Norma ACI 522R y otros estudios realizados sobre el concreto permeable.

C. Peso Unitario.

Rodas (2012), la variación del peso unitario (densidad), se produce por la cantidad y la densidad relativa del agregado, por el porcentaje de aire atrapado o incluido, por el contenido de agua y cemento, los cuales dependen del tamaño máximo del agregado; posee una menor densidad que el concreto convencional, siendo un aproximado de 1680kg/m^3 y 1920kg/m^3 , valores obtenidos por una serie de pruebas, la cual lo hace aplicable en pavimentos de baja intensidad.

2.2.1.3.2. Propiedades en estado endurecido.

A. Resistencia a la compresión.

La dosificación de la mezcla de concreto permeable y el esfuerzo de compactación durante su elaboración, afecta la resistencia a la compresión (ACI 522R-10, 2010).

Mediante ensayos de laboratorio, donde en la fabricación de cilindros de concreto permeable se utilizó dos tamaños de agregados y diferentes esfuerzos de compactación, se elaboró la figura 1, que muestra la relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión.

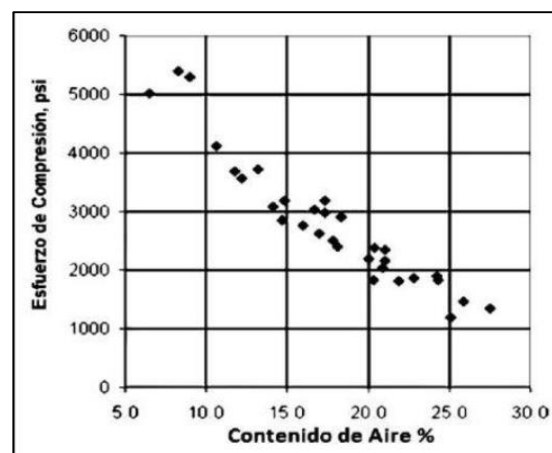


Figura 1: Resistencia a la compresión vs contenido de aire en cilindros de concreto permeable.

Fuente: ACI 522R-10, 2010

Con el aumento del tamaño del agregado, se obtienen resultados reducidos de resistencia a la compresión, y con la incorporación de aditivos polímeros y minerales, se incrementa la resistencia para el mismo tamaño de agregados (Jing y Guiliang, 2003 citado por Pérez, 2019).

La relación a/c es importante para el desarrollo de la resistencia a compresión y el contenido de vacíos en un concreto permeable, por lo que la relación de a/c de un concreto convencional no es aplicable para un concreto permeable (ACI 522R-2010, 2010).

Según la norma ACI 522R, una cantidad excesiva de pasta genera una estructura de vacíos llena, y un contenido escaso de pasta genera un recubrimiento reducido en los agregados, por ende, una resistencia a la compresión reducida.

B. Resistencia a la flexión.

La norma ACI 522R-10 muestra mediante un gráfico, desarrollado por Meininger 1988, la relación del contenido de vacío y la resistencia a flexión del concreto permeable, basado en ensayo de probetas, que pertenecen a la misma serie empleada en los ensayos de resistencia a la compresión. Aunque los resultados están apoyados, en un número limitado de especímenes de concreto permeable, comparando los valores de la Figura 1 y Figura 2, se puede verificar la relación entre la resistencia a la compresión y flexión.

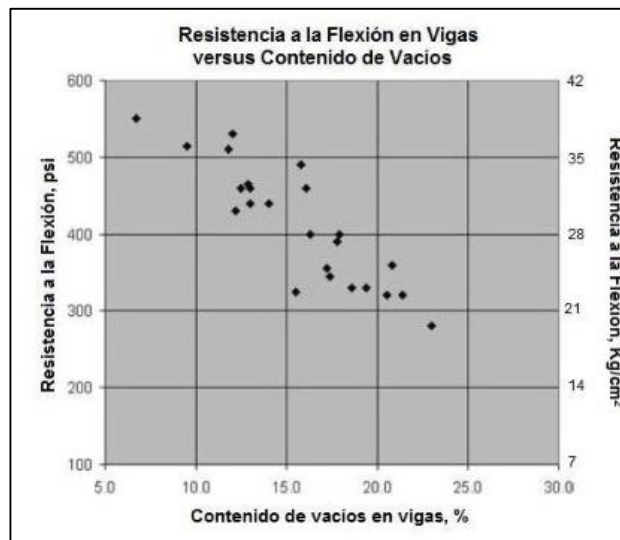


Figura 2: Resistencia a la flexión en vigas versus contenido de vacíos.

Fuente: ACI 522R-10, 2010

La adición de arena en pequeñas cantidades (el 5% del volumen) en la mezcla de concreto permeable, incrementa la resistencia a flexión (Neithalath, 2004 citado por ACI 522R-10, 2010).

C. Permeabilidad.

La capacidad para que filtre el agua a través de la estructura del concreto, es una de las características principales del concreto permeable, donde el porcentaje de vacíos y la dimensión de los poros se relaciona directamente con la tasa de percolación (ACI 522R-10, 2010)

Según Meininger (1988), se ha demostrado con pruebas, que, para lograr una filtración significativa, se requiere al menos el 15% de vacíos.

El reto en dosificar una mezcla de concreto permeable, es conseguir un equilibrio entre una resistencia de compresión y tasa de filtración aceptables, puesto que, la resistencia a la compresión disminuye al incrementarse el contenido de vacíos, aumentando la tasa de filtración (Meininger, 1988).

La norma ACI 522R, recomienda que para encontrar la permeabilidad de un concreto poroso, se utilice un permeámetro de carga variable; para esta investigación, se construyó el permeámetro de carga variable, y así conocer la capacidad de filtración de las mezclas diseñadas.

El coeficiente de permeabilidad está dado por:

$$k = \frac{L}{t} \times \frac{a}{A} \times \log \frac{h_1}{h_2} \dots \dots \dots (14)$$

Donde:

- k : Coeficiente de permeabilidad.
- L : Longitud de la muestra.
- A : Área de la muestra.
- a : Área de la tubería de carga.
- t : Tiempo de demora en pasar (h₁-h₂).
- h₁ : Altura de agua medida del nivel de referencia.
- h₂ : Altura de tubería de salida del agua con respecto al nivel de referencia.

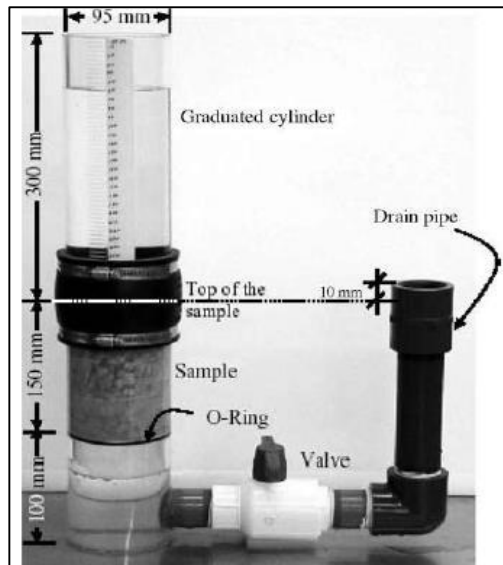


Figura 3: Equipo de ensayo de permeabilidad recomendado por el ACI 522R.
Fuente: Reporte ACI 522R-10.

Las propiedades del concreto permeable, como lo indica la norma ACI522 R-10, han sido obtenidas en base a investigaciones realizadas basadas en pruebas de laboratorio, con también de algunos datos obtenidos en campo; además indica, que las propiedades del concreto poroso son defectuosas, como su contenido de vacíos, el cual depende de la cantidad de cemento, de la relación a/c, de la compactación, gradación y calidad del agregado. En la tabla 8, se presenta las propiedades típicas del concreto permeable, cuyos valores también se encuentran dentro de los rangos establecido por la norma ACI 522R-10.

Tabla 8

Propiedades típicas del concreto permeable.

Propiedades	Rango	Observaciones
Revenimiento, mm.	20	-
Peso unitario, kg/m ³	1600-2000	-
Tiempo de fraguado, hora.	1	Con aditivos químicos, se puede extender el tiempo de fraguado.
Porosidad , % (en volumen)	15-25	-
Permeabilidad, lt/m ² /min (cm/s)	120-320 (0.20-0.54)	En laboratorios se han encontrado valores de velocidad de flujo tan altas como 700 lt/m ² /min.
Resistencia a compresión, MPa.	3.5-28	-
Resistencia a flexión, Mpa.	1-3.8	-

Fuente: Imcyc, 2008.

2.2.2. ENSAYOS DE LABORATORIO.

Para el diseño de mezclas del concreto permeable, es necesario conocer las propiedades de sus componentes mediante ensayos en el laboratorio o especificaciones técnicas; los ensayos de los materiales a utilizar, deben realizarse de acuerdo a las normas técnicas peruana (NTP) y las normas American Society for Testing and Materials (ASTM).

En la tabla 10, se muestran las normas que se pueden emplear en los ensayos de laboratorio, realizados al concreto permeable.

Tabla 9

Normas Técnicas para ensayos de laboratorio para agregados.

ENSAYO	NORMA INTERNACIONAL ASTM	NORMA PERUANA NTP
Muestreo de agregados.	D 75	400.01
Peso Específico y Absorción.	C 127, 128	400.021, 400.022
Contenido de humedad.	C 70	339.185
Análisis granulométrico.	C 136	400.012
Cantidad de material fino que pasa el tamiz N° 200.	C 117	400.018
Peso Unitario.	C 29	400.017
Resistencia a la abrasión. Los Ángeles.	C 131	400.019

Fuente: Aquino Cusquisibán, 2015.

Tabla 10

Normas Técnicas para ensayos de laboratorio para el concreto.

ENSAYO	NORMA INTERNACIONAL ASTM	NORMA PERUANA NTP
Muestreo de concreto fresco.	C 172	339.036
Asentamiento – Slump.	C 143	339.035
Peso Unitario, contenido de vacíos.	C1688	339.23
Elaboración y curado de muestras de concreto para ensayos de laboratorio.	C 192	339.183
Resistencia a la compresión testigos cilíndricos.	C 39	339.034
Resistencia a la flexión del concreto, vigas simplemente apoyadas con carga a los tercios del tramo.	C 78	339.078
Permeabilidad.	ACI 522R	---

Fuente: Aquino Cusquisibán, 2015

Tabla 11

Normas Técnicas para ensayos de laboratorio para el cemento.

ENSAYO	NORMA INTERNACIONAL ASTM	NORMA PERUANA NTP
Densidad del cemento Portland.	C 188	334.005

Fuente: Aquino Cusquisibán, 2015

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.

Concreto Permeable: Material endurecido con poros conectados, compuesto por cemento portland, agregado grueso, poco a o nada de agregado fino, agua y aditivo; la estructura permite el paso del agua, pero con resistencia estructural moderada por el alto porcentaje de vacíos (ACI 211.3R-02, 2009).

Norma ACI 522R: Proporciona información técnica sobre la aplicación de concreto permeable, métodos de diseños obtenidos por ensayos de estudios realizados sobre este tipo de concreto, materiales, propiedades, proporción de mezcla, métodos de construcción (ACI 522R - 10, 2010).

Dosificación: Es la medición por volumen o peso de los componentes, y su vaciado en la mezcladora para un determinado volumen de concreto, mortero, grout o revoque (NTP 339.047, 2006).

Nanosílice: Aditivo que pertenece a la línea GAIA Nanosílice, las nanopartículas de sílice, mediante las reacciones químicas producidas en el concreto, se convierten en nanopartículas de cemento, es líquido y amigable con el medio ambiente (Ficha técnica aditivo Nanosílice - Ulmen, 2019).

Permeabilidad: Cantidad de agua que se mueve a través del concreto permeable, en un tiempo determinado, expresado generalmente en pulgadas por hora (ACI 522R-10, 2010).

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. HIPÓTESIS.

3.1.1. HIPÓTESIS GENERAL.

La incorporación del agregado fino y la adición de Nanosílice influye en el comportamiento del concreto permeable en la ciudad de Jaén-Cajamarca.

3.2. VARIABLES.

3.2.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.

Aditivo Nanosílice.

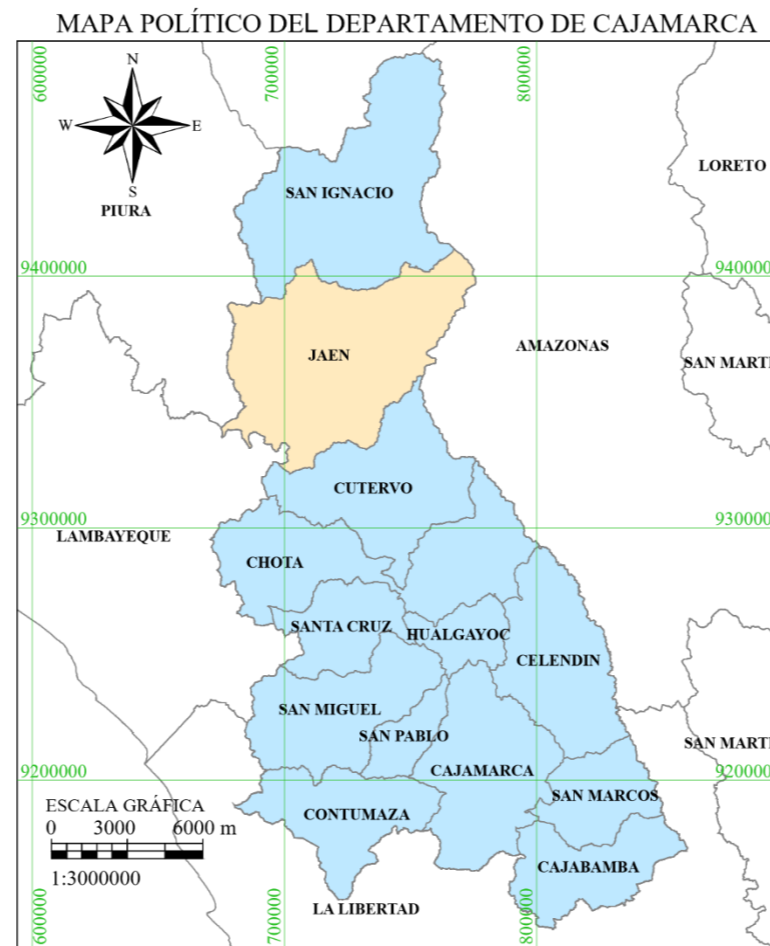
Agregado fino.

3.2.2. VARIABLE DEPENDIENTE.

Propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable.

3.3. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.

La investigación se desarrolló en la ciudad de Jaén, provincia de Jaén, departamento de Cajamarca, en el laboratorio “GEOCON VIAL” ubicado en la calle Capitán Juan Porcel N°108 Jaén.



COORDENADAS UTM	
SISTEMA GEODÉSICO:	
WGS84	
ZONA: 17M	
Norte	: 9368661.00
Este	: 743360.00

LEYENDA	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	VÍAS
	LABORATORIO GEOCON VIAL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:
COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE CON
INCORPORACIÓN DE DIFERENTES PORCENTAJES DE
AGREGADO FINO Y ADICIÓN DE NANOSÍLICE EN LA
CIUDAD JAÉN- CAJAMARCA.

ASESOR:
DR. ING. HERMES ROBERTO MOSQUEIRA RAMÍREZ
TESISTA:
BACH. MAYTI ABIGAIL SÁNCHEZ BERRIOS.

PLANO: UBICACIÓN DEL
LABORATORIO
GEOCON VIAL.
ESCALA: FECHA:
INDICADA NOVIEMBRE 2023

LÁMINA Nº
U-01

Figura 4: Plano de ubicación del laboratorio "GEOCON VIAL".



Figura 5: Imagen satelital del laboratorio Geocon Vial.

3.4. METODOLOGÍA.

3.4.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

Aplicativo: Se caracteriza por la aplicación del conocimiento teórico a situaciones específicas, y de los resultados que se obtengan de la práctica que se deriven de ella.

3.4.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN.

Experimental, descriptiva correlacional, porque manipula las variables y describe las variaciones de las propiedades a diferentes porcentajes correlacionándolas.

3.4.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

Cuantitativa: puesto que se hace variar con intencionalidad las variables independientes, a fin de probar o desmentir la hipótesis planteada mediante resultados numéricos, y porque se medirán las variables para diferentes porcentajes usando la estadística.

3.4.4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Cuantitativo y correlacional: consiste en recolectar y analizar datos numéricos, este método es ideal para identificar tendencias y promedios, realizar predicciones, comprobar relaciones y obtener resultados generales de poblaciones grandes.

3.5. POBLACIÓN, MUESTRA Y UNIDAD DE ANÁLISIS.

3.5.1. POBLACIÓN DE ESTUDIO.

La población de estudio, son todas las probetas de concreto permeable que se pueden fabricar con agregado grueso, agregado fino, cemento, agua y aditivo, que permitan medir las propiedades mecánicas e hidráulicas.

3.5.2. MUESTRA.

El número de la muestra depende del número de mezclas estudiadas, obtenido de acuerdo la variación del agregado fino y aditivo Nanosílice; realizando la combinación de las variables se obtiene un total de 9 mezclas de estudio, las cuales se muestran en la tabla 12.

Tabla 12
Identificación de mezclas de estudio.

MEZCLAS DE ESTUDIO		
CÓDIGO	AGREGADO FINO	ADITIVO NANOSÍLICE
CP-AF0-N0	0.00%	0.00%
CP-AF0-N0.5	0.00%	0.50%
CP-AF0-N1	0.00%	1.00%
CP-AF5-N0	5.00%	0.00%
CP-AF5-N0.5	5.00%	0.50%
CP-AF5-N1	5.00%	1.00%
CP-AF10-N0	10.00%	0.00%
CP-AF10-N0.5	10.00%	0.50%
CP-AF10-N1	10.00%	1.00%

Donde:

CP-AF0-N0 = Concreto permeable con 0.0% de agregado fino y 0.0% de aditivo Nanosílice.

CP-AF0-N0.5 = Concreto permeable con 0.0% de agregado fino y 0.5% de aditivo Nanosílice.

CP-AF0-N1 = Concreto permeable con 0.0% de agregado fino y 1% de aditivo Nanosílice.

CP-AF5-N0 = Concreto permeable con 5.0% de agregado fino y 0% de aditivo Nanosílice.

CP-AF5-N0.5 = Concreto permeable con 5.0% de agregado fino y 0.5% de aditivo Nanosílice.

CP-AF5-N1 = Concreto permeable con 5.0% de agregado fino y 1% de aditivo Nanosílice.

CP-AF10-N0 = Concreto permeable con 10.0% de agregado fino y 0% de aditivo Nanosílice.

CP-AF10-N0.5 = Concreto permeable con 10.0% de agregado fino y 0.5% de aditivo Nanosílice.

CP-AF10-N1 = Concreto permeable con 10.0% de agregado fino y 1% de aditivo Nanosílice.

a. Número de muestras para el ensayo de resistencia a la compresión.

Las probetas fueron de 6"x12" como lo indica la NTP 339.034, para cada mezcla se elaboró 9 especímenes, 3 de ellas se evaluó a los 7 días, 3 a los 14 días y 3 a los 28 días de edad, para obtener resultados representativos. Por tanto, se elaboró 9 muestras por cada una de las 9 mezclas, resultando un total de 81 especímenes para ensayos a la compresión.

b. Número de muestras para el ensayo de resistencia a la flexión.

Las probetas prismáticas de 6"x6"x22" se elaboró según lo establecido en la NTP 339.078, para cada mezcla se elaboró 3 probetas prismáticas que se evaluaron a la edad de 14 días y 3 probetas ensayadas a los 28 días. Por tanto, fue necesario 6 vigas por cada una de las 9 mezclas, resultando un total de 54 especímenes prismáticos para ensayos a flexión.

c. Número de muestras para el ensayo de permeabilidad.

Se elaboraron probetas cilíndricas de 4"x8" en base a la norma ACI 522R-10, para esta investigación se utilizó 02 probetas para cada mezcla, los que fueron evaluados a los 28 días, edad en la que han alcanzado gran parte de su resistencia. Por tanto, el número de probetas ensayadas fue un total de 18 para las 9 mezclas estudiadas.

En la tabla 13 se muestra el número de probetas por cada ensayo.

Tabla 13*Resumen de probetas por ensayo.*

ENSAYO	NORMA	N° de probetas
Resistencia a la Compresión Testigos Cilíndricos.	NTP 339.034	81 (cilindros)
Resistencia a la Flexión del Concreto, vigas simplemente apoyadas con carga a los tercios del tramo.	NTP 339.078	54 (vigas)
Permeabilidad.	ACI 522R	18 (cilindros)

La muestra es un total de 153 especímenes: 81 para ensayos de resistencia a compresión (7, 14 y 28 días), 54 especímenes prismáticos para ensayos a flexión (14 y 28 días) y 18 especímenes para ensayos de permeabilidad (28 días).

3.5.3. UNIDAD DE ANÁLISIS.

La unidad de análisis son las propiedades de los “especímenes de concreto”, o también llamados “probetas”.

3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

Observación directa, pues nos permite verificar los resultados de los ensayos de compresión, flexión y permeabilidad de probetas de concreto permeable, para los cual se emplearon fichas de control.

Análisis documental, se empleó las normas ASTM y NTP de ensayos de agregados y concreto, como también la norma ACI 522R-10. Asimismo, se recopiló información de estudios anteriores como tesis, revistas, monografías y libros, los cuales fueron debidamente citados durante el desarrollo de la investigación.

Hoja de cálculo en Excel, para la interpretación y evaluación de resultados.

Los resultados de los ensayos realizados en el laboratorio, de las probetas de concreto permeable con adición de agregado fino y aditivo Nanosílice estudiados, fueron registrados en formatos para luego ser procesados.

3.7. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.

El análisis se realizó en base a la información cuantitativa de los resultados de laboratorio, el procesamiento de información fue mediante métodos estadísticos, por lo que se empleó programas de cálculo como el Microsoft Excel, que permitió la elaboración de gráficos, tablas y cálculos de una manera confiable.

3.8. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.

La investigación, se desarrolló siguiendo una secuencia de actividades, los cuales se muestran en la figura 6.

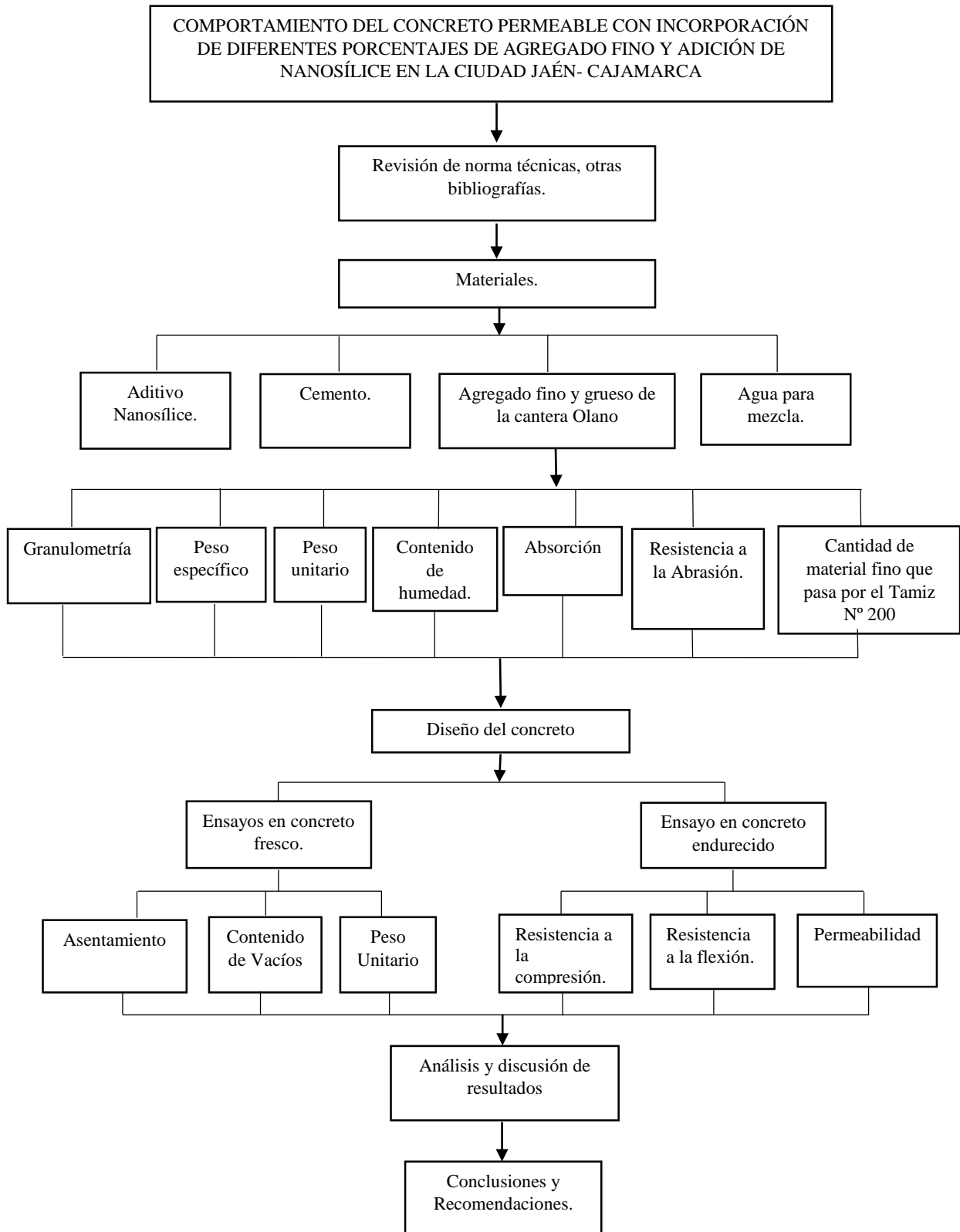


Figura 6: Esquema de secuencia de actividades.

3.8.1. MATERIALES.

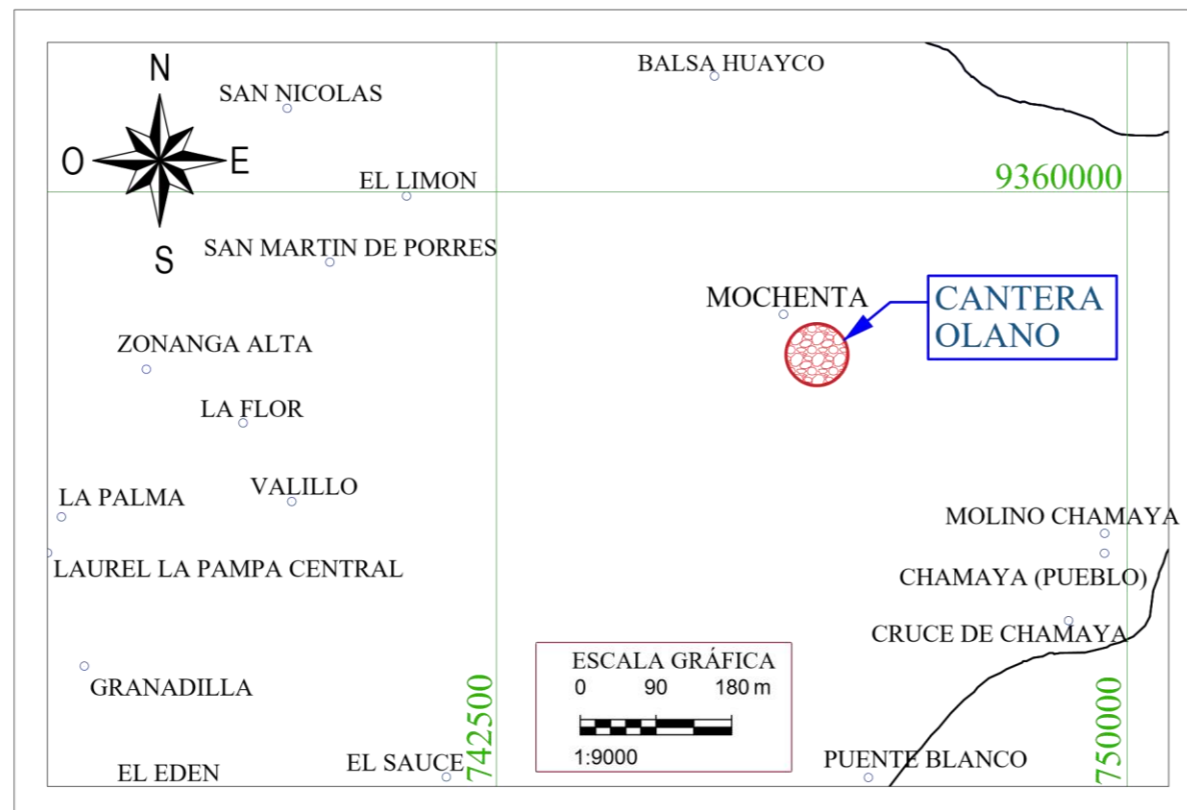
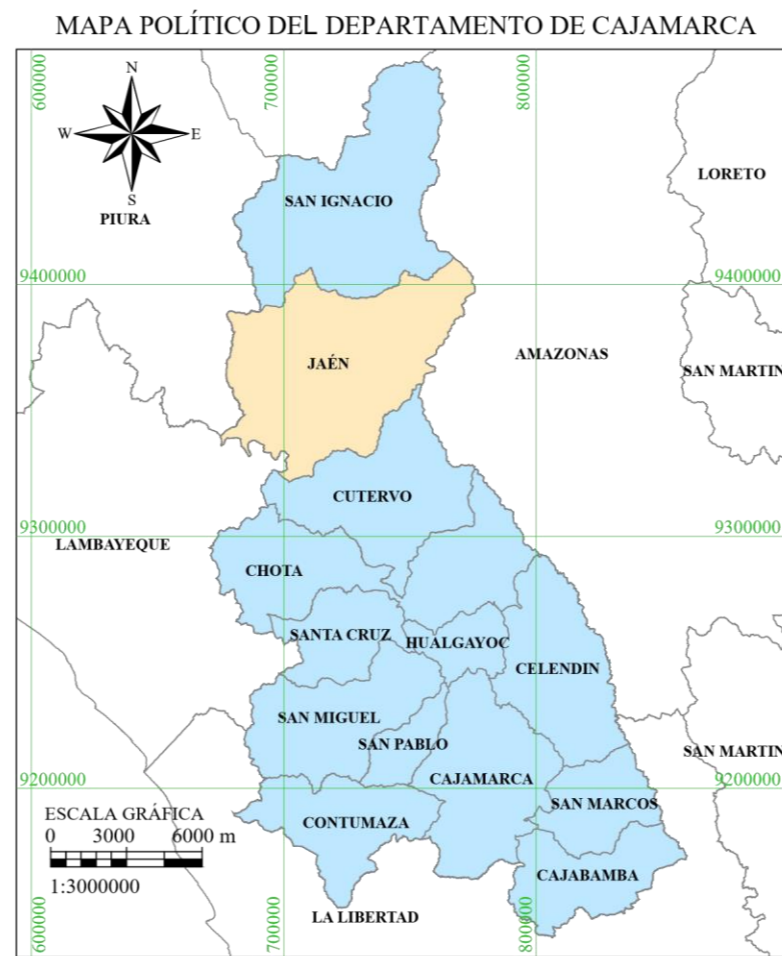
3.8.1.1. Agregados. El agregado utilizado para la elaboración de las mezclas de concreto permeable proviene de la cantera Olano, de origen pluvial extraídos del río Chamaya; los agregados de esta cantera son uno de los más empleados en el ámbito de construcción en la ciudad de Jaén.

Ubicación de la cantera Olano:

Localidad : Mochenta
Distrito : Jaén
Provincia : Jaén
Departamento : Cajamarca.

Coordenadas UTM.

Norte : 9358062.49
Este : 746307.98
Zona : 17M
Datum : WGS-84
Altitud : 698m.s.n.m



COORDENADAS UTM SISTEMA GEODÉSICO: WGS84 ZONA: 17M	
Norte	: 9358062.49
Este	: 746307.98

LEYENDA	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	LOCALIDADES
	CANTERA OLANO

Figura 7: Plano de ubicación de la cantera Olano.



Figura 8: Imagen satelital de la cantera Olano.

La norma NTP 400.010 indica, que la cantidad de muestra a obtener, debe ser suficiente para ejecutar la cantidad de ensayos a los que va estar sujeto los agregados, y las proporciones necesarias de muestra están indicadas en las NTPs, para los ensayos de control y aceptación; asimismo, se redujo la cantidad de muestra a la cantidad necesaria para el tipo de ensayo a realizarse, siguiendo el método del cuarteo indicado en norma ASTM C 702.

3.8.1.2. Agregado grueso utilizado.

Se utilizó agregado grueso de la cantera Olano, cuyo tamaño nominal es de 1", con un peso específico de 2.66 g/cm^3 , su peso unitario compactado es de 1569.33 kg/m^3 y un porcentaje de absorción de 0.80%.



Figura 9: *Agregado grueso.*

3.8.1.3. Agregado fino utilizado.

El agregado fino utilizado, tienen un módulo de finuras de 2.58, cuyo peso específico es de 2.36 g/cm^3 y su peso unitario compactado de 1728.61 kg/m^3 , con un porcentaje de absorción de 3.52%.



Figura 10: *Agregado fino.*

3.8.1.4. Cemento.

El cemento empleado para la elaboración de los diseños de mezcla de esta investigación, es cemento Portland Tipo I, Pacasmayo S.A.A. Este tipo de cemento es empleado en construcciones que no requieren solicitaciones especiales, además cumple con lo indicado en la NTP 334.009 (2020) y ASTM C150. Posee un peso específico de 3.12 g/cm^3 .



Figura 11: *Cemento Portland Tipo I.*

3.8.1.5. Aditivo Nanosílíce.

Se empleó el aditivo Nanosílíce, de la empresa Ulmen, denominado GAIA Nanosílíce, cumple con requerimientos de la norma técnica ASTM C – 494 tipos F, tiene la propiedad de incrementar la resistencia inicial y final del concreto, presenta permeabilidad nula incrementando la durabilidad, según su especificación tiene un peso específico de 1.03 gr/ml.



Figura 12: *Aditivo GAIA - Nanosílíce.*

3.8.1.6. Agua para mezcla.

El agua empleada para la elaboración de las mezclas y posterior curado, pertenece a la red de agua potable que abastece a la ciudad de Jaén-Cajamarca, cumple con los requisitos de la norma NTP 339.088 (Métodos de prueba estándar para el pH del agua).

3.8.2. DISEÑO DEL CONCRETO PERMEABLE.

El procedimiento para diseñar una mezcla de concreto permeable, se basa principalmente, en encontrar el volumen de pasta, que se necesita para unir las partículas de los agregados; al mismo tiempo mantener la resistencia y la estructura de vacíos necesaria (ACI 522R-10, 2010).

Para el diseño del concreto permeable, se emplearon algunos criterios establecidos en la norma ACI 522 R, como también otros estudios experimentales realizados sobre el diseño de mezclas de este tipo de concreto, como el desarrollado por Castro, Solminihac, Videla y Fernández (2009), que muestra ecuaciones deducidas a partir del estudio del comportamiento de 18 mezclas de concreto permeable, con relaciones de agua/cemento entre 0.29 y 0.41. El sistema de dosificación, está basado en la cantidad disponible de vacíos inicialmente en un árido, el cual se reduce al incorporar la pasta de cemento; teóricamente indica, que, si se emplea un árido de elevado contenido de vacíos, por ejemplo 40%, y se incorpora un volumen de pasta de cemento igual al 25% del volumen total, la pasta llenará parte del vacío disponible, quedando únicamente un 15% de vacíos. Castro, Solminihac, Videla y Fernández (2009) también indican, que en la práctica cuando el concreto es compactado, se incrementará el volumen del agregado, por lo tanto, se tendrá un mayor volumen final; para explicar dicha situación presentan un esquema, mostrado en la figura N° 13.

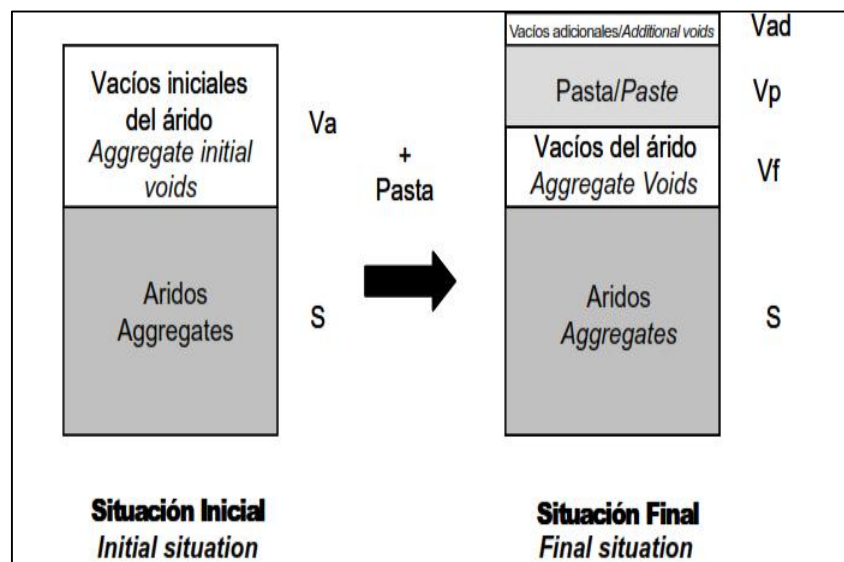


Figura 13: Efecto de la inclusión de pasta de cemento en el árido con alto contenido inicial de vacíos.

Fuente: Castro, Solminihac, Videla, & Fernández, 2009.

Se elaboró un diseño de mezcla sin adición de aditivo y agregado fino denominado CP-AF0-N0, el cual cumplió con los parámetros de un concreto permeable; en base al diseño sin adiciones, se incorporó aditivo Nanosílice al 0.5% y 1 % con respecto al peso del cemento, mezclas denominadas CP-AF0-N0.5 y CP-AF0-N1; posteriormente se adicionó el 5% y 10% de agregado fino, con respecto al volumen del agregado total, a las mezclas antes descritas; de esta manera evaluar el comportamiento que tiene, con las adiciones de aditivo Nanosílice y agregado fino, analizando la variación de su comportamiento mecánico de resistencia a la flexión y compresión, y su comportamiento hidráulico, obteniendo su coeficiente de permeabilidad. Los procedimientos para el diseño de mezclas elegido, están en relación de las características de los agregados de la cantera Olano, propuesta para este estudio, cuyos cálculos se muestran en el Anexo N°02.

3.8.2.1.Consideraciones iniciales para el diseño de mezcla de concreto permeable.

A. Del agregado grueso.

Se realizaron los ensayos del agregado grueso, provenientes de la cantera Olano, con la finalidad de conocer sus propiedades como peso específico, peso unitario compactado y suelto, porcentaje de absorción, contenido de humedad y granulometría del agregado grueso que permite conocer su Huso y tamaño máximo nominal; las propiedades del agregado, sirvieron para determinar la cantidad requerida en un metro cúbico de mezcla.

B. Del agregado Fino.

De igual forma, es necesario conocer las propiedades del agregado fino a emplear, como el peso unitario, peso específico, porcentaje de absorción y contenido de humedad. El porcentaje de agregado fino se expresa como porcentaje del volumen global del agregado, dado por la relación del volumen de agregado fino/volumen de agregado global (a/A), (Jacinto, 2021).

La presente investigación, busca conocer la variación de las propiedades del concreto permeable empleando diferentes porcentajes de agregado fino; asimismo, cabe indicar que existen estudios donde establecen un rango de uso del agregado fino, sin embargo, para la presente investigación, la variación de los porcentajes serán 0%, 5% y 10% con respecto al volumen del agregado total, por tanto, se conoce la relación de a/A .

C. Del cemento.

Se empleó el cemento portland tipo I, Pacasmayo S.A.A, tiene un peso específico de 3.12 g/cm^3 , característica brindada por la empresa; conocer esta característica es necesaria para calcular el volumen que ocupará el cemento, en la mezcla del concreto permeable.

D. Del aditivo.

El aditivo empleado es Nanosílice, denominado GAIA Nanosílice, de la empresa Ulmen, dentro de sus especificaciones técnicas indica que su densidad es de 1.03gr/ml y cumple con la norma ASTM C494 tipo F. Para esta investigación, donde se estudió el comportamiento del concreto permeable, evaluando sus propiedades en estado fresco y endurecido, con adiciones en la mezcla de agregado fino y aditivo Nanosílice, se empleó 0.5% y 1% de aditivo con respecto al peso del cemento.

E. Resistencia a compresión y flexión.

La investigación, tiene como objetivo general determinar la influencia en las propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable, con diferentes porcentajes de agregado fino y aditivo Nanosílice, lo que implica, evaluar el comportamiento de resistencia a compresión y flexión de las mezclas en estudio, y verificar si se encuentran dentro de las características dadas por la norma ACI522R-10; asimismo, también se verificó si alcanzan las resistencias mínimas a compresión de 175 kg/cm^2 y flexión de 34 kg/cm^2 , para ser empleado en pavimentos especiales y para vehículos livianos según la norma CE 010.

Tabla 14
Requisitos para pavimentos especiales.

Elemento /	Tipo de pavimento	Aceras o veredas	Pasajes peatonales	Ciclovías
	Sub-rasante		95% de compactación: Suelos Granulares - Próctor modificado. Suelos cohesivos - Próctor estándar. Espesor compactado: ≥ 150 mm	Suelos
	Base		CBR ≥ 30%	CBR ≥ 60%
Espesor de la capa de rodadura	Asfáltico		≥ 30 mm	
	Concreto de cemento Portland		≥ 100 mm	
	Adoquines	≥ 40mm (Se deberá apoyar sobre una cama de arena fina, de espesor comprendido entre 25 y 40mm)		
Material	Asfáltico		Concreto asfáltico*	
	Concreto de cemento Portland	f'c ≥ 17.5 MPa (175 kg/cm ²)		
	Adoquines	f'c ≥ 32 Mpa (320 kg/cm ²)		N.R.**

Fuente: Norma CE 010, 2018.

Tabla 15
Requisitos mínimos según tipo de pavimentos.

Elemento /	Tipo de pavimento	Flexibles	Rígido	Adoquines
	Capa Subrasante			
	Capa Subbase	CBR ≥ 40% 100% compactación Próctor Modificado	CBR ≥ 30% compactación Próctor Modificado	100% compactación Próctor Modificado
	Capa Base	CBR ≥ 80% para el 100% de compactación Próctor Modificado	NR	CBR ≥ 80% para el 100% de compactación Próctor Modificado
	Riego de Imprimación	Penetración de la imprimación ≥ 5mm	NA	NA
	Cama de Apoyo	NA	Capa de subbase o capa de base.	Cama de arena fina, de espesor comprendido entre 25 y 40mm.
Espesor de la capa de rodadura	Vías locales	CA ≥ 50mm		≥ 60 mm
	Vías colectoras	CA ≥ 60mm	≥ 150mm	≥ 80 mm
	Vías arteriales	CA ≥ 70mm		NR
	Vías expresas	CA ≥ 80mm	≥ 200 mm	NR
Resistencia Mínima	Vías locales	NA	MR ≥ 3.4 Mpa (34 kg/cm ²)	f'c ≥ 38 MPa (380 kg/cm ²)
	Vías colectoras			
	Vías arteriales	NA	MR ≥ 3.4 Mpa (34 kg/cm ²)	
	Vías expresas			

Fuente: Norma CE 010, 2018.

F. Capacidad de filtración requerida.

El estudio, tiene como finalidad evaluar la variación del comportamiento hidráulico del concreto permeable, con las adiciones propuestas de agregado fino y aditivo Nanosílice. Para que las mezclas en estudio puedan ser consideradas en la construcción de pavimentos, como una alternativa de manejo de escorrentías, también deberían tener la capacidad de filtrar la intensidad de lluvia representativa para la ciudad de Jaén.

3.8.2.2. Procedimiento para el diseño.

Para encontrar la cantidad de materiales que componen la mezcla del concreto permeables, primero es necesario conocer las propiedades de éstos, las cuales fueron encontradas en los ensayos realizados. Para el diseño se empleó las tablas y gráficos de la norma ACI -522R, obtenidos mediante pruebas y errores en laboratorios; además, se utilizó como referencia, la metodología de diseños de otros estudios realizados en concreto permeable, como el realizado por Castro, Solminihac, Videla y Fernández en el año 2009.

A. Relación agua/ cemento (a/c).

Tomando las recomendaciones del comité ACI 211.3R-02 y ACI 522R.1-10, que la relación agua/ cemento debe estar entre 0.26 – 0.45, y considerando que la relación a/c para esta investigación es un valor constante, se realizó la selección mediante ensayos previos, con valores de 0.40; 0.35 y 0.30, verificando la fluidez de la pasta, como también el recubrimiento producido por esta en el agregado. Con el 0.40 y 0.35 de relación a/c se evidenció fluidez de la pasta obstruyendo los poros, lo cual no se evidenció con la relación de 0.30, por lo que se seleccionó este valor, para el diseño de mezclas del presente estudio.

B. Porcentaje de Vacíos.

Teniendo en consideración el criterio anterior sobre la capacidad de filtración, y tomando como referencia el estudio realizado por Jimmy Gabriel Valdivia Guevara en el año 2014, donde en base a los datos pluviométricos de la estación Cascarilla, Jaén y Chontalí, realiza el cálculo de las intensidades máximas y las curvas IDF; tomando 20 años como tiempo de retorno y duración de precipitación menor a 10 minutos, se determina una intensidad de lluvia 90mm/hora.

Para la intensidad de lluvia asumida de 90mm/h (0.059 in/min), se obtiene un 10% de vacíos, pero considerando lo indicado por la norma ACI – 522R, que el porcentaje mínimo de contenido de aire, de un concreto permeables es del 15%, se tomó el porcentaje mínimo indicado en la norma, para el diseño de mezcla del presente estudio.

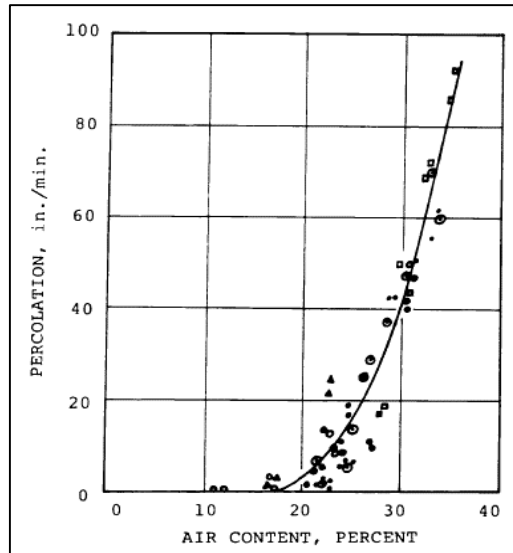


Figura 14: Relación entre contenido de aire y capacidad de filtración.
Fuente: ACI 522R

C. Volumen de pasta.

Según Castro, Solminihac, Videla y Fernández (2009), en su investigación desarrolla un sistema de dosificación, basada en la cantidad de vacíos disponibles iniciales en los agregados, el cual es reducido por la pasta de cemento. Indica que, para un volumen unitario de árido, la densidad de la mezcla se obtiene sumando la masa de los componentes y dividiéndolo en el volumen unitario, a esto lo denomina como densidad teórica. También indican que, en la práctica, durante el proceso de mezclado y compactado, se incrementa el volumen original del árido, siendo este mayor al volumen teórico inicial, a este incremento de volumen lo relacionan mediante la siguiente ecuación:

$$FC = \frac{\text{Densidad real}}{\text{Densidad teórica}} \dots \dots \dots (15)$$

A partir de los resultados obtenidos en la investigación de Castro, Solminihac, Videla y Fernández (2009), establecen la ecuación del factor de compactación en función a la relación a/c, indican que el valor del FC estaría dentro de los rangos de 0.84 y 0.99.

$$FC = -3.37x\left(\frac{a}{c}\right)^2 + 3.49x\left(\frac{a}{c}\right) + 0.11 \dots \dots \dots (16)$$

Pomalaza (2017) en su investigación, empleando el método de diseño de Castro, Solminihaç, Videla y Fernández (2009), indica las siguientes expresiones para encontrar el volumen de pasta en 1m³ concreto permeable.

$$\text{Porosidad}_{\text{Esqueleto granular}} = \left(1 - \frac{\text{Peso unitario compactado}_{\text{Grava}} \times FC}{\text{Densidad real}_{\text{Grava}}}\right) \dots \dots \dots (17)$$

$$V_p = \text{Porosidad}_{\text{Esq.Granular}} - \text{Porcentaje de vacíos de diseño} \dots \dots \dots (18)$$

Donde:

V_p : Volumen de la pasta en m³

D. Peso y Volumen del Cemento.

Conociendo el volumen de la pasta y teniendo la relación a/c, es posible encontrar el volumen y peso del cemento, para 1m³ de mezcla de concreto permeable, con las siguientes expresiones (Guizado y Piero 2017).

$$V_p = V_c + V_a \dots \dots \dots (19)$$

$$P_c = \frac{V_p}{\frac{1}{p.e_c} + a/c} \times 1000 \dots \dots \dots (20)$$

$$V_p = \frac{P_c}{p.e_c \times 1000} + \frac{P_a}{D_a} \dots \dots \dots (21)$$

$$V_c = \frac{P_c}{p.e_c \times 1000} \dots \dots \dots (22)$$

Donde:

V_p : Volumen de la pasta en m³.

V_c: Volumen del cemento en m³.

V_a: Volumen del agua en m³.

P_c: Peso del cemento en kg.

p_{e_c}: Peso específico del cemento en g/cm³.

a/c: Relación agua/cemento (adimensional)

D_a: Densidad del agua en kg/m³.

P_a: Peso el agua en kg.

E. Peso y volumen de agua.

Conociendo la relación a/c y el peso del cemento, es posible calcular el peso y volumen de agua para 1 m³ de mezcla; mediante la expresión siguiente (Guizado y Piero, 2017).

$$P_a = P_c \times a/c \dots\dots\dots (23)$$

$$V_a = \frac{P_a}{D_a} \dots\dots\dots (24)$$

Donde:

V_a: Volumen del agua en m³.

P_c: Peso del cemento en kg.

P_a: Peso el agua en kg.

a/c: Relación agua/cemento (adimensional)

D_a: Densidad del agua en kg/m³

F. Cálculo del agregado grueso.

Para encontrar la cantidad de agregado grueso necesario, para 1 m³ de mezcla, se aplicó la siguiente fórmula.

$$V_{AG} = 1 - (V_c + V_a + V_{vacíos}) \dots\dots\dots (25)$$

Donde:

V_{AG}: Volumen del agregado grueso en m³

V_c : Volumen del cemento en m³

V_a : Volumen del agua en m³

V_{vacíos} : Volumen vacíos de diseño.

En la investigación, el volumen de vacío es de 15% de 1 m³ de concreto permeable.

El peso seco del agregado grueso, se calculó mediante la siguiente expresión (Guizado y Piero, 2017).

$$P.S_{A.G} = V.S_{A.G} \times p.e_{A.G} \times 1000 \dots\dots\dots (26)$$

Donde:

$P.S_{A.G}$: Peso del agregado grueso seco en kg.

$V.S_{A.G}$: Volumen del agregado grueso seco en m³.

$p.e_{A.G}$: Peso específico del agregado grueso seco en g/cm³.

G. Cálculo del Peso y Volumen del Agregado Fino.

Una vez calculado el volumen de agregado grueso y conociendo la relación a/A (agregado fino/agregado global), es posible calcular el peso y volumen de agregado fino. Para esta investigación la relación a/A están determinadas, puesto que se desea estudiar el comportamiento de concreto permeable mediante la evaluación de sus propiedades en estado fresco y endurecido. El cálculo se realizó mediante el uso de la siguiente expresión (Guizado y Piero, 2017).

$$V.S_{AF} = V.S_{A.G} \times \frac{a/A}{1 - a/A} \dots \dots \dots (27)$$

$$P.S_{A.F} = V.S_{A.F} \times p.e_{A.F} * 1000 \dots \dots \dots (28)$$

Donde:

$V.S_{AF}$: Volumen del agregado fino seco en m³.

a/A : Relación entre el volumen de agregado fino y volumen del agregado global (adimensional).

$P.S_{A.F}$: Peso del agregado fino seco en kg

$p.e_{A.F}$: Peso específico del agregado fino seco en g/cm³.

H. Cálculo del peso de aditivo.

El aditivo que se empleó en la presente investigación es Nanosílce, de la empresa Ulmen, denominado GAIA Nanosílce, los porcentajes empleados están determinados entre el 0.5% y 1% con respecto al peso del cemento. Se calculó el peso del aditivo mediante la siguiente expresión (Jacinto, 2021).

$$P_c = \frac{P_{ad}}{A_d} \times 100\% \dots \dots \dots (29)$$

Donde:

Pc : Peso del cemento kg

Pad : Peso del aditivo kg

Ad : Relación entre el peso del aditivo y peso del cemento en %

I. Pesos secos de los materiales por m3 y corrección por humedad.

Con los resultados de las cantidades de los materiales, se hace el resumen en peso y volumen en estado seco. Sin embargo, se debe realizar la corrección de la cantidad de material anteriormente encontrado, considerando el aporte de agua de los agregados al diseño, debido a su contenido de humedad y absorción.

Para esta corrección, asumimos que los agregados están saturados durante la preparación de la mezcla; se calcula mediante las fórmulas siguientes (Abanto, 2009 citado por Jacinto, 2021).

Peso húmedo de los agregados:

$$P.W_{A.G} = \left(1 + \frac{W_{A.G}}{100}\right) X P.S_{A.G} \dots\dots\dots (30)$$

$$P.W_{A.F} = \left(1 + \frac{W_{A.F}}{100}\right) X P.S_{A.F} \dots\dots\dots (31)$$

Donde:

P.W_{A.G}: Peso del agregado grueso húmedo en kg.

W_{A.G}: Humedad del agregado grueso en %.

P.W_{A.F}: Peso del agregado fino húmedo en kg.

W_{A.F}: Humedad del agregado fino en %.

Agua efectiva de mezcla:

$$W.S_{A.G} = W_{A.G} - A_{A.G} \dots\dots\dots (32)$$

$$W.S_{A.F} = W_{A.F} - A_{A.F} \dots\dots\dots (33)$$

$$A.W_{A.G} = W.S_{A.G} X P.S_{A.G} \dots\dots\dots (34)$$

$$A.W_{A.F} = W.S_{A.F} X P.S_{A.F} \dots\dots\dots (35)$$

$$P_{a.e} = P_a - (A.W_{A.G} + A.W_{A.F}) \dots\dots\dots (36)$$

Donde:

$W_{A.G}$: Humedad superficial del agregado grueso en %.

$A_{A.G}$: Absorción del agregado grueso en %.

$V_{W_{A.G}}$: Volumen del agregado grueso húmedo en m³.

$p.e.sss_{A.F}$: Peso específico SSS del agregado fino en g/cm³.

$W_{S_{A.F}}$: Humedad superficial del agregado fino en %.

$A_{A.F}$: Absorción del agregado fino en %.

$A.W_{A.G}$: Aporte de humedad del agregado grueso en kg.

$A.W_{A.F}$: Aporte de humedad del agregado fino en kg.

$P_{a.e}$: Peso del agua efectiva en kg.

P_a : Peso el agua en kg.

Volumen húmedo de los agregados y del agua efectiva de mezcla.

$$V_{a.e} = \frac{P_{a.e}}{D_a} \dots\dots\dots (37)$$

$$V.W_{A.G} = \frac{P.W_{A.G}}{p.e.sss_{A.G} \times 1000} \dots\dots\dots (38)$$

$$V.W_{A.F} = \frac{P.W_{A.F}}{p.e.sss_{A.F} \times 1000} \dots\dots\dots (39)$$

Donde:

$V_{W_{A.F}}$: Volumen del agregado fino húmedo en m³.

$p.e.sss_{A.G}$: Peso específico SSS del agregado grueso en g/cm³.

$V_{a.e}$: Volumen del agua efectiva en m³.

D_a : Densidad del agua en kg/m³

3.8.3. ENSAYOS DEL CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO.

Conocer el comportamiento del concreto permeable, con la adición de diferentes porcentajes de agregado fino y aditivo Nanosílice, consiste en evalúa sus propiedades mecánicas e hidráulicas en estado fresco y endurecido, mediante ensayos de laboratorio.

3.8.3.1. Ensayos del concreto fresco.

A. Asentamiento (Slump).

Para realizar el presente ensayo, se siguió lo indicado en la NTP 339.035; el ensayo se realiza en mezcla en estado fresco, y nos da un alcance de la trabajabilidad de la misma.

i. Instrumentos empleados.

- Varilla compactadora de 5/8" de diámetro, longitud 24", fierro liso.
- Cono de Abrams.
- Wincha, regla, Cucharón.

ii. Procedimiento del ensayo.

- Se humedece el cono de Abrams y se coloca sobre una superficie plan rígida y humedecida.
- Se sujeta el molde con los pies, se llena el cono por capas, cada capa corresponde a un tercio del cono, se compacta cada una con 25 golpes de manera uniforme.
- Llena la última capa y compactada con los 25 golpes, se procede alisar la superficie, quedando la muestra al ras de cono.
- Se retira el molde de manera vertical, sin producir movimientos laterales.
- Se procede a medir la altura del molde y la altura de la muestra, la diferencia de estas es el asentamiento producido.



Figura 15: *Ensayo de Asentamiento (slump).*

B. Contenido de vacíos y densidad del concreto permeable en estado fresco.

La NTP 339.230, indica los procedimientos para encontrar mediante ensayos, el contenido de vacíos y la densidad del concreto permeable en estado fresco, para

agregados de TMN menores a 2.5 cm, el ensayo sirve para verificar las dosificaciones de los materiales de la mezcla, aunque los valores obtenidos varían según el método de compactación empleada. Puesto que los valores varían de acuerdo a la fuerza de compactación, y también es influenciado por la persona que realiza el ensayo, se analizó la densidad de cada espécimen elaborado para los ensayos a compresión, y obtener el porcentaje de vacíos de cada uno, siguiendo el procedimiento establecido.

i. Instrumentos.

- Martillo Próctor estándar con una altura de caída 304.8 ± 1 mm y una masa de 2495 ± 23 g.
- Martillo Marshall con una altura de caída 457 ± 1.3 mm y una masa de 4540 ± 10 g.
- La Olla Washington, capacidad mínima de 7 litros y una relación diámetro/altura igual a 0.75 a 1.25.
- Placa metálica y plana con un espesor mínimo de 0.6 cm con unas dimensiones en largo y anchos mayores en 5 cm al diámetro de la Olla Washington.
- Cucharón del tamaño adecuado para tomar muestras representativas, sin derramar concreto al momento del vaciado.

ii. Procedimiento:

- Pesar la Olla Washington vacía.
- En una superficie nivelada y estable se coloca la olla Washington.
- Se humedece la olla Washington, para evitar la absorción de agua de la mezcla.
- Se llena la olla Washington en dos capas, con un cucharón se vacía el concreto permeable en la olla de manera homogénea evitando la segregación.
- Para la consolidación se tienen dos procedimientos. A, se deja caer 20 veces el martillo Próctor estándar desde una altura de caída completa, los golpes serán distribuidas por toda la olla Washington. En el procedimiento B, se deja caer el Martillo Marshall 10 veces desde una altura de caída completa, de igual forma se distribuye los golpes por la superficie de la Olla Washington.
- Luego se llena una segunda capa con un exceso, se procede con la consolidación y se deja caer la mitad de golpes, para luego agregar concreto o retirar el exceso, y se continua con la consolidación hasta completar la totalidad de los golpes.
- Finalizada la consolidación se enraza la superficie con la plancha metálica y tratando de cubrir dos tercios de la superficie del molde y realizando movimientos de aserrado.

Para el cálculo de densidad del concreto permeable, se emplean las fórmulas establecidas en la NTP 339.230

$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m} \dots \dots \dots (40)$$

Donde:

Mc= Masa de recipiente con concreto en kg.

Mm=Masa de recipiente en kg.

Vm=Volumen de recipiente en m3.

D= Densidad del concreto permeable en kg/m3.

$$D = \frac{M_s}{V_s} \dots \dots \dots (41)$$

Donde:

Ms=Masa total de todos los componentes del concreto permeable en kg.

Vs=Volumen total todos los materiales del concreto permeable en m3.

$$U = \frac{T - D}{T} 100 \dots \dots \dots (42)$$

Donde:

T = Densidad teórica del concreto permeable en kg/m3.

D= Densidad del concreto permeable en kg/m3.

U= Contenido de vacíos en %.



Figura 16: Medición y pesado de molde más muestra.

C. Elaboración de especímenes y curado de concreto permeable.

La NTP 339.183 Establece los procedimientos para elaborar muestras con concreto compactado por apisonado o vibración. Se elaboró tres tipos de probetas para los ensayos de permeabilidad, ensayo de compresión y flexión.

i. Instrumentos.

- Molde cilíndrico de 6"x12" de metal o material rígido y no absorbente, de superficie interior liso, sin deformaciones.
- Molde prismático de 6"x 6" x 22" de metal u otro material rígido no absorbente.
- Molde cilíndrico de 4" x 8" con superficie interior lisa, de metal o material rígido y no absorbente, sin deformaciones.
- Martillo Próctor Estándar (5 libras)
- Balanza
- Mezcladora de concreto
- Pala, wincha, regla, guantes, tamices, baldes.

ii. Procedimiento

- Se realizó la limpieza del interior de la mezcladora y se secó, se pesó cada uno de los componentes de la mezcla, según diseño.
- Se colocó los moldes sobre una superficie nivelada y estable.
- Se limpia los moldes y se engrasa el interior para facilitar posteriormente el desmole de las probetas.
- Se agregó una porción de agua inicial a la mezcladora, posteriormente la arena y luego el agregado grueso, se procedió añadir el cemento y el agua restante, para las mezclas con aditivo Nanosílice, este se disuelve en el agua.
- Para la compactación o apisonado de las muestras, se tomó en cuenta estudios anteriores donde se elaboraron especímenes en laboratorios, además la NTP 339.183 indica que, para el método de consolidación de concretos con poco contenido de agua, se debe tomar como referencia su propia normativa. Para este procedimiento se tomó en cuenta los datos de la tabla 16, elaborado en base a la norma ACI -522R como lo indica Jacinto (2021) en su investigación.

Tabla 16

Numero de capas y golpes.

Tipo de Molde	Tipo de Martillo	# Capas	# Golpes
Cilíndrico 6"x12"	Próctor Estándar	3	16
Cilíndrico 4"x8"	Próctor Estándar	2	7
Cilíndrico 4"x4"	Próctor Estándar	1	7
Prismático 6"x6"x22"	Próctor Estándar	2	54

Fuente: Jacinto 2021

- Se realizó el consolidado con un martillo Próctor Estándar; para las muestras cilíndricas de 6"x12" se llena los moldes en tres capas y se realiza 16 golpes por capa; para las muestras de 4"x 8" se llena los moldes en dos capas y se realiza 7 golpes por capa; para muestra prismática de 6"x 6" x 22" se llena el molde en dos capas y se realizó 54 golpes por capa.
- Cuando el molde esté lleno, se debe enrazar la superficie del molde, para extraer el material excedente.
- Se procede a cubrir la superficie del molde con plástico, por un periodo de 24 horas, para evitar pérdidas de humedad. Transcurrido las 24 horas los especímenes son sacados de los moldes.
- Dentro de 30 minutos y 1 hora después de sacar las muestras de los moldes, son colocados en una poza o cilindro con agua, y se cubre la superficie con una manta plástica.

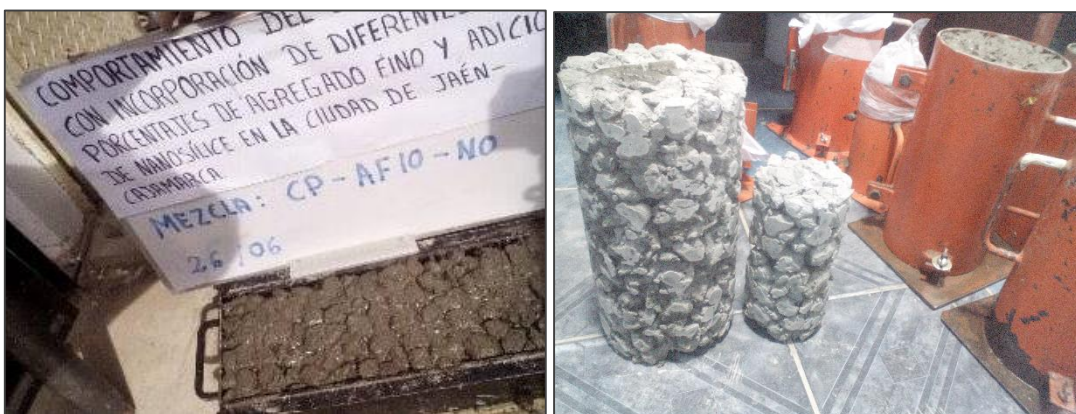


Figura 17: *Elaboración de probetas y vigas.*

3.8.3.2. Ensayos del concreto endurecido.

A. Resistencia a la compresión.

Se realizó según lo indicado en la NTP 339.034, donde se establece los procedimientos para encontrar la resistencia a compresión.

i. Equipos

- Máquina compresora.
- Wincha.
- Balanza.
- Vernier.
- Probeta cilíndrica de 6"x12".

ii. Procedimiento del ensayo.

El ensayo a la compresión, se realizó después de retirar la probeta de la poza o cilindro con agua, se mide la altura, el diámetro. Así mismo, se anota el código de la muestra, la fecha de elaboración de la probeta y fecha de realización de ensayo.

Para la rotura de las probetas se debe tener en cuenta las siguientes tolerancias:

Tabla 17

Tiempo de prueba de los especímenes y tolerancia.

Edad de ensayo	Tolerancia
24 horas	±0.5 h ó 2.1%
3 días	± 2 h ó 2.8 %
7 días	6 h ó 3.6%
28 días	± 20 h ó 3.0 %
90 días	± 40 h ó 2.2%

Referencia: NTP 339.034, 2015

Se coloca la probeta a ensayar en la plataforma de la máquina, centrada y se coloca la capa no adhesiva de neopreno en la probeta, luego se acerca el cabezal de la máquina a la capa no adhesiva y se aplica la carga a un rango de velocidad de 0.25 Mpa/segundo hasta la rotura de la probeta.

Culminado el ensayo, se verifica que tipo de fractura se ha producido, según el esquema de patrones de la NTP 339.034.

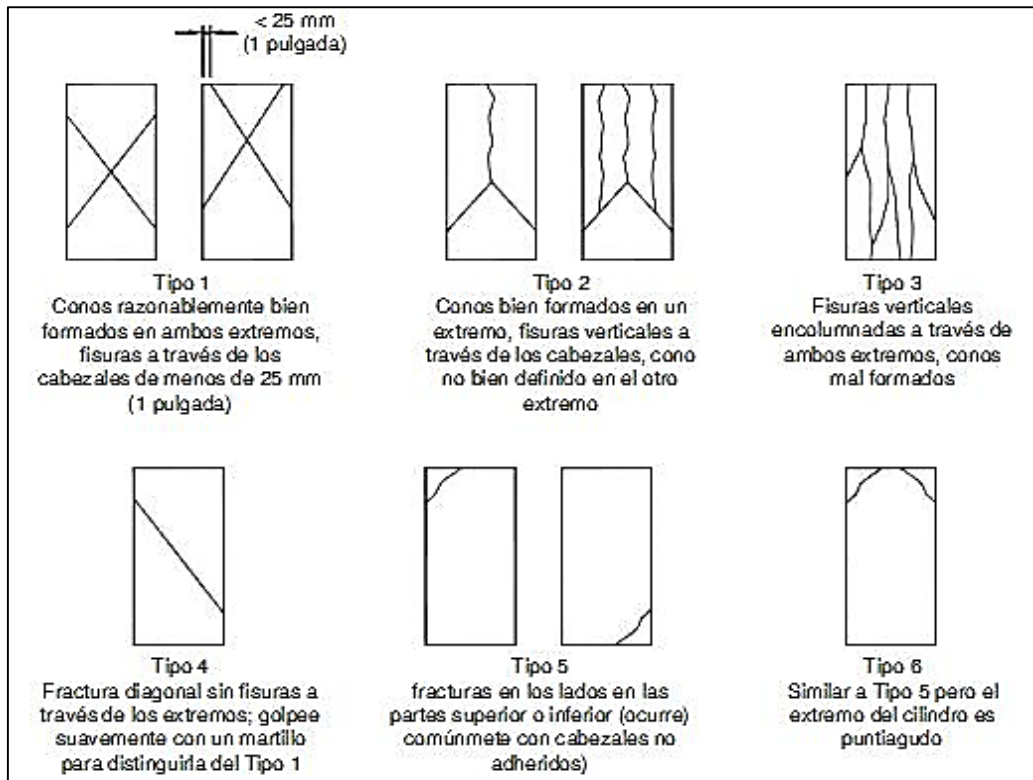


Figura 18: Esquema de los patrones de tipos de fracturas.

Fuente: Norma NTP 339.034 - 2015

Finalmente se calcula la resistencia mediante la siguiente fórmula dada por la NTP 339.034.

$$R_c = \frac{P}{S} \dots \dots \dots (43)$$

Donde:

R_c = Resistencia a compresión (Kg/cm²).

S = Superficie de carga (cm²).

P = Carga máxima (Kg).

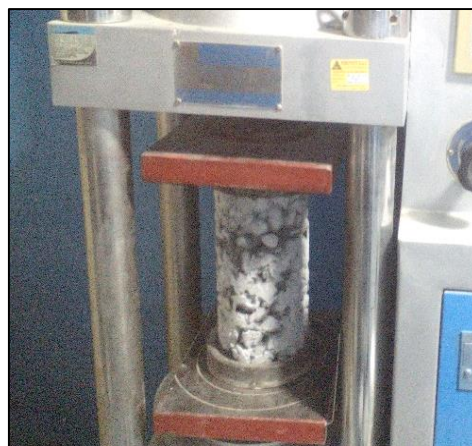


Figura 19: Ensayo de resistencia a la compresión.

B. Resistencia a la Flexión.

Para realizar este ensayo y encontrar el módulo de rotura, siguió los procedimientos indicado en la norma NTP 339.078, mediante la rotura de vigas simplemente apoyadas cargada a los tercios de su luz.

i. Equipos.

- Máquina de ensayo.
- Vigas de 6"x6"x20".
- Balanza, Wincha, Regla.

ii. Procedimiento del ensayo.

- Se mide y pesa la viga que será sometida al ensayo.
- Se anotar el código de la muestra, la fecha de elaboración de la viga y fecha de realización de ensayo.
- Se coloca la viga apoyada en la máquina y se aplica la carga a los tercios de viga, a una velocidad ente 0.9 Mpa/min y 1.2 Mpa/min, hasta la rotura de viga.

Lugo se calcula el módulo de rotura mediante las fórmulas dadas por la norma NTP 339.078, según sea el caso:

- a. Fractura dentro del tercio medio de luz libre de la viga.

$$M_r = \frac{PL}{bh^2} \dots \dots \dots (44)$$

- b. Fractura fuera del tercio medio de la viga, a una distancia de este no mayor del 5% de luz libre.

$$M_r = \frac{3Pa}{bh^2} \dots \dots \dots (45)$$

Donde:

Mr: Modulo de rotura kg/cm².

P: Máxima carga aplicada por la máquina de ensayo kg.

L: Longitud libre entre apoyos en metros.

b: Ancho promedio de la muestra en metros.

h: Espesor de la muestra.

a: Distancia promedio entre la línea de fractura el soporte más cercano, medida sobre la zona de tensión en metros.

- c. Si la falla ocurre fuera del tercio medio y a una distancia a mayor del 5% de la luz libre, se rechaza el ensayo.



Figura 20 Ensayo de Resistencia a la flexión.

C. Permeabilidad del concreto.

Es una de sus propiedades más importantes del concreto permeable, que es la capacidad que tiene para filtrar el agua por su estructura.

La norma ACI 522-R, da a conocer como evaluar esta propiedad del concreto permeable, para ello se emplea un permeámetro. Para esta investigación, se elaboró el permeámetro con la finalidad realizar el ensayo de permeabilidad; teniendo como guía diversas bibliografías donde explica el proceso de armado, y se verificó que cumplen con las características establecidas por la norma ACI- 522R, (Guizado y Piero, 2017).

i. Materiales.

Materiales para la elaboración del permeámetro:

- Tapón 4" (1 und)
- Tee de 4" a 2" (1 und)
- Válvula globo de 1 ½" (1 und)
- Reducción de 2" a 1 ½" (1 und)
- Niple 1 ½" x 6" (1 und)
- Adaptador 1 ½" (1 und)
- Codo 90°x 1 1/2" (1 und)
- Tubo 1 ½" (1 und)
- Abrazadera 5" (1 und)

Materiales para el ensayo.

- Probeta de 4"x8"
- Cronómetro.

ii. Procedimiento del ensayo.

- Luego de elaborado el permeámetro, se procedió a realizar el ensayo con las muestras de 4"x8", esta se envuelve con papel celofán y es colocado dentro de una tubería, con las mismas dimensiones para evitar la pérdida de líquido.
- Se coloca la muestra dentro de la tee, verificando que no exista la posibilidad de fuga del líquido, se coloca sobre la muestra un tubo de control PVC de 4" de diámetro, esta unión se asegura con la abrazadera de 5".
- Se agrega agua para verificar su salida por el tubo de 1 ½", y cuando el nivel del tubo de control tenga el mismo nivel que el tubo de drenaje, indicador que la muestra se encuentra saturada, se procederá a cerrar la válvula y se llenará el tubo de control, hasta una altura inicial de ensayo (h_1) a un cabezal final h_2 .

Realizado el ensayo, empleando la fórmula para encontrar el coeficiente de permeabilidad, se determina la capacidad de filtración de la muestra.



Figura 21: *Elaboración del permeámetro para el ensayo.*

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

4.1.1. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS DE LA CANTERA OLANO.

Las propiedades del agregado fino y grueso de la cantera Olano de la ciudad de Jaén, se determinaron mediante ensayos, realizados en el laboratorio “GEOCON VIAL”.

4.1.1.1. Propiedades de agregado fino.

En la tabla N° 18 se muestra las propiedades del agregado fino, obtenidas en los ensayos de laboratorio. En el anexo 01 se muestra el cálculo de las mismas.

Tabla 18

Propiedades del agregado fino de la cantera Olano.

Propiedades	Agregado fino
Material Fino que pasa el tamiz N° 200.	6.10%
MF/MG	2.58
Contenido de humedad del agregado %	4.37
Peso específico (g/cm ³)	2.356
Peso específico de la masa s.s.s. (g/cm ³)	2.439
Peso específico aparente (g/cm ³)	2.57
Porcentaje de absorción (%)	3.52%
Peso unitario suelto seco (kg/m ³)	1564.16
Peso unitario compactado seco (kg/m ³)	1728.61

4.1.1.2. Propiedades del agregado grueso.

En la tabla N° 19, se muestra las propiedades del agregado grueso de la cantera Olano, obtenidas de los ensayos de laboratorio. En el anexo 01 se encuentra el cálculo de estas propiedades.

Tabla 19*Propiedades del agregado grueso.*

Propiedades	Agregado grueso
Material Fino que pasa el tamiz N° 200.	0.40%
MF/MG	7.56
TMN	1"
HUSO	56
Contenido de humedad del agregado %	0.3
Peso específico (g/cm ³)	2.666
Peso específico de la masa s.s.s. (g/cm ³)	2.687
Peso específico aparente (g/cm ³)	2.724
Porcentaje de absorción (%)	0.80%
Peso unitario suelto seco (kg/m ³)	1429.36
Peso unitario compactado seco (kg/m ³)	1569.33
% De desgaste por abrasión	21.20%

4.1.2. DISEÑO DE MEZCLAS.

Los procedimientos del diseño de mezclas se encuentran en el anexo 04. Los resultados obtenidos, del proporcionamiento de los materiales, por metro cúbico de mezcla de concreto permeable, se muestra en la tabla 20.

Tabla 20*Proporcionamiento de diseños de mezcla de concreto permeable.*

Tipo de mezcla	a/c	Materiales				
		Cemento (kg/m ³)	Ag. Fino (kg/m ³)	Ag. Grueso (kg/m ³)	Agua (lt/m ³)	Aditivo Nanosílice (kg)
CP-AF0-N0	0.30	559.98	0.00	1343.35	175.09	0.00
CP-AF0-N0.5	0.30	559.98	0.00	1343.35	148.83	2.80
CP-AF0-N1	0.30	559.98	0.00	1343.35	131.32	5.60
CP-AF5-N0	0.30	559.98	64.66	1272.65	174.57	0.00
CP-AF10-N0	0.30	559.98	136.50	1194.09	173.99	0.00
CP-AF5-N0.5	0.30	559.98	64.66	1272.65	148.38	2.80
CP-AF10-N0.5	0.30	559.98	136.50	1194.09	173.99	2.80
CP-AF5-N1	0.30	559.98	64.66	1272.65	130.93	5.60
CP-AF10-N1	0.30	559.98	136.50	1194.09	130.49	5.60

4.1.3. PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO FRESCO.

4.1.3.1. Asentamiento de las mezclas.

Tabla 21

Asentamiento del concreto permeable, según tipo de mezcla.

Código de mezcla.	CP-AF0-N0	CP-AF5-N0	CP-AF10-N0	CP-AF0-N0.5	CP-AF5-N0.5	CP-AF10-N0.5	CP-AF0-N1	CP-AF5-N1	CP-AF10-N1
Promedio (mm)	0.00	2.00	3.00	0.00	3.00	4.00	2.00	3.00	5.00

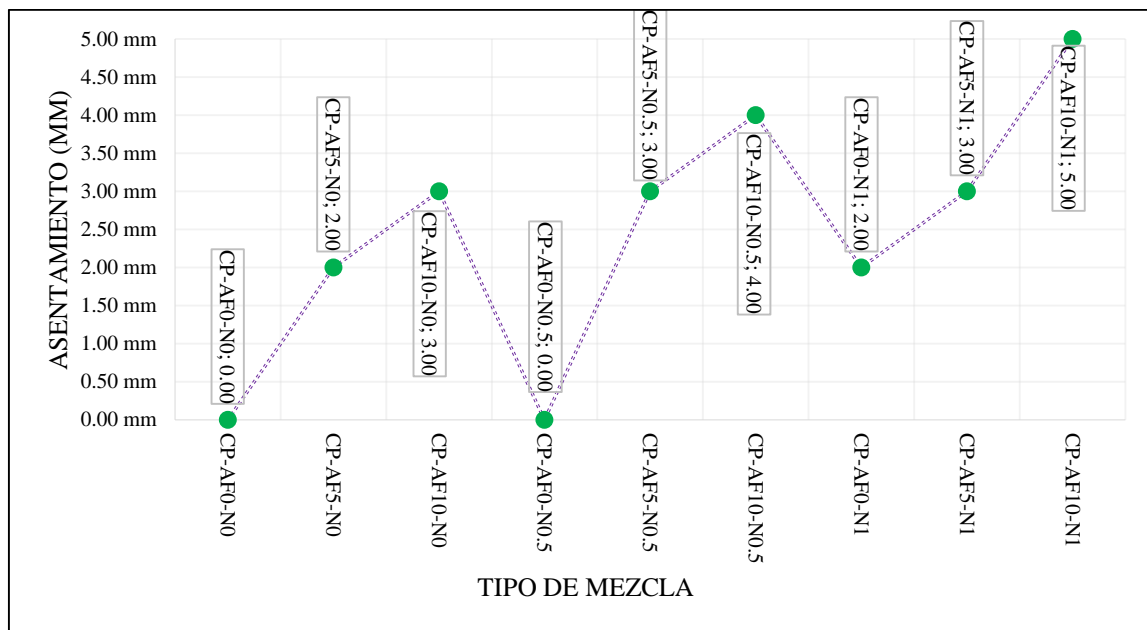


Figura 22: *Asentamiento vs tipo de mezclas en estudio.*

4.1.3.2. Densidad del concreto permeable.

Tabla 22

Densidad del concreto permeable en estado fresco, según tipo de mezcla.

Código de mezcla.	CP-AF0-N0	CP-AF5-N0	CP-AF10-N0	CP-AF0-N0.5	CP-AF5-N0.5	CP-AF10-N0.5	CP-AF0-N1	CP-AF5-N1	CP-AF10-N1
Promedio	1982.96	2155.04	2211.42	1983.57	2054.66	2097.21	1953.22	2029.53	2077.98

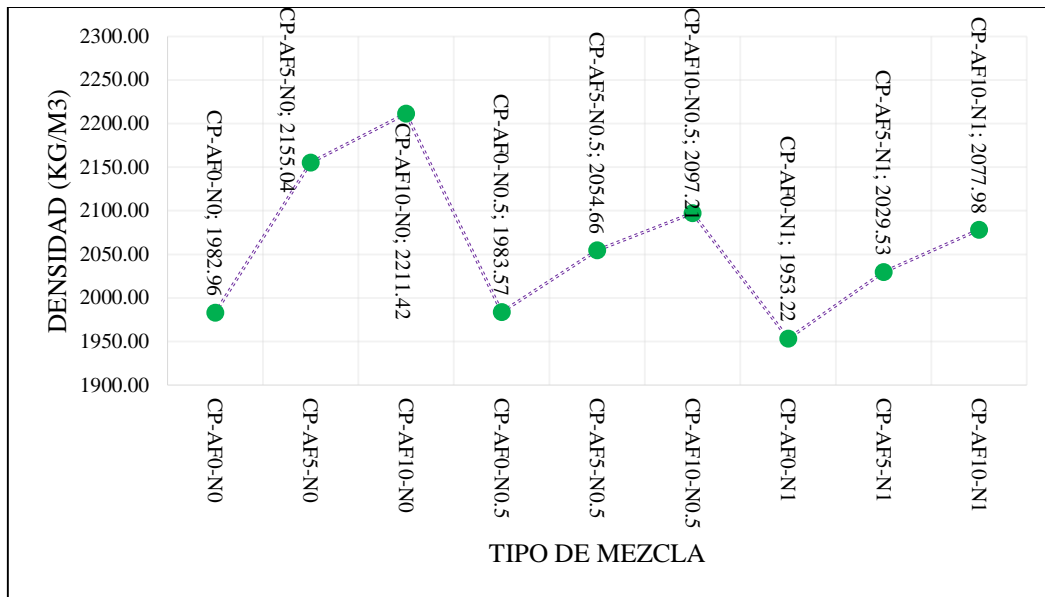


Figura 23: Densidad del concreto vs tipo de mezclas en estudio.

4.1.3.3. Contenido de vacíos.

Tabla 23

Contenido de vacíos del concreto permeable en estado fresco, según tipo de mezcla.

Código de mezcla.	CP-AF0-N0	CP-AF5-N0	CP-AF10-N0	CP-AF0-N0.5	CP-AF5-N0.5	CP-AF10-N0.5	CP-AF0-N1	CP-AF5-N1	CP-AF10-N1
Promedio	18.47	11.15	8.54	19.79	16.68	14.68	21.86	18.57	16.36

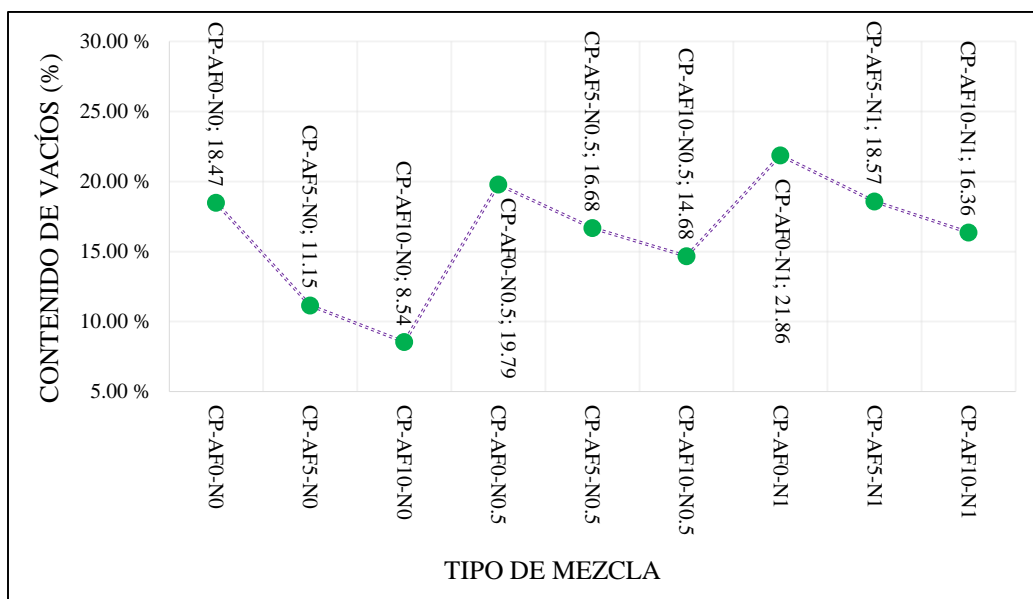


Figura 24: Contenido de vacíos del concreto vs tipo de mezclas en estudio.

4.1.4. PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO ENDURECIDO DE LAS MEZCLAS.

4.1.4.1. Ensayo de compresión.

Tabla 24

Promedio de resistencia a la compresión del concreto permeable, según tipo de mezcla.

Promedio de resistencia a la compresión				
Tipo de mezcla	Edad de ensayos			Variación de la resistencia a los 28 días
	7 Días	14 Días	28 Días	
CP-AF0-N0	58.34	74.09	77.79	0.00%
CP-AF5-N0	91.56	110.96	129.41	66.36%
CP-AF10-N0	110.64	114.04	184.87	137.66%
CP-AF0-N0.5	65.61	80.61	99.77	28.26%
CP-AF5-N0.5	91.48	104.63	126.49	62.61%
CP-AF10-N0.5	95.32	110.78	128.56	65.28%
CP-AF0-N1	71.30	78.98	82.79	6.43%
CP-AF5-N1	73.89	82.51	101.71	30.75%
CP-AF10-N1	75.51	90.77	104.47	34.30%

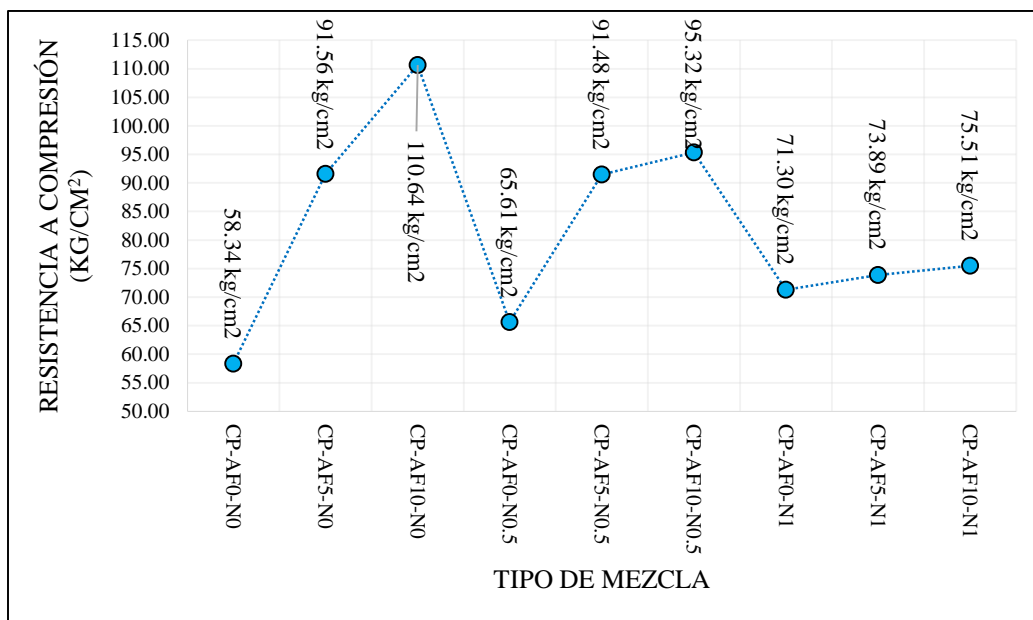


Figura 25: Promedio de resistencia a la compresión de diferentes tipos de mezcla, a los 7 días de edad

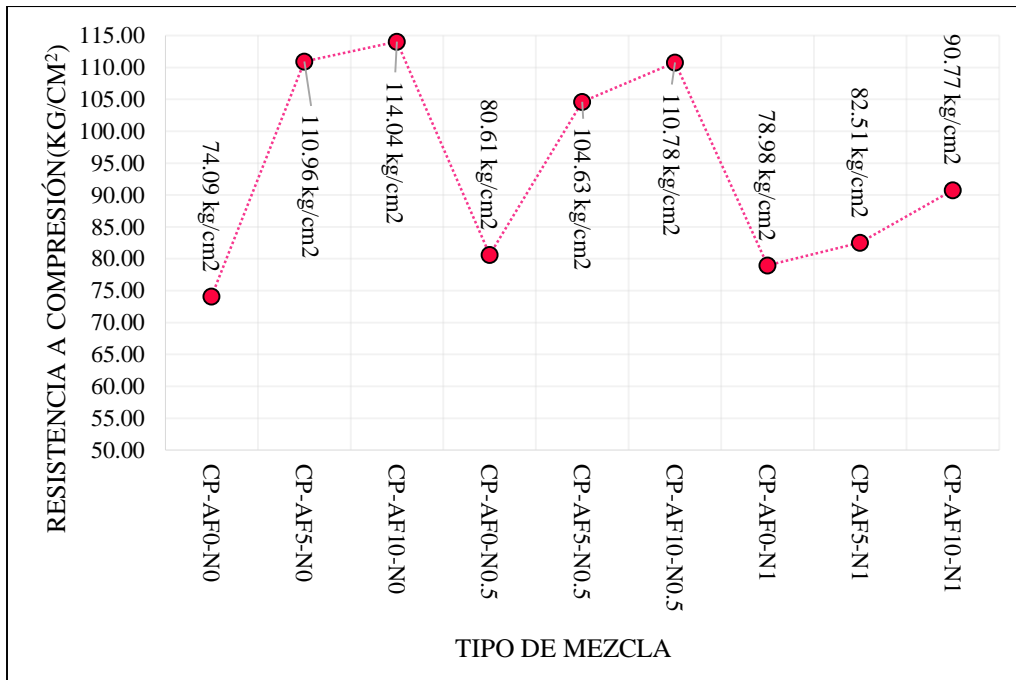


Figura 26: Promedio de resistencia a la compresión de diferentes tipos de mezcla, a los 14 días de edad.

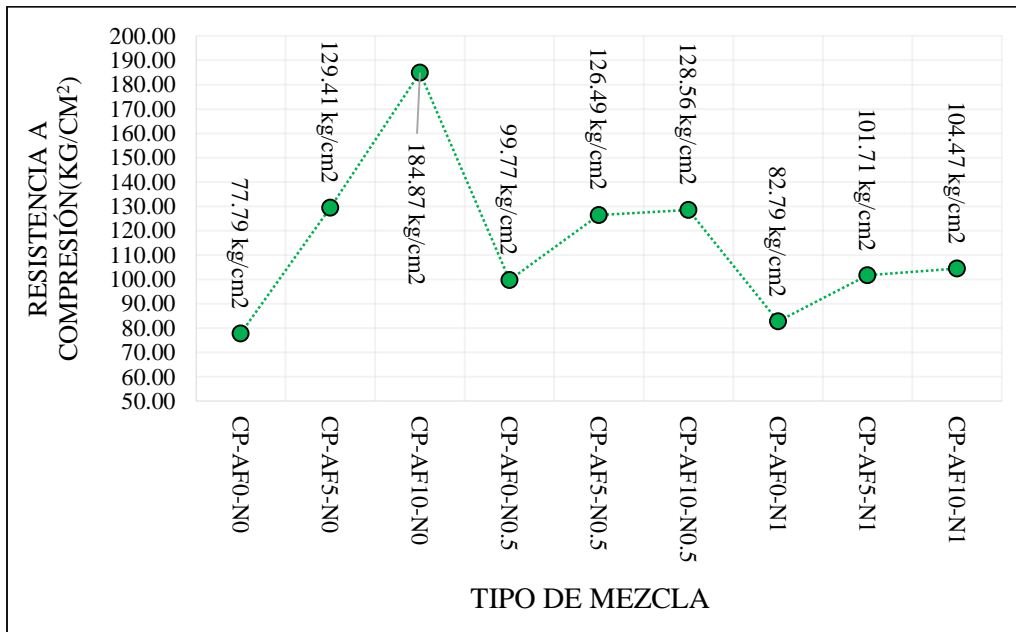


Figura 27: Promedio de resistencia a la compresión de diferentes tipos de mezcla, a los 28 días de edad.

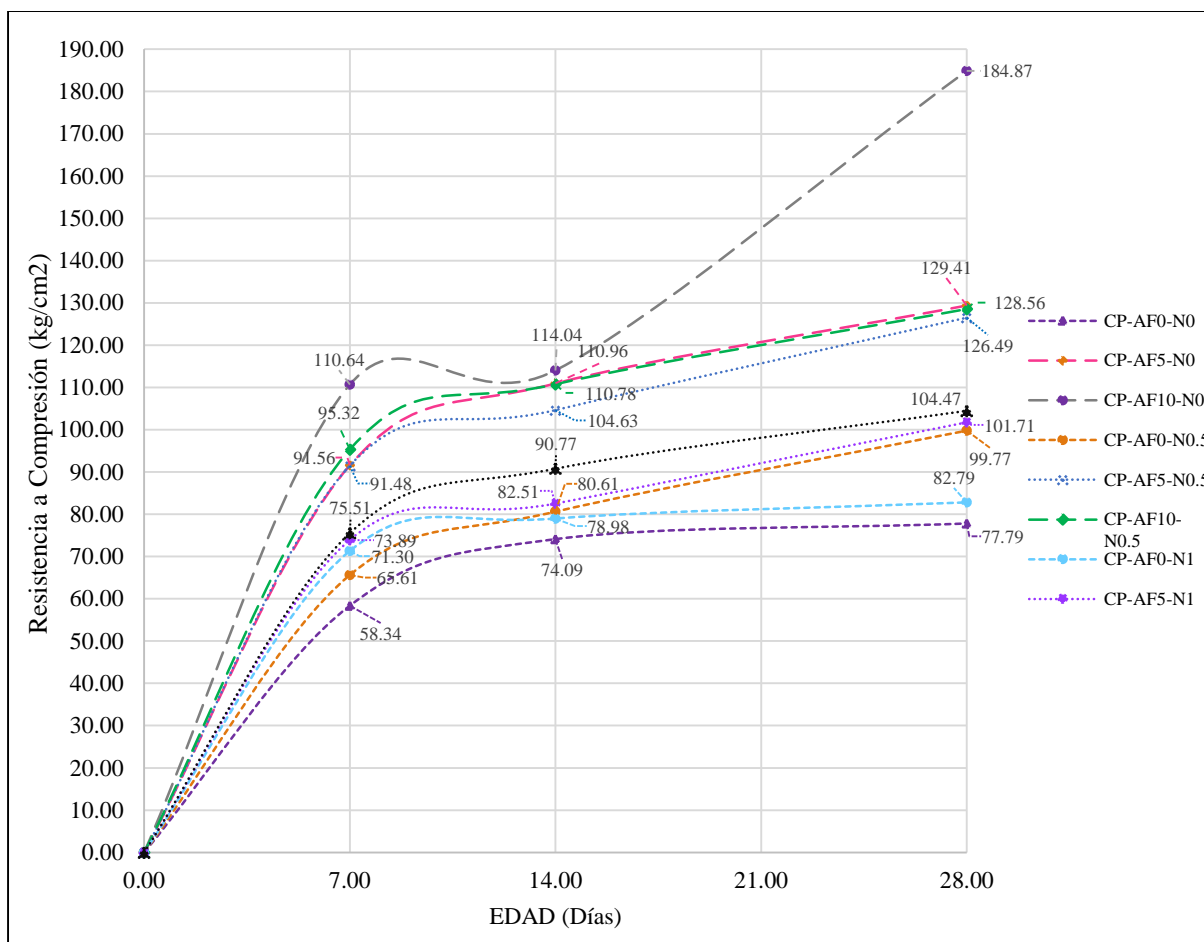


Figura 28: Promedio de resistencia a compresión de diferentes tipos de mezcla y diferentes edades.

4.1.4.2. Ensayo de flexión.

Tabla 25

Promedio de resistencia a flexión del concreto permeable, según tipo de mezcla.

Promedio de resistencia a flexión			
Tipo de mezcla	Edad de ensayos		Variación de la resistencia a los 28 días (%)
	14 Días	28 Días	
CP-AF0-N0	22.35	28.60	0.00%
CP-AF5-N0	35.01	43.09	50.65%
CP-AF10-N0	44.03	49.14	71.81%
CP-AF0-N0.5	27.60	36.03	25.98%
CP-AF5-N0.5	31.23	40.11	40.23%
CP-AF10-N0.5	34.23	42.42	48.31%
CP-AF0-N1	22.82	29.67	3.73%
CP-AF5-N1	27.73	38.88	35.94%
CP-AF10-N1	28.43	39.42	37.82%

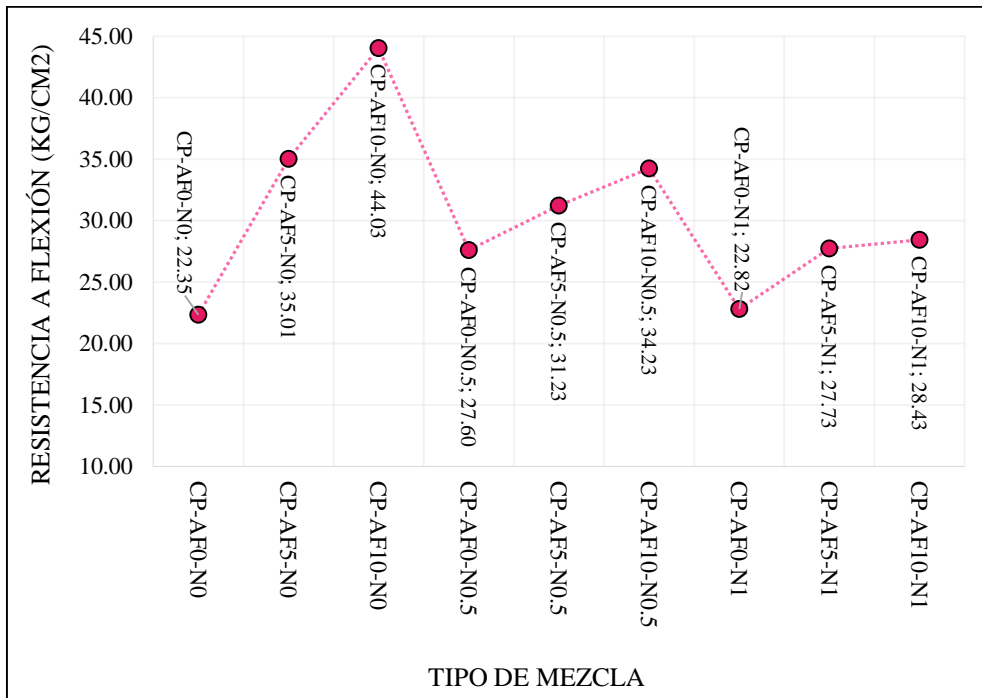


Figura 29: Promedio de resistencia a flexión de diferentes tipos de mezcla, a los 14 días de edad.

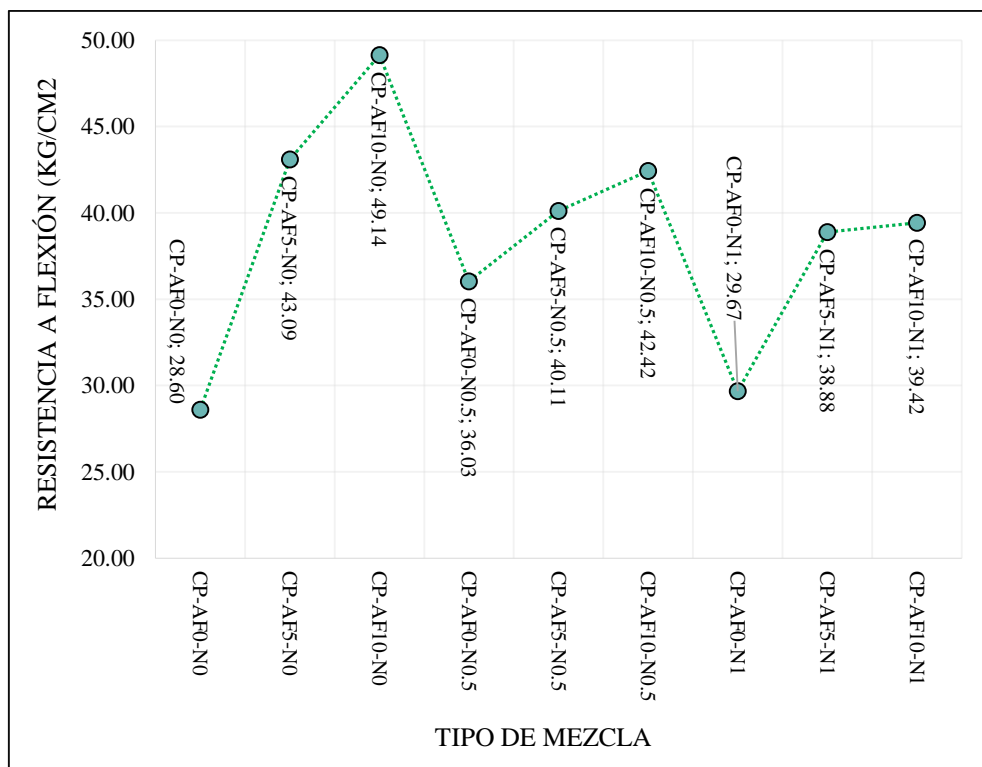


Figura 30: Promedio de resistencia a flexión de diferentes tipos de mezcla, a los 28 días de edad.

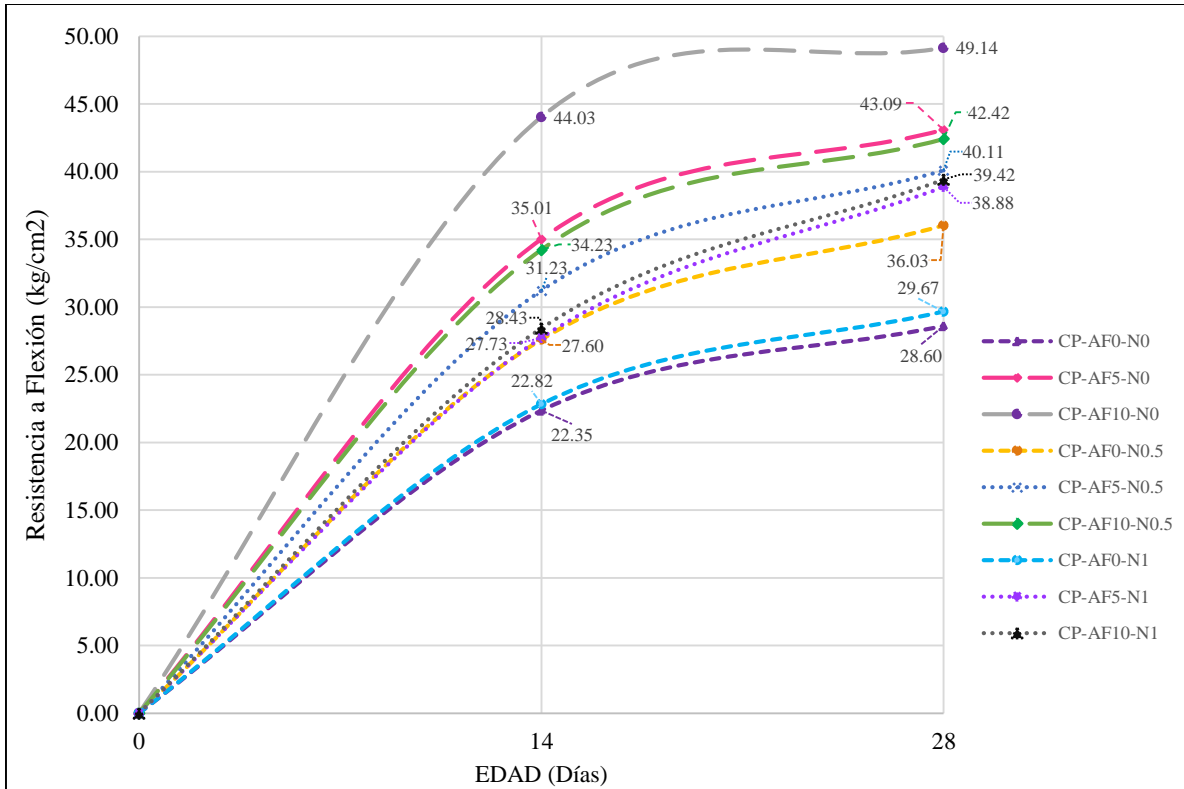


Figura 31: Promedio de resistencia a flexión de diferentes tipos de mezcla y diferentes edades.

4.1.4.3. Ensayo de permeabilidad.

Tabla 26

Permeabilidad del concreto ecológico, según tipo de mezcla.

Código de mezcla.	CP-AF0-N0	CP-AF5-N0	CP-AF10-N0	CP-AF0-N0.5	CP-AF5-N0.5	CP-AF10-N0.5	CP-AF0-N1	CP-AF5-N1	CP-AF10-N1
Promedio (cm/s)	0.56	0.23	0.19	0.61	0.54	0.39	1.17	0.82	0.53

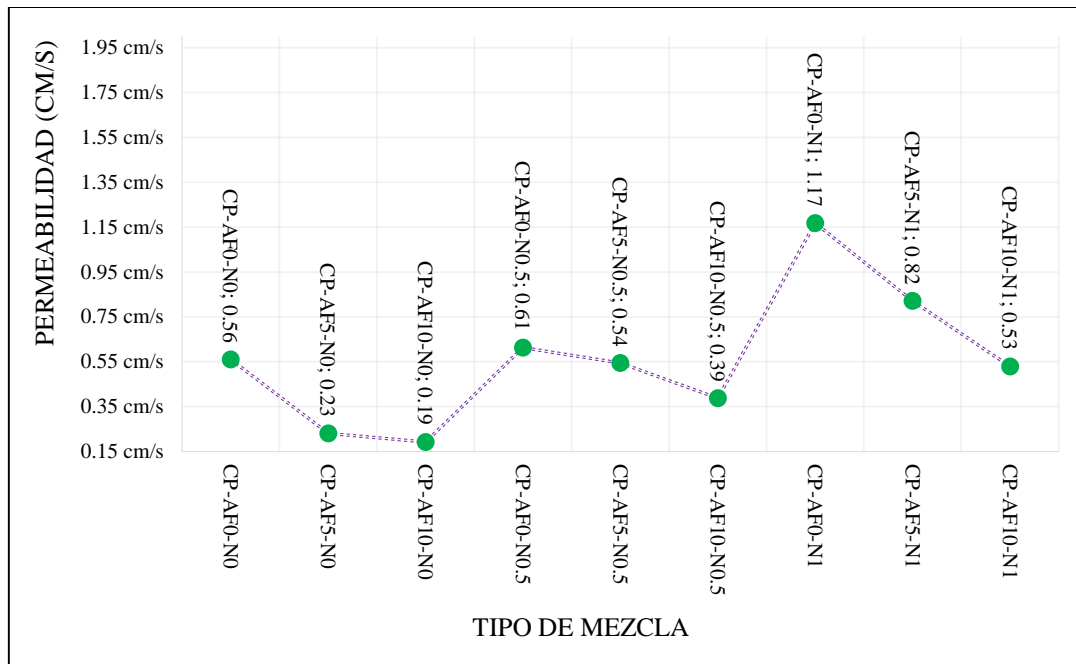


Figura 32: Permeabilidad vs tipo de mezcla de diseño.

4.2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

4.2.1. Del asentamiento de la mezcla.

En la tabla 21 y figura 22, se observan diferentes asentamientos, según el porcentaje de adición de agregado fino y aditivo Nanosílice. De la mezcla sin adiciones de aditivo, se aprecia que el asentamiento incrementa conforme aumenta el porcentaje de agregado fino añadido; también se puede observar, que la mezcla CP-AF0-N0.5 con el 0.5% de aditivo y sin agregado fino, mantiene un asentamiento nulo; sin embargo, este aumenta con la adición de arena, superando a las mezclas que no presentan adición de aditivo. Se puede apreciar que la mezcla con el 1% de aditivo tiene 2.00mm de asentamiento, el cual también aumenta al adicionar arena a la mezcla, alcanzando valores mayores que para el mismo contenido de agregado fino; siendo el valor más alto alcanzado por la mezcla CP-AF10-N1 con 5mm. Los resultados pertenecen a una mezcla de consistencia seca, lo cual es una característica indicada en la norma ACI-522R.

Por tanto, la arena influye en el aumento de la consistencia de la mezcla de concreto permeable, pero este aumenta mucho más con la adición del aditivo Nanosílice, debido a la plasticidad que genera en la pasta.

4.2.2. De la densidad del concreto permeable.

De la tabla 22 y la figura 23, se puede observar que la mezcla sin adiciones tiene una densidad de 1982.96 kg/cm^3 , la cual incrementa con la adición de agregado fino; la mezcla con 0.5% de aditivo Nanosílice CP-AF0-N0.5, presenta una densidad de 1983.57 kg/cm^3 siendo mayor que la muestra sin adiciones; sin embargo, la mezcla con el 1% de aditivo y 0% de agregado fino, presenta una densidad de 1953.22 kg/cm^3 , el cual es menor a la mezcla base; además, se puede observar que las mezclas con el mismo porcentaje de agregado fino, disminuyen su densidad al incrementarse la cantidad de aditivo. En la figura 23, indica que a mayor cantidad de aditivo Nanosílice menor es la densidad, y al aumentar el porcentaje de agregado fino en las mezclas incrementa la densidad. De los valores promedios obtenidos, el único que no se encuentra dentro del rango establecido como concreto liviano (<2200), es la mezcla CP-AF10-N0. La norma NTP 339.230 establece una desviación estándar de 22 kg/m^3 en las densidades del concreto permeable, la desviación máxima encontrada en las densidades de las mezclas es de 11.44 kg/cm^3 , por lo que se encuentra dentro del valor establecido por la norma.

4.2.3. Del contenido de vacíos.

En la figura 24 y la tabla 23 se puede observar, que la mezcla sin adiciones CP-AF0-N0 tiene 18.47% de vacíos, el cual disminuye al agregar mayores cantidades de agregado fino, debido a que este ocupa el sistema de poros, teniendo el menor porcentaje de vacíos la mezcla CP-AF10-N0 con un 8.54%, estando fuera del rango de porosidad de un concreto permeable, al igual que las mezclas CP-AF5-N0 y CP-AF10-N0.5 que presenta un porcentaje de vacíos de 11.15% y 14.68%; también se puede observar que las mezclas con adición del 0.50% de aditivo Nanosílice y 0% de agregado fino CP-AF0-N0.5 tiene un mayor porcentaje de vacíos que la mezcla sin adiciones, pero también se observa que disminuye al incorporarse los mismos porcentajes de agregado fino, aunque resultan mayores que las mezclas CP-AF5-N0 y CP-AF10-N0. La mezcla sin agregado fino y con adición del 1% de Nanosílice, CP-AF0-N01, presenta mayor cantidad de vacíos con respecto a las mezclas CP-AF0-N0 y CP-AF0-N0.5, de igual forma disminuye al incrementarse el contenido de agregado fino, estas mezclas con adición de 1% de aditivo Nanosílice resultan tener el mayor contenido de vacíos con respecto a las otras mezclas a las que se añadió igual porcentaje de arena. Esto se debe a las propiedades del aditivo de reducción de agua en la mezcla, originando una pasta seca y plástica a la vez, lo que origina un incremento de vacíos. La normativa no tiene establecida la desviación estándar para el contenido de vacíos, la máxima encontrada de las 9 mezclas estudiadas es de 0.42%.

4.2.4. De la resistencia promedio a compresión.

En la tabla 24, se observa las resistencias a compresión; se verifica que según la edad de la probeta las resistencias se van incrementando, independientemente del tipo de mezcla; en la figura 25, se muestran las resistencias de compresión a la edad de 7 días, las mezclas sin adiciones tiene una resistencia de 58.34 kg/cm^2 , la cual incrementa con la adición de aditivo Nanosílice, siendo mayor la resistencia alcanzada por la mezcla CP-AF0-N1 con 71.30 kg/cm^2 en esta edad; asimismo, la resistencia de las mezclas CP-AF0-N0, CP-AF0-N0.5, CP-AF0-N1 incrementa con la adición de agregado fino.

En la figura 26, se muestra las resistencias obtenidas a la edad de 14 días; el valor alcanzado por la mezcla CP-AF0-N0 es de 74.09 kg/cm^2 , el cual se incrementa con la adición de arena; las mezclas CP-AF0-N0.5 y la CP-AF0-N1, presentan resistencias de 80.61 kg/cm^2 y 78.98 kg/cm^2 respectivamente, siendo mayores que la alcanzada por la mezcla que no presenta adiciones, asimismo aumenta al añadirse los mismos porcentajes de agregado fino.

En la figura 27, se muestran las resistencias obtenidas a la edad de 28 días; la mezcla CP-AF0-N0, alcanzó una resistencia de 77.79 kg/cm^2 , se observa que la mezcla con adición del 0.5% de aditivo tiene un incremento de 28.26% en su resistencia con respecto a la mezcla sin adiciones; la mezcla con el 1% de aditivo Nanosílice presenta un incremento de 6.43% con respecto a la mezcla CP-AF0-N0; por los resultados antes descrito se puede deducir que, emplear más aditivo no implica el incremento de la resistencia, debido a que origina una excesiva fluidez de la pasta, desplazándose al interior, dejando expuesto al agregado el cual tiende a desmoronarse, y para evitar dicho efecto es necesario reducir la cantidad de agua, con lo que se logra alcanzar una consistencia correcta, pero a la vez produce una menor adherencia en los materiales y un incremento de vacíos. Todas las resistencias a compresión de las mezclas estudiadas se encuentran dentro del parámetro establecido por la norma ACI 522 R-10 2.8 a 28 MPa. Siendo la más alta resistencia de 184.87 kg/cm^2 de la mezcla CP-AF10-N0, pero es la que presenta un menor contenido de vacíos y baja permeabilidad.

La mezcla base y las mezclas que contienen el 1%, 0.5% de aditivo y 0% de agregado fino, incrementan su resistencia cuando se adiciona agregado fino, a mayor porcentaje de agregado fino mayor es la resistencia alcanzada, esto se produce porque la arena se mezcla con la pasta proporcionando un mayor recubrimiento en la superficie del agregado grueso, logrando una mayor adherencia, por lo tanto, origina un incrementando en la resistencia a compresión.

La NTP 339.034 establece un coeficiente de variación de 6.6% en la resistencia a compresión, las muestra ensayadas se encuentran dentro del rango establecido.

4.2.5. De la resistencia promedio a flexión.

En la tabla 25, se observa la resistencia a flexión a la edad de 14 y 28 días, la cual se incrementa según la edad, independientemente del tipo de mezcla. En la figura 29, se muestran las resistencias de las vigas a una edad de 14 días, donde la mezcla sin adiciones (CP-AF0-N0) tiene una resistencia de 22.35 kg/cm²; al adicionarse agregado fino en un 5% y 10 %, la resistencia incrementa considerablemente, siendo la resistencia más alta alcanzada por la mezcla CP-AF10-N0 con 44.03 kg/cm²; las mezclas con el 0.5% de aditivo Nanosílce e igual contenido de agregado fino 0%, 5% y 10%, son mayores que la mezcla sin adiciones. Las resistencias de las mezclas con el 1% de aditivo Nanosílce e igual contenido de agregado fino, también son mayores que la mezcla CP-AF0-N0.

En la figura N° 30, se verifica las resistencias a flexión a la edad de 28 días; done la mezcla sin adiciones (CP-AF0-N0), alcanza una resistencia de 28.60 kg/cm²; las mezclas con adición del 0.5% y 1% de aditivo y 0% de agregado fino alcanzan resistencia de 36.03 y 29.67 kg/cm², siendo un 25.98% y 3.73% más que la mezcla base; por lo que se puede deducir que, la resistencia a flexión no se incrementa con la adición de mayor porcentaje de aditivo.

Se puede observar la mezcla base y las mezclas que contienen el 1%, 0.5% de aditivo y 0% de agregado fino, incrementan su resistencia a la flexión conforme se incrementa la adición de agregado fino; asimismo, también se puede observar que las mezclas con el 5% y 10% de agregado fino y sin aditivo, han desarrollado mayores resistencias que las mezclas que tienen el 0.5% y 1% de aditivo e igual contenido de arena; de lo que se puede deducir, que esto se origina por la reducción de agua, propiedad del aditivo súper plastificante, y puesto que en un concreto permeable con menor contenido de agua, tiene menores resistencias, efecto contrario producido en un concreto convencional, como lo indica Castro, Solminihac, Videla y Fernández (2009). Las resistencias de flexión de las mezclas estudiadas, se encuentran dentro de los rangos establecidos de 1-3.8 Mpa para concretos permeables. La norma NTP 339.078, indica que el coeficiente de variación de los resultados de ensayos a flexión, no será mayor a 16%, el máximo valor de las mezclas es de 9.5%, por lo que se encuentran dentro del valor establecido.

4.2.6. De la permeabilidad del concreto.

En la tabla 26, se verifica la permeabilidad encontrada para las diferentes mezclas estudiadas, donde se observa que la mezcla base sin adiciones (CP-AF0-N0), tiene una permeabilidad de 0.56 cm/s, estando por encima de la permeabilidad esperada; con adición del 0.5% y 1% de aditivo se alcanza una permeabilidad de 0.61 y 1.17 cm/s respectivamente, las cuales son mayores a la alcanzada por la mezcla base.

De las mezclas con el 5% y 10% de agregado fino y sin aditivo, se puede observar que la permeabilidad ha disminuido significativamente, cuando mayor es el contenido de arena, siendo el más bajo el de la mezcla CP-AF10-N0 con 0.18 cm/s, estando fuera del requisito para concreto permeable, que es de 0.20cm/s a 0.54cm/s; sin embargo, las mezclas de igual contenido de agregado fino y con adición del 0.5% de aditivo, presentan un incremento en su permeabilidad, siendo de 0.54 cm/s para la mezcla CP-AF5-N0.5 y 0.39 cm/s para la mezcla CP-AF10-N0.5, de igual forma se aprecia que, a mayor porcentaje de arena se tiene una permeabilidad menor. Las mezclas con el 1% de aditivo Nanosílice y agregado fino al 5% y 10% tienen mayor permeabilidad, de 0.82 cm/s y 0.53 cm/s respectivamente, comparadas con las mezclas que tienen el mismo porcentaje de agregado fino; sin embargo, los valores también disminuyen al incrementar la cantidad de agregado fino. Los coeficientes de permeabilidad de las mezclas estudiadas son mayores que la requerida en la ciudad de Jaén.

4.3. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.

- Las permeabilidades del concreto sin adiciones de agregado fino y aditivo, es de 0.56 cm/s, el cual aumentó con la adición del 0.5% y 1% de aditivo Nanosílice, en un 1.08% y 9.35% respectivamente. La adición de agregado fino en las mezclas del concreto permeable, causa una reducción en la permeabilidad, tanto en la mezcla base (CP-AF0-N0), como en las que contienen el 0.5% y 1% de aditivo Nanosílice. Las mezclas con mayor porcentaje de agregado fino (10%) tuvieron menor valor en su coeficiente de permeabilidad.

- La resistencia a la compresión a los 28 días de edad, de las mezclas de concreto permeable con 0.5%, 1% de aditivo Nanosílice y 0% de agregado fino, es de 99.77 kg/cm² y 82.79kg/cm² respectivamente, los cuales son superiores a la mezcla de concreto sin adiciones (CP-AF0-N0), cuya resistencia es de 77.79 kg/cm². La adición de agregado fino, en las mezclas del concreto permeable antes descritas, ocasiona un incremento considerable en la resistencia a compresión; las mezclas con un mayor porcentaje de agregado fino, mezclas tipo CP-AF10-

N0, CP-AF10-N0.5 y CP-AF10-N1, alcanzaron resistencias de 184.87 kg/cm²; 128.56 kg/cm² y 104.47 kg/cm² respectivamente, siendo estos valores mayores que la mezcla base (CP-AF0-N0).

- La resistencia a flexión a los 28 días de edad, del concreto permeable CP-AF0-N0, es de 28.60 kg/cm², la cual se incrementa en un 25.98% y 3.73%, con la adición del 0.5% y 1% de aditivo Nanosílice, respectivamente. La adición de agregado fino aumenta la resistencia a flexión en las mezclas de concreto permeable independientemente de la cantidad del aditivo Nanosílice, siendo los valores más altos alcanzados por las mezclas que tienen un 10% de agregado fino CP-AF10-N0, CP-AF10-N0.5 y CP-AF10-N1, cuyas resistencias son de 49.14 kg/cm²; 42.42 kg/cm² y 39.42 kg/cm² respectivamente.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. CONCLUSIONES.

- Se determinó que, la incorporación de agregado fino y aditivo Nanosílice, a una mezcla de concreto permeable, en diferentes porcentajes, tuvo influencia en su comportamiento; mejorando sus propiedades mecánicas e hidráulicas, principalmente en sus propiedades de resistencias a compresión y flexión.

- Con la adición de agregado fino al 5% y 10%, independientemente del aditivo Nanosílice, se presentó asentamientos diferentes de 0 cm, manteniéndose dentro del rango de un concreto de consistencia seca. Así mismo, el contenido de vacíos se incrementó con la adición de aditivo Nanosílice, y disminuyó al incorporarse agregado fino.

- Con una adición del 0.5% de aditivo Nanosílice, se generó mejores resultados en las resistencias que con el 1% de aditivo; mayores cantidades de aditivo Nanosílice genera mayor fluidez en la pasta, por lo que se reduce un mayor porcentaje de agua para lograr una consistencia adecuada, generando un aumento en el contenido de vacíos y una reducción en sus resistencias, a causa de la disminución de adherencia en los materiales. Por lo tanto, la adición de mayores cantidades de aditivo Nanosílice, no asegura un incremento en las resistencias a compresión y flexión en un concreto permeable.

- La adición de 5% y 10% de agregado fino en las mezclas, incrementó las resistencias a flexión y compresión, comparadas con las mezclas que tienen 0% de arena, pero a la vez disminuyó la permeabilidad del concreto; se alcanzó mejores resultados cuando se adicionó las mismas cantidades de agregado fino y el 0.5 de aditivo Nanosílice; con el 10% de agregado fino y un 0.5% de aditivo Nanosílice se tiene un 14.68% de vacíos, un incremento de 65.28% y 48.31% en resistencia a compresión y flexión respectivamente, con respecto a la mezcla sin adiciones, y un coeficiente de permeabilidad de 0.39 cm/s, valores que se hallan dentro del rango de las características típicas del concreto permeable, con excepción del porcentaje de vacíos; sin embargo, el coeficiente de permeabilidad, está sobre el valor mínimo del límite recomendado.

- La norma CE 010, establece resistencias de flexión mínima de 34 kg/cm² y 175kg/cm² de resistencia a compresión; de las 9 mezclas estudiadas, 7 alcanzaron resistencias de flexión mayores que 34 kg/cm²; sin embargo, la resistencia máxima a compresión alcanzada es de 184 kg/cm², por lo que no podría ser utilizado en pavimentos de tráfico de vehículos livianos, puesto que en la práctica se emplean resistencias mayores.

- Para la elaboración de concretos permeables, con agregado grueso de la cantera Olano de la ciudad de Jaén, de huso granulométrico 56; la relación agua/cemento de 0.30, permitió una consistencia adecuada de la pasta y un buen recubrimiento de los agregados, logrando un diseño inicial, sin aditivos y agregado fino, que cumplen con las propiedades típicas de un concreto permeable, indicadas en la norma ACI 522R-10 y otros estudios realizados sobre este tipo de concreto.

5.2. RECOMENDACIONES.

- Cuando se emplee aditivos súper plastificantes, para aumentar la resistencia en concretos permeables, se debe tener en cuenta la fluidez que este produce en la pasta; por lo que se recomienda realizar ensayos previos.

- Las propiedades del concreto permeable, depende mucho de las características de los agregados usados en su elaboración; por lo que, se recomienda realizar investigaciones con otra granulometría de agregado y de origen diferente, como de la cantera Josecito y Arenera Jaén, y evaluar si el concreto permeable obtenido, puede ser utilizado en pavimentos rígidos para vehículos livianos, y pavimentos especiales como veredas, ciclo vías, pasajes peatonales en la ciudad de Jaén.

- Se recomienda, emplear aditivos Nanosílice en cantidades no mayores al 0.5% y agregado fino al 5%, para mejorar la resistencia a compresión y flexión del concreto permeable, y tener un coeficiente de permeabilidad significativo.

- En esta investigación, se realizó parte de los ensayos necesarios, para conocer el comportamiento del concreto permeable; por lo que, se recomienda realizar otro tipo de ensayos, como de durabilidad y dureza, con el fin de generar un mayor conocimiento sobre las propiedades del concreto permeable, para la ciudad de Jaén.

- Debido a las características del agregado grueso empleado, se utilizó un alto contenido de cemento para lograr la cantidad de pasta y consistencia adecuada, y aun así no se obtuvo altas resistencias a compresión; por lo que no se recomienda, el uso del agregado empleado en la presente investigación, desde un punto de vista económico.

- Se recomienda, realizar investigaciones, donde se evalúe si es factible técnica como económicamente, el uso del concreto permeables, en pavimentos rígidos en la ciudad de Jaén.

CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

6.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Abanto, T. (2017). Tecnología del concreto. Editorial San Marcos, tercera edición.
- ACI 211.3R-02. (2009). Guía para la Selección de Proporciones para Hormigón No-Slump. Michigan: American Concrete Institute. Obtenido de <https://www.scribd.com/document/377600980/ACI-211-3R-02-R09-Guide-for-Selecting-Proportions-for-No-Slump-Concrete-MyCivil-ir-en-espanol>
- ACI 522R-10. (2010). Report on pervious concrete, Michigan: American Concrete Institute. obtenido de <https://www.adfil.com/es/productos/fibras-macro-sint%c3%a9ticas/>
- Aquino, R. 2015. "Diseño y aplicación de concreto ecológico con fibras de polipropileno para pavimentos rígidos", Universidad Nacional de Cajamarca-Perú.
- Arteaga, J. y Vásquez C. (2022). "Diseño de concreto ecológico para uso en elementos no estructurales reemplazando porcentajes de agregado fino por PET triturado, Jaén 2022". Universidad Cesar Vallejo – Perú.
- ASTM C 702 (2003). Práctica estándar para la Reducción de muestras de agregado a Prueba de Tamaño. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/311834684/ASTM-C-702>
- ASTM C127 (2012). Método de prueba estándar para Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica), y Absorción del agregado grueso. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/445254188/2-ASTM-C127-pdf>
- ASTM C-128 (2012). Método de Ensayo Normalizado para Determinar Densidad, Densidad Relativa (Peso Específico) y la Absorción de los Áridos Finos.
- ASTM C131 (2001). Método de Prueba Estándar para Resistencia a Degradación de Agregado Grueso de Tamaño Pequeño por Abrasión e Impacto en la Máquina de Los Ángeles.
- ASTM C29 (1997). Método de Ensayo Normalizado para determinar la densidad aparente ("peso unitario") e Índice de Huecos en los Áridos.
- ASTM C33 (1999). Especificación estándar para agregados para concreto.
- ASTM C 494 (2004). Especificación estándar para los aditivos químicos para hormigón.
- Barahona, R. A., Martínez, M. V., Zelaya, S. E. (2013). Comportamiento del concreto permeable utilizando agregado grueso de las canteras, el Carmen, Aramuaca, la pedrera, de la zona oriental de El Salvador. tesis profesional. Universidad el Salvador, San Miguel, El Salvador. Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/6259/1/50107992.pdf>
- Bautista, C. Y., Rivera, J. A., Castillo, N. (2016). Fase experimental para obtener concreto permeable a partir de un concreto convencional con agregado de los ríos Sumapaz, Magdalena y Coello. Universidad piloto de Colombia Seccional Alto Magdalena.

- Cabello, S., Campuzano, L., Espinoza, J., Sánchez, M. (2015). Concreto poroso: constitución, variables influyentes y protocolos para su caracterización. CUMBRES, Revista Científica.
- Cabrera, R. y Yalle, B. H. L. (2022). Diseño de concreto poroso para la evaluación de la resistencia a compresión 210 kg/cm², elaborado con agregado de las canteras del río Ichu y cantera de Cerro, Huancavelica -2021. Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú.
- Castro, J., Solminihaq H., Videla, C., Fernández, B. (2009). Estudio de dosificaciones en laboratorio para pavimentos porosos de hormigón.
- Chávez, J. (2014). Resistencia a la compresión de un concreto con adición de limaduras de hierro fundido. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Chopra M., Wanuelista, M., Mulligan, A. (2007). Compressive Strength of Pervious Concrete Pavements. University of Central Florida, Orlando.
- Choque, H. y Ccana, J. (2016). Evaluación de la resistencia a compresión y permeabilidad del concreto poroso elaborado con agregado de las canteras Vicho y Zurite, adicionando aditivo súper plastificante de densidad 1.2kg/l para una resistencia 210kg/cm². Tesis, Universidad Andina del Cusco, Cusco.
- Díaz, Y. (2017). Diseño de mezcla de concreto permeable elaborado con aditivo y adición de fibra de polipropileno para uso en pavimentos, en la ciudad de Cajamarca. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Espinoza E. N. (2022). "Diseño de concreto ecológico reemplazando PET por agregado fino para pavimentos rígidos de bajo volumen de tránsito, Jaén 2022", Universidad Cesar Vallejo – Perú.
- Estela J. R. y Vásquez J. V. (2020). "Influencia de la incorporación de partículas de caucho reciclado en concreto poroso, en la ciudad de Jaén – Cajamarca". Universidad Nacional de Jaén.
- Fernández, R. J., Navas A. (2011). Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad. Obtenido de <https://www.scribd.com/document/196009493/Diseno-de-mezclas-para-evaluar-su-resistencia-a-la-compresion-uniaxial-y-su-permeabilidad#>
- Ficha Técnica GAIA Nanosílice (2019). Adicionante de cemento para concreto de altas prestaciones. Ulmen.
- Gallo, C. A. y Posada, E. M. (2017). Diseño de un pavimento en concreto poroso con adición de agregados de concreto reciclado para la construcción de un modelo a escala. Universidad de La Salle, Bogotá.

- Guizado, A. y Piero, C. (2017) Evaluación del concreto permeable como una alternativa para el control de las aguas pluviales en vías locales y pavimentos especiales de la costa noroeste del Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de <https://docplayer.es/96440333-Pontificia-universidad-catolica-del-peru.html>
- Imcyc. (2008). Construcción y tecnología en Concreto. Obtenido de <https://www.imcyc.com/revistacyt/jun11/arttecnologia.htm>
- Jacinto, J. A. (2021). Diseño de mezcla de concreto permeable utilizando diferentes porcentajes de agregado fino y aditivos en la ciudad de Chiclayo - Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, Perú.
- Laguna, J. A. y Piedrahita O. J. (2017). Estudio comparativo de mezclas de concreto poroso usando materiales disponibles en Cartagena de Indias para uso de pavimentos en parqueaderos. Universidad de Cartagena.
- Meininger, R. (1988). Concreto permeable sin finos para pavimentos. Obtenido de <https://dokumen.tips/documents/3-no-fines-pervious-concrete-for-paving-meininger-1988pdf.html?page=4>
- Morales, A. M. (2018). Resistencia a la compresión de un concreto permeable vs uno convencional, utilizando agregados de la cantera Shonguwarqui del Distrito de Chingas, Provincia Antonio Raymondi. Universidad de San Pedro, Huraz, Perú.
- NORMA CE.010 PAVIMENTOS URBANOS, «Norma CE.010,» Reglamento Nacional de Edificaciones, 2018.
- Norma Técnica Peruana NTP 400.037, (2018). Obtenido de <https://es.scribd.com/document/509925124/NTP-400-037-2018>
- NTP 334.009 (2020). Cementos “cementos portland requisitos”. Obtenido de <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-pedro-ruiz-gallo/tecnologia-del-concreto/ntp-334009-2020-2020-cementos-cementos-portland-requisitos/38501953>
- NTP 339.034 (2015). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. Obtenido de <https://pdfcoffee.com/ntp-339034-metodo-de-ensayo-normalizado-para-la-determinacion-de-la-resistencia-a-la-compresion-del-concreto-en-muestras-cilindricas-2-pdf-free.html>
- NTP 339.035 (2015). Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de Cemento Portland.
- NTP 339.047 (2006). Definición y terminología relativa al hormigón y agregados. Obtenido de <https://www.studocu.com/pe/document/pontificia-universidad-catolica-del-peru/concreto-armado-1/ntp-3390472006/8705869>

- NTP 339.078 (2012). Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en viga simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo. Obtenido de https://kupdf.net/download/ntp-339078-ensayo-de-flexionpdf_5bc7cd13e2b6f5c848d97b35_pdf
- NTP 339.088.2006 hormigón (concreto) (2006). Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento portland. Requisitos. 28 ED. R. 2006-CRTINDECOPI.
- NTP 339.183 (2013). Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio.
- NTP 339.185 (2013). Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.
- NTP 339.230 (2015). Método de ensayo normalizado para determinar la densidad y el contenido de vacío del concreto permeable fresco.
- NTP 400.010 (2011). Extracción y preparación de muestras (Agregados).
- NTP 400.011 (2008). Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concreto).
- NTP 400.012 (2018). Análisis granulométricos del agregado fino, grueso y global. Obtenido de <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-catolica-santo-toribio-de-mogrovejo/tecnologia-del-concreto/ntp-400012-2013-revision-2018-analisis-granulometrico-del-agregado-fino-grueso-y-global/14744990>
- NTP 400.017 (2011). Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados.
- NTP 400.018 (2002). Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μm (N°200) por lavado en agregados.
- NTP 400.019 (2002). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaño menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles.
- NTP 400.021 (2018). Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Obtenido de <https://toaz.info/doc-view-2>
- NTP 400.022 (2013). Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Obtenido de https://kupdf.net/queue/ntp-4000222013-agregados-metodo-peso-especifico-y-absorcion-del-agregado-fino_59c03df208bbc5f314686f9e_pdf?queue_id=-1&x=1683937587&z=MTc5LjYuODUuNDI=
- Pamolaza, Á. F. (2017) Aplicación de pavimentos de concreto poroso como alternativa de control de la acumulación de precipitaciones pluviales en la provincia de Huancayo en el año 2017. facultad de ingeniería. Universidad Continental, Hunacayo.

- Pasquel, E. (2000). Control de Calidad del Concreto. Capitulo peruano ACI. Lima - Perú.
- Paucar Y. y Morales F. (2018). Influencia del agregado grueso de la cantera del río Ichu en el concreto permeable para pavimentos de bajo tránsito - f'c 175kg/cm², facultad de ciencias de ingeniería. Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica.
- Pérez A. J. (2019): optimización de la permeabilidad del concreto ecológico con adición de Nanosílice y fibra de Polipropileno para pavimentos rígidos, utilizando agregados de concreto reciclado. Universidad Nacional de Cajamarca – Perú.
- Pérez, D. (2009). Estudio experimental de concretos permeables con agregados andesíticos (tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.
- Porras, J. M. (2017). Metodología de diseño para concretos permeables y sus respectivas correcciones de permeabilidad. Instituto tecnológico de Costa Rica.
- Quiroz, M y Salamanca, L. (2006). “Apoyo Didáctico Para la Enseñanza y Aprendizaje en la Asignatura de Tecnología del Hormigón”.
- Rodas, N. I. (2012). Desarrollo y uso de bloques de concreto permeable en senderos ecológicos. Tesis profesional. Universidad de San Carlos de Guatemala, ciudad de Guatemala, Guatemala. obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3428_c.pdf.
- Sánchez De Guzmán. (2001). Tecnología del concreto y del mortero. Bogotá. <https://mega.nz/file/0VMTSIY#8clf2Pd1xqCeqjWVsDzyMoULcGmCHINWBW8kvgmfq6o>.

ANEXOS

ANEXO 01. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LOS AGREGADOS DE LA CANTERA OLANO.

- **Del agregado fino.**

A. Material Fino que pasa el tamiz N° 200.

A continuación, se muestra los resultados obtenidos del este ensayo de acuerdo a la norma NTP 400.018.

Tabla 27

Material fino que pasa el tamiz N° 200.

DESCRIPCIÓN	Ensayo N°01	Ensayo N°02	Ensayo N°03
Peso de la tara (g)	187.00	187.00	187.00
Peso muestra seca inicial (g)	903.00	865.00	934.00
Peso de muestra seca lavada (g)	848.00	812.00	877.00
peso de finos que pasa el tamiz 200 (g)	55.00	53.00	57.00
Material fino que pasa el tamiz N° 200 (%)	6.10%	6.13%	6.10%
Material fino que pasa el tamiz N° 200 (%) promedio	6.10%		

El porcentaje promedio de finos que pasa el tamiz N° 200 es 6.10%

B. Análisis granulométrico del agregado fino.

En ensayo de granulometría, se realizó teniendo en cuenta a norma NTP 400.012.

Tabla 28

Análisis granulométrico del agregado fino de la cantera Olano, ensayo N°01.

ENSAYO N° 01					
Malla		Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido acumulado	Porcentaje que pasa
N°	mm	g.	%	%	%
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.75	65.00	7.20	7.20	92.80
N° 08	2.36	103.00	11.41	18.60	81.40
N° 16	1.18	118.00	13.07	31.67	68.33
N° 30	0.60	141.00	15.61	47.29	52.71
N° 50	0.30	166.00	18.38	65.67	34.33
N° 100	0.15	202.00	22.37	88.04	11.96
N°200	0.08	53.00	5.87	93.91	6.09
Cazoleta	-----	55.00	6.09	100.00	0.00
TOTAL		903.00			
MF		2.58			

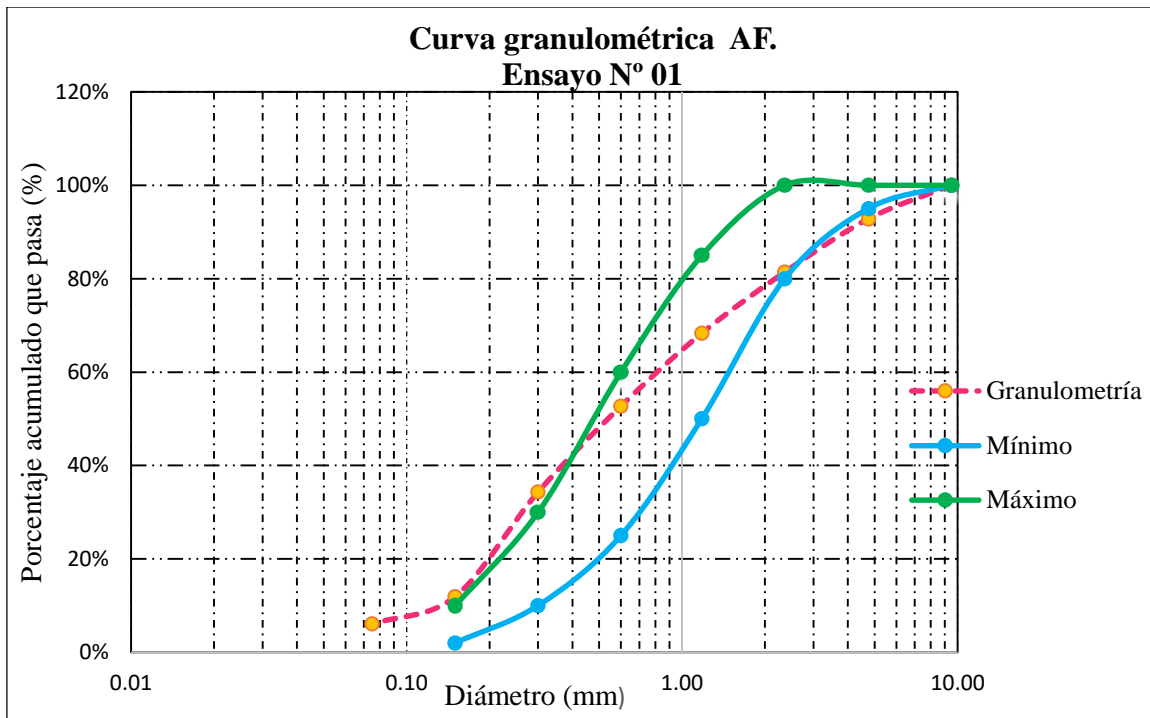


Figura 33: Curva granulométrica del agregado fino (ensayo N°01)

Tabla 29

Análisis granulométrico del agregado fino de la cantera Olano, ensayo N°02.

ENSAYO N° 02					
MALLA		Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido acumulado	Porcentaje que pasa
N°	mm	g.	%	%	%
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.75	59.00	6.82	6.82	93.18
N° 08	2.36	98.00	11.33	18.15	81.85
N° 16	1.18	111.00	12.83	30.98	69.02
N° 30	0.60	135.00	15.61	46.59	53.41
N° 50	0.30	160.00	18.50	65.09	34.91
N° 100	0.15	198.00	22.89	87.98	12.02
N°200	0.08	51.00	5.90	93.87	6.13
Cazoleta	-----	53.00	6.13	100.00	0.00
TOTAL		865.00			
MF		2.56			

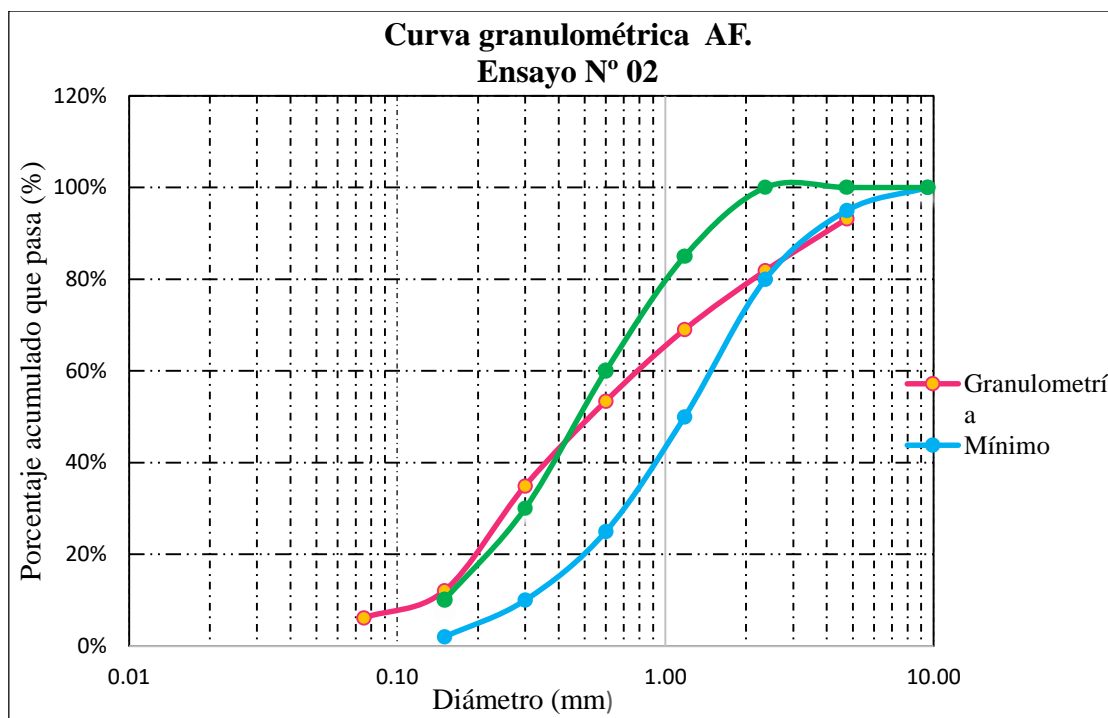


Figura 34: Curva granulométrica del agregado fino (ensayo N°02).

Tabla 30

Análisis granulométrico del agregado fino de la cantera Olano, ensayo N°03.

ENSAYO N° 03					
TAMIZ		Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido acumulado	Porcentaje que pasa
N°	mm	g.	%	%	%
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.75	69.00	7.39	7.39	92.61
N° 08	2.36	105.00	11.24	18.63	81.37
N° 16	1.18	119.00	12.74	31.37	68.63
N° 30	0.60	145.00	15.52	46.90	53.10
N° 50	0.30	177.00	18.95	65.85	34.15
N° 100	0.15	208.00	22.27	88.12	11.88
N°200	0.08	54.00	5.78	93.90	6.10
Cazoleta	-----	57.00	6.10	100.00	0.00
TOTAL		934.00			
MF		2.58			

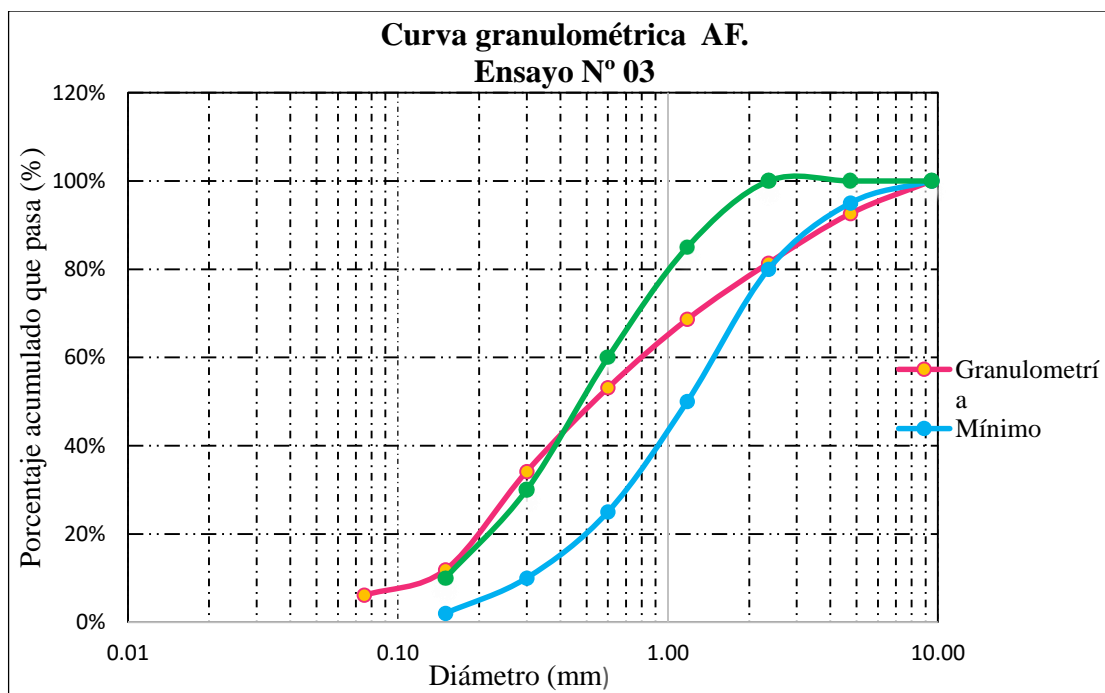


Figura 35: Curva granulométrica del agregado fino (ensayo N°03)

Tabla 31

Módulo de finura promedio.

MÓDULO DE FINURA PROMEDIO			
N° DE ENSAYO	1	2	3
Módulo de finura	2.58	2.56	2.58
<i>Módulo de Finura promedio</i>	2.57		

C. Contenido de humedad del agregado fino.

Se realizó el ensayo de contenido de humedad del agregado fino de la cantera Olano, siguiendo la norma NTP 339.185.

Tabla 32

Contenido de humedad en % del agregado fino, de la cantera Olano.

Descripción	Ensayo N°01	Ensayo N°02	Ensayo N°03
Peso de muestra húmeda (g)	788	793	746
Peso de muestra seca (g)	755	759	715
Contenido de humedad (%)	4.37	4.41	4.34
Contenido de humedad promedio (%)	4.37		

D. Peso específico y absorción del agregado fino.

Se realizó el ensayo de peso específico y absorción del agregado fino de la cantera Olano, siguiendo la norma NTP 400.022, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 33

Valores obtenidos del ensayo, para los cálculos del peso específico y Absorción del agregado fino.

Descripción	Ensayo N°01	Ensayo N°02	Ensayo N°03
Peso de la muestra S.S.S (g)	500	500	500
Peso del Picnómetro (g)	435	435	435
Peso de la muestra S.S.S + peso del Picnómetro (g)	935	935	935
Peso de la arena S.S.S + peso del Picnómetro + peso del agua (g)	1227	1230	1233
Peso del agua (g)	292	295	298
Peso de la arena secada al horno (g)	486	483	480
Volumen del frasco (g)	500	500	500

Tabla 34

Peso específico y absorción del agregado fino, de la cantera Olano.

Descripción	Ensayo N°01	Ensayo N°02	Ensayo N°03	Promedio
Peso específico de la arena (g/cm ³)	2.34	2.36	2.38	2.356
Peso específico de la masa s.s.s. (g/cm ³)	2.40	2.44	2.48	2.439
Peso específico aparente (g/cm ³)	2.51	2.57	2.64	2.570
Porcentaje de absorción (%)	2.88	3.52	4.17	3.520

E. Peso unitario Suelto y Compactado del agregado fino.

Se realizó el ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado fino, de la cantera Olano, siguiendo la norma NTP 400.017, los resultados se muestran en la tabla 35.

Tabla 35

Peso unitario suelto del agregado fino, de la cantera Olano.

Descripción	Ensayo N°01	Ensayo N°02	Ensayo N°03
Peso de la muestra suelta húmeda + peso del molde(g)	8926.00	8922.00	8930.00
Peso del molde (g)	4183.00	4183.00	4183.00
Peso de muestra con humedad (g)	4743.00	4739.00	4747.00
Volumen del molde (m ³)	0.00290	0.00290	0.00290
Peso unitario suelto húmedo (kg/m ³)	1635.64	1634.26	1637.02
Peso unitario suelto húmedo promedio (kg/m ³)		1635.64	
Peso unitario suelto seco (kg/m ³)		1564.16	

Tabla 36*Peso unitario Compactado del agregado fino, de la cantera Olano.*

Descripción	Ensayo N°01	Ensayo N°02	Ensayo N°03
Peso de la muestra compactada húmeda + peso del molde(g)	9371.00	9435.00	9468.00
Peso del molde (g)	4183.00	4183.00	4183.00
Peso de muestra con humedad (g)	5188.00	5252.00	5285.00
Volumen del molde (m3)	0.00290	0.00290	0.00290
Peso unitario compactado húmedo (kg/m3)	1789.10	1811.17	1822.55
Peso unitario compactado húmedo promedio (kg/m3)	1807.60		
Peso unitario compactado seco (kg/m3)	1728.61		

- **Del agregado grueso.**

A. Material fino que pasa el tamiz N° 200, del agregado grueso

Tabla 37*Material fino que pasa el tamiz N° 200.*

DESCRIPCIÓN	Ensayo N°01	Ensayo N°02	Ensayo N°03
Peso de la tara (g)	187.00	187.00	187.00
Peso muestra seca inicial (g)	5273.00	5550.00	5016.00
Peso de muestra seca lavada (g)	5252.00	5525.00	4998.00
peso de finos que pasa el tamiz 200 (g)	21.00	25.00	18.00
Material fino que pasa el tamiz N° 200 (%)	0.40%	0.45%	0.36%
Material fino que pasa el tamiz N° 200 (%) promedio	0.40%		

B. Análisis granulométrico del agregado grueso.

Tabla 38

Análisis granulométrico del agregado grueso, de la cantera Olano, ensayo N° 01.

ENSAYO N° 01					
Malla		Peso retenido parcial.	Porcentaje retenido parcial.	Porcentaje retenido acumulado.	Porcentaje acumulado que pasa.
N°	mm	g.	%	%	%
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	480.00	9.10	9.10	90.90
3/4"	19.00	2607.00	49.44	58.54	41.46
1/2"	12.50	2126.00	40.32	98.86	1.14
3/8"	9.50	36.00	0.68	99.54	0.46
N°4	4.75	3.00	0.06	99.60	0.40
N°8	2.36	0.00	0.00	99.60	0.40
N°16	1.18	0.00	0.00	99.60	0.40
N°30	0.60	0.00	0.00	99.60	0.40
N°50	0.30	0.00	0.00	99.60	0.40
N°100	0.15	0.00	0.00	99.60	0.40
N°200	0.075	0.00	0.00	99.60	0.40
Cazoleta	-----	21.00	0.40	100.00	0.00
TOTAL		5273.00			
TMN		1"			
MG		7.56			
HUSO		56			

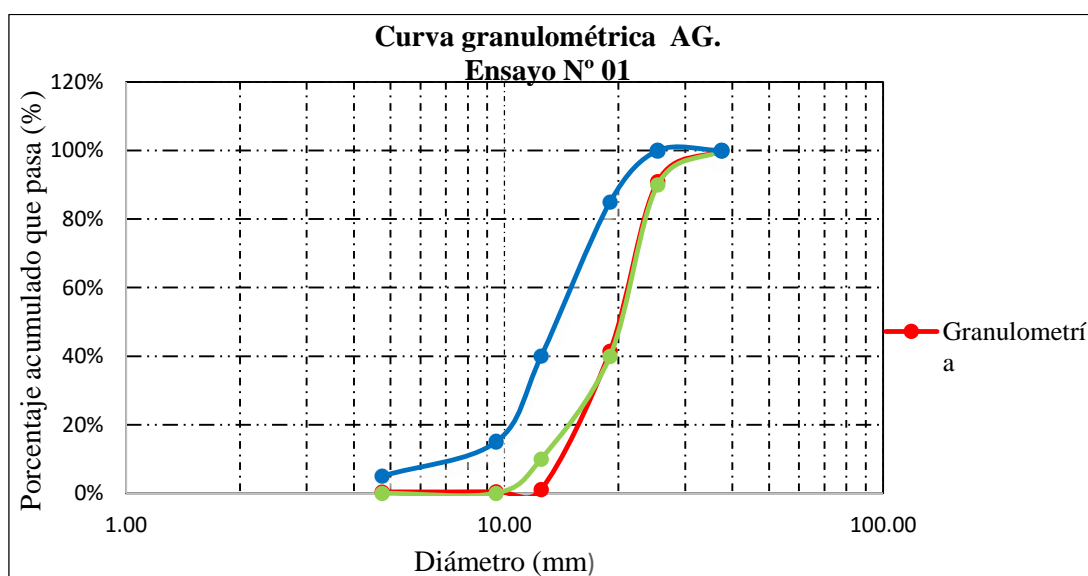


Figura 36: Curva granulométrica del agregado grueso (ensayo N°01)

Tabla 39

Análisis granulométrico del agregado grueso, de la cantera Olano, ensayo N° 02.

ENSAYO N° 02					
Malla		Peso retenido parcial.	Porcentaje retenido parcial.	Porcentaje retenido acumulado.	Porcentaje acumulado que pasa.
N°	mm	g.	%	%	%
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	545.00	9.90	9.90	90.10
3/4"	19.00	2709.00	49.23	59.13	40.87
1/2"	12.50	2178.00	39.58	98.71	1.29
3/8"	9.50	41.00	0.75	99.45	0.55
N°4	4.75	5.00	0.09	99.55	0.45
N°8	2.36	0.00	0.00	99.55	0.45
N°16	1.18	0.00	0.00	99.55	0.45
N°30	0.60	0.00	0.00	99.55	0.45
N°50	0.30	0.00	0.00	99.55	0.45
N°100	0.15	0.00	0.00	99.55	0.45
N°200	0.075	0.00	0.00	99.55	0.45
Cazoleta	-----	25.00	0.45	100.00	0.00
TOTAL		5503.00			
TMN		1"			
MG		7.56			
HUSO		56			

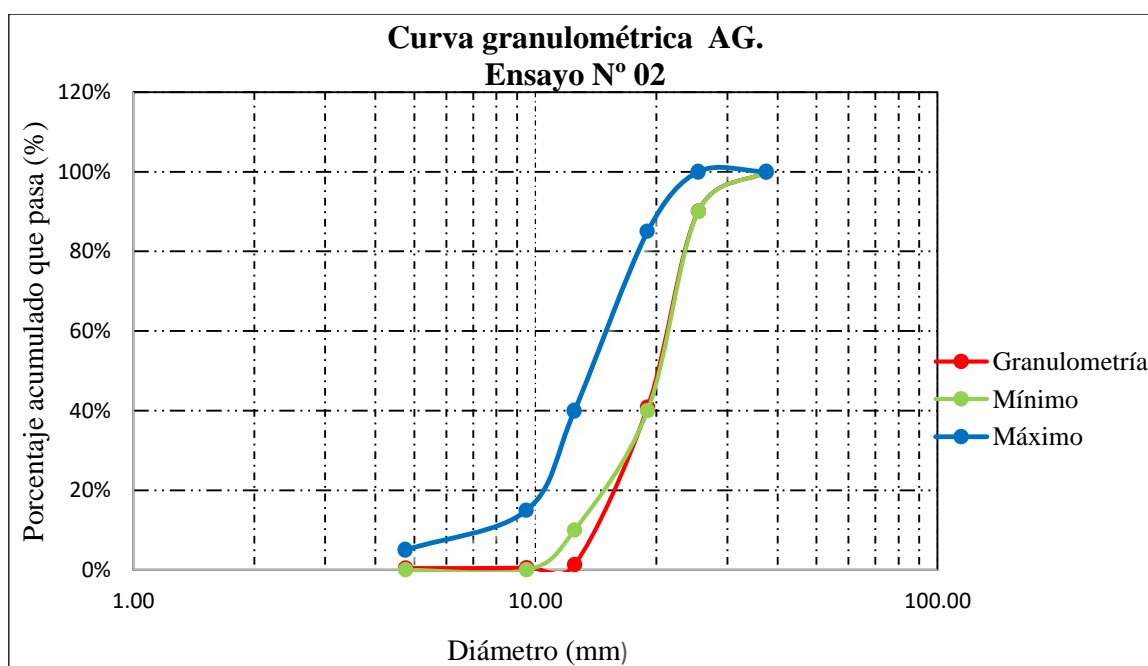


Figura 37: Curva granulométrica del agregado grueso (ensayo N°02).

Tabla 40

Análisis granulométrico del agregado grueso, de la cantera Olano, ensayo N° 03.

ENSAYO N° 03					
Malla		Peso retenido parcial.	Porcentaje retenido parcial.	Porcentaje retenido acumulado.	Porcentaje acumulado que pasa.
N°	mm	g.	%	%	%
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	417.00	8.26	8.26	91.74
3/4"	19.00	2506.00	49.61	57.87	42.13
1/2"	12.50	2075.00	41.08	98.95	1.05
3/8"	9.50	32.00	0.63	99.58	0.42
N°4	4.75	3.00	0.06	99.64	0.36
N°8	2.36	0.00	0.00	99.64	0.36
N°16	1.18	0.00	0.00	99.64	0.36
N°30	0.60	0.00	0.00	99.64	0.36
N°50	0.30	0.00	0.00	99.64	0.36
N°100	0.15	0.00	0.00	99.64	0.36
N°200	0.075	0.00	0.00	99.64	0.36
Cazoleta	-----	18.00	0.36	100.00	0.00
TOTAL		5051.00			
TMN		1"			
MG		7.56			
HUSO		56			

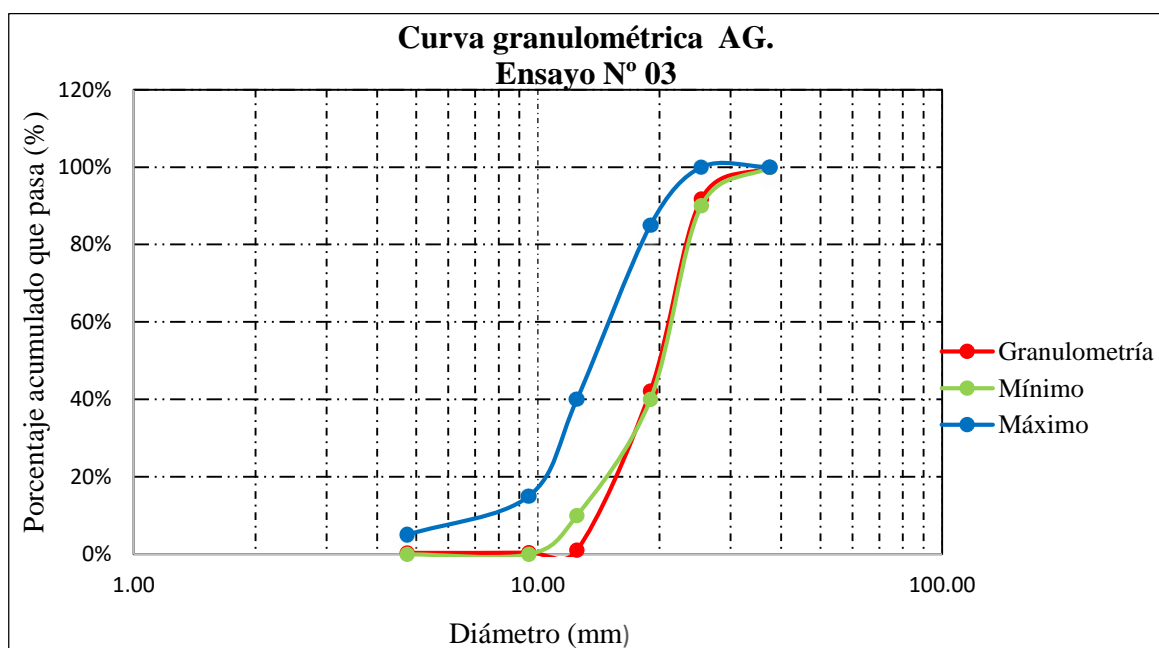


Figura 38: Curva granulométrica del agregado grueso (ensayo N°03)

Tabla 41*Promedio del módulo Granulométrico.*

MÓDULO GRANULOMÉTRICO PROMEDIO			
N° DE ENSAYO	1	2	3
Módulo Granulométrico	7.56	7.56	7.56
<i>Módulo Granulométrico promedio</i>	7.56		

C. Contenido de humedad del agregado grueso.**Tabla 42***Contenido de humedad en % del agregado grueso, de la cantera Olano.*

Descripción	Ensayo N°01	Ensayo N°02	Ensayo N°03
Peso de muestra húmeda (g)	3395	3380	3374
Peso de muestra seca (g)	3383	3370	3366
Contenido de humedad (%)	0.35	0.30	0.24
Contenido de humedad promedio (%)	0.30		

D. Peso específico y absorción del agregado grueso**Tabla 43***Valores obtenidos del ensayo, para los cálculos del peso específico y Absorción del agregado grueso.*

ITEM	Ensayo N°01	Ensayo N°02	Ensayo N°03
Peso de la muestra S.S.S (g)	3015	3025	3010
Peso de la canastilla (g)	1143	1143	1143
Peso de la muestra S.S.S sumergida en agua (g)	1893	1907	1882
Peso de la muestra secada al horno (g.)	2991	2998	2989

Tabla 44*Peso específico y absorción del agregado grueso, de la cantera Olano.*

Descripción	Ensayo N°01	Ensayo N°02	Ensayo N°03	Promedio
Peso específico de masa (g/cm ³)	2.67	2.68	2.65	2.666
Peso específico de la masa s.s.s. (g/cm ³)	2.69	2.71	2.67	2.687
Peso específico aparente (g/cm ³)	2.72	2.75	2.70	2.724
Porcentaje de absorción (%)	0.80	0.90	0.70	0.800

E. Peso unitario Suelto y Compactado del agregado grueso.

Los resultados del ensayo siguiendo la norma NTP 400.017, para el agregado grueso de la cantera Olano, es el siguiente:

Tabla 45

Peso unitario suelto del agregado grueso, de la cantera Olano.

Descripción	Ensayo N°01	Ensayo N°02	Ensayo N°03
Peso de la muestra suelta húmeda + peso del molde (g)	21227.00	21414.00	21352.00
Peso del molde (g)	7769.00	7769.00	7769.00
Peso de muestra con humedad (g)	13458.00	13645.00	13583.00
Volumen del molde (m ³)	0.00946	0.00946	0.00946
Peso unitario suelto húmedo (kg/m ³)	1422.62	1442.39	1435.84
Peso unitario suelto húmedo promedio (kg/m ³)		1433.62	
Peso unitario suelto seco (kg/m ³)		1429.36	

Tabla 46

Peso unitario compactado del agregado grueso, de la cantera Olano.

Descripción	Ensayo N°01	Ensayo N°02	Ensayo N°03
Peso de la muestra compactada húmeda + peso del molde (g)	22712.00	22641.00	22624.00
Peso del molde (g)	7769.00	7769.00	7769.00
Peso de muestra con humedad (g)	14943.00	14872.00	14855.00
Volumen del molde (m ³)	0.00946	0.00946	0.00946
Peso unitario compactado húmedo kg/m ³	1579.60	1572.09	1570.30
Peso unitario compactado húmedo promedio kg/m ³		1574.00	
Peso unitario compactado seco (kg/m ³)		1569.33	

F. Resistencia a la Abrasión del agregado Grueso.

El ensayo se realizó según la normativa NTP 400.019, para tamaños menores de 1½” utilizando la máquina los Ángeles, los resultados obtenidos son los siguientes.

Tabla 47*Peso unitario compactado del agregado grueso, de la cantera Olano.*

TAMICES		Ensayos N° 01	Ensayos N° 02	Ensayos N° 03
Abertura	Retenido en			
1 1/2"	1"	1250	1340	1320
1"	3/4"	1250	1340	1320
3/4"	1/2"	1250	1335	1310
1/2"	3/8"	1250	1335	1310
TOTAL		5000	5350	5260
N° de esferas			12	
Peso original de la Muestra (gr.)		5000	5350	5260
Peso final de la Muestra (gr.)		3940	4251	4110
Peso del desgaste del agregado		1060	1099	1150
% de abrasión		21.20	20.54	21.86
% De abrasión promedio		21.20		

ANEXO 02. FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO PÓRTLAND TIPO I – PACASMAYO.



Pacasmayo

Planta: Piura

CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.
Calle La Colonia Nro. 150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima
Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad
Teléfono 317 - 6000



G-CC-F-04
Versión 04

23 de abril de 2023

Cemento Pórtland Tipo I
Periodo de despacho 01 de marzo de 2023 - 31 de marzo de 2023

REQUISITOS NORMALIZADOS

NTP 334.009 Tablas 1 y 3

QUÍMICOS

Requisitos	Especificación	Resultado de ensayos
MgO (%)	6.0 máx.	1.5
SO3 (%)	3.0 máx.	2.8
Pérdida por ignición (%)	3.5 máx.	3.1
Residuo insoluble (%)	1.5 máx.	0.9

FÍSICOS

Requisitos	Especificación	Resultado de ensayos
Contenido de aire del mortero (volumen %)	12 máx.	7
Superficie específica (cm ² /g)	2600 mín.	3910
Expansión en autoclave (%)	0.80 máx.	0.04
Densidad (g/cm ³)	A	3.12
Resistencia a la compresión (MPa)		
1 día	A	14.3
3 días	12.0 mín.	26.8
7 días	19.0 mín.	31.5
28 días *	28.0 mín.	38.3
Tiempo de fraguado Vicat (minutos)		
Inicial	45 mín.	156
Final	375 máx.	270

A No especifica

* Requisito opcional

El (la) RC 28 días corresponde al mes de febrero del 2023

Certificamos que el cemento descrito arriba, al tiempo de envío, cumple con los requisitos químicos y físicos de la NTP 334.009.2020.

Ing. Edward Díaz Soldevilla

Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por:

Distribuidora Norte Pacasmayo S. R. L.

Está prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Cementos Pacasmayo S. A. A.

ANEXO 03. FICHA TÉCNICA Y CERTIFICADO DE CALIDAD DEL ADITIVO.



GAIA Nanosílice

Adicionante de cemento para concretos
De altas prestaciones

Fecha de Emisión: Mar 10, 05
Revisión: 14
Fecha de Revisión: Oct 7, 19
Pagina: 1 de 1

Industrias Ulmen S.A. Aditivos para concreto

Descripción

GAIA Nanosílice es un primer Adicionante base nanosílice generado durante 2004 por la sinergia Scitech Cognoscible/Ulmen

Pertenece a la línea GAIA NANOSÍLICE, donde las reacciones químicas en el hormigón convierten las nanopartículas de sílice en nanopartículas de cemento

Aspectos Técnicos

GAIA Nanosilice elimina el total de la sílice en polvo en cualquiera de sus alternativas, y también los superplastificantes, reduciendo al mínimo los reductores plastificantes.

Con **GAIA Nanosílice** se obtiene concretos de alto rendimiento: 70 MPa a R28

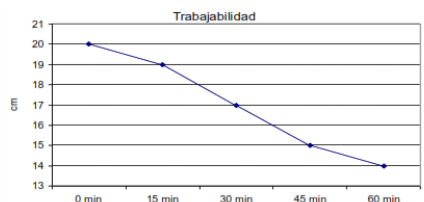
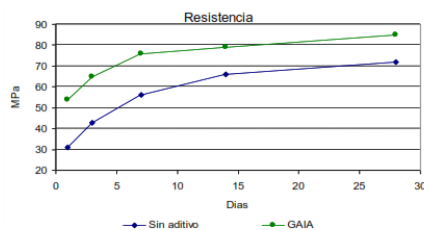
Ideal para concretos tipo "Fast Track", a usar dentro de las 24 horas posteriores al vaciado, con adecuadas dosificaciones, que permiten obtener hormigones impermeables según norma DIN 1048 o Nch 2262

Propiedades

Consecuencia de la menor actividad operacional, menor flujo de material con la consiguiente reducción de inventario, y ----- es líquido, amigable con el medio ambiente y la salud de los trabajadores.

Duración

6 meses almacenado en lugar fresco y protegido del sol, recomendado por nuestro Sistema de Control de Calidad, certificado bajo ISO 9001



Dosis

Recomendamos dosis de acuerdo a los concretos a elaborar. Lo ideal es contactar el servicio técnico ULMEN para optimizar su uso.

Presentación

En cilindro plástico de 220 kg
En dispenser retornable de 1100 kg

Propiedades físicas

Apariencia : Líquido
Color : Café Claro
Densidad : 1,03 ± 0,02 g/mL

Clasificación

GAIA Nanosilice se clasifica como aditivo tipo F según ASTM C494

Cooperativa las Vertientes, Calle 4, Mz C-1 Sub Lt 2-F Villa El Salvador – Lima
Teléfonos (01) 719-4126 / 719-4127

www.cognoscibletechnologies.com

www.ulmen.cl

atencionalcliente@ulmen.cl



CERTIFICADO DE CALIDAD

El departamento técnico de Industrias Ulmen S.A. Certifica que el producto que se indica cumple los requisitos de uniformidad indicados en la norma NTP 334.088, y con nuestros estándares de calidad.

Producto : GAIA
Lote : 1550523
Fabricado : 08/05/2023
Vence : 08/11/2023

Los parámetros controlados se muestran a continuación

ENSAYO	ESPECIFICACIÓN	RESULTADO
Sólidos	5 ± 2	3,8
Densidad	1,03 ± 0,02 (g/ml)	1,03
Sólidos	15 ± 1,8 (%)	14,9
Color	Café claro	Cumple

El presente aditivo tiene una vida útil de 6 meses almacenado en lugar fresco y protegido del sol, recomendado por nuestro Sistema de Control de Calidad, certificado bajo ISO 9001:2015

Alfredo Marín Tovar
Encargado de Control de Calidad
Industrias Ulmen S.A.

ANEXO 04. DISEÑO DE MEZCLAS.

DISEÑO DE MEZCLAS CP-AF0-N0

(Concreto permeable con 0.0% de agregado fino y 0.0% de aditivo Nanosilíce)

1. Propiedades de los materiales.

1.1. Agregado fino y agregado Grueso.

Propiedades de los agregados.	Agregado fino	Agregado grueso
Material Fino que pasa el tamiz N° 200.	6.10%	0.40%
MF/MG	2.58	7.56
TMN		1"
HUSO		56
Contenido de humedad del agregado %	4.37	0.27
Peso específico g/cm ³)	2.356	2.666
Peso específico de la masa s.s.s. (g/cm ³)	2.439	2.687
Peso específico aparente (g/cm ³)	2.57	2.724
Porcentaje de absorción (%)	3.52	0.80
Peso unitario suelto seco (kg/m ³)	1564.16	1429.36
Peso unitario compactado seco (kg/m ³)	1728.61	1569.33
% De desgaste por abrasión		21.20%

1.2. Cemento.

Peso específico de masa del cemento $P \cdot e_c = 3.12 \text{ g/cm}^3$

1.3. Agua.

Agua potable de la ciudad de Jaén.

2. Consideraciones iniciales de diseño.

Se desea alcanzar que las resistencias y propiedades hidráulicas de la mezcla sin adiciones (CP-AF0-N0) se encuentre dentro de los valores típicos de resistencia de concreto permeable las cuales se muestran en la tabla 8, empleando la metodología de diseño Castro, Solminihaç, Videla y Fernández (2009).

3. Procedimiento de diseño.

3.1. Relación agua cemento (a/c).

$$a/c = 0.30$$

Se realizaron pruebas para obtener la relación agua cemento que permita mantener una consistencia adecuada que permita la unión de los áridos y mantenga el porcentaje de vacíos, se probó valores de 0.40, 0.35 y 0.30, siendo esta última la que permitió un recubrimiento adecuado en los áridos, sin originar fluidez que puedan obstruir la matriz de vacíos.

3.2. Porcentaje de volumen de Vacíos.

El porcentaje de vacíos de diseño asumido es de 15%.

3.3. Volumen de pasta.

a. Factor de compactación

$$FC = -3.37x\left(\frac{a}{c}\right)^2 + 3.49x\left(\frac{a}{c}\right) + 0.11$$

como datos se tiene: $a/c = 0.30$

$$\Rightarrow FC = 0.85$$

Según Castro, Solminihac, Videla y Fernández (2009), el valor de FC tiene que variar entre 0.84 y 0.99.

b. Porosidad del esqueleto granular.

$$\text{Porosidad}_{\text{Esqueleto granular}} = \left(1 - \frac{\text{Peso unitario compactado}_{\text{Grava}} \times FC}{\text{Densidad real}_{\text{Grava}}}\right)$$

como datos se tiene:

$$\text{Peso unitario compactado}_{\text{Grava}} = 1569.33 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad real}_{\text{Grava}} = 2666.00 \text{ kg/m}^3$$

$$\Rightarrow \text{Porosidad del esqueleto granular} = 0.497$$

c. Volumen de la pasta.

$$V_p = \text{Porosidad}_{\text{Esq. Granular}} - \text{Porcentaje de vacíos de Diseño}$$

como datos se tiene:

$$\text{Porosidad del esqueleto granular} = 0.497$$

$$\text{Porcentaje de vacíos de diseño} = 15\%$$

$$\Rightarrow V_p = 0.497 - 0.15$$

$$V_p = 0.35 \text{ m}^3$$

3.4. Peso y Volumen de Cemento

$$P_c = \frac{V_p}{\frac{1}{p.e_c} + a/c} \times 1000 \quad V_c = \frac{P_c}{p.e_c \times 1000}$$

como datos se tiene:

$$a/c = 0.30$$

$$p.e_c = 3.12 \text{ g/cm}^3$$

$$V_p = 0.35 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow P_c = 559.98 \text{ kg/m}^3$$

$$V_c = 0.179 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

3.5. Peso y Volumen del agua

$$P_a = P_c \times a/c \quad V_a = \frac{P_a}{D_a}$$

como datos se tiene:

$$P_c = 559.98 \text{ kg/m}^3$$

$$a/c = 0.30$$

\Rightarrow

$$P_a = 167.99 \text{ kg/m}^3$$

$$V_a = 0.168 \text{ m}^3$$

3.6. Peso y volumen de agregado grueso.

a. Volumen de agregado grueso seco.

$$V_{AG} = 1 - (V_c + V_a + V_{vacios})$$

como datos se tiene:

$$V_c = 0.179 \text{ m}^3$$

$$V_a = 0.168 \text{ m}^3$$

$$V_{vacios} = 15\%$$

\Rightarrow

$$V_{AG} = 0.503 \text{ m}^3$$

b. Peso de agregado grueso seco.

$$P. S_{A.G} = V. S_{A.G} \times p. e_{A.G} \times 1000$$

como datos se tiene:

$$V. S_{A.G} = 0.503 \text{ m}^3$$

$$p. e_{A.G} = 2.666 \text{ g/cm}^3$$

\Rightarrow

$$P. S_{A.G} = 1339.737 \text{ kg/m}^3$$

3.7. Peso seco y volumen de los materiales para 1m³ de concreto.

Material	Peso Seco	Volumen Seco
Cemento	559.977	0.179
Agregado G.	1339.737	0.503
Agua	167.99	0.168
Aire	-	0.150
Total	2067.707	1.000

3.8. Corrección por humedad.

a. Peso húmedo del agregado grueso.

$$P. W_{A.G} = \left(1 + \frac{W_{A.G}}{100}\right) \times P. S_{A.G}$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned} W_{A.G} &= 0.270 \quad \% \\ P. S_{A.G} &= 1339.737 \quad \text{kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow P. W_{A.G} = 1343.35 \quad \text{kg/m}^3$$

b. Volumen del agregado grueso húmedo.

$$V. W_{A.G} = \frac{P. W_{A.G}}{p. e. sss_{A.G} \times 1000}$$

como datos se tiene:

$P. W_{A.G}$	=	1343.35	kg/m ³
$p. e. sss_{A.G}$	=	2.69	g/cm ³

$$\Rightarrow V. W_{A.G} = 0.500 \quad \text{m}^3$$

c. Aporte de humedad de los agregados.

Humedad superficial del agregado grueso:

$$W. S_{A.G} = W_{A.G} - A_{A.G}$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned} W_{A.G} &= 0.27 \quad \% \\ A_{A.G} &= 0.80 \quad \% \end{aligned}$$

\Rightarrow

$$W. S_{A.G} = -0.53 \quad \%$$

Aporte de humedad de los agregados

$$A. W_{A.G} = W. S_{A.G} \times P. S_{A.G}$$

$$A. W_{A.G} = -7.101 \quad \text{lt/m}^3$$

d. Agua efectiva.

$$P_{a.e} = P_a - (A \cdot W_{A.G} + A \cdot W_{A.F}) \quad V_{a.e} = \frac{P_{a.e}}{D_a}$$

$$P_{a.e} = 175.09 \text{ Kg}$$

$$V_{a.e} = 0.17 \text{ m}^3$$

3.9. Cantidad de materiales corregido por humedad, por 1m³ de mezcla.

a. En peso húmedo por m³

Agua efectiva de mezclado	=	175.09	lts
Cemento	=	559.98	kg
Agregado grueso	=	1343.35	kg
Total	=	2078.43	kg

b. En volumen por m³

Agua efectiva de mezclado	=	0.17	m ³
Cemento	=	0.18	m ³
Agregado grueso	=	0.50	m ³
Total	=	0.85	m ³

Por lo tanto el porcentaje de vacíos = 15%

3.10. Proporcionamiento de los materiales.

- Proporcionamiento en peso.

$$\frac{559.98}{559.98} \quad \frac{1343.35}{559.98} \quad \frac{175.09}{559.98} \quad / \quad \times 42.5 \text{ lts/bolsa}$$

$$1 \quad : 2.40 \quad / \quad 13.29 \quad \text{lts/bolsa}$$

3.11. Proporcionamiento de los materiales para pruebas en el laboratorio. Para 3 especímenes.

a. Dimensión de Testigos cilíndricos

$$D \text{ (diámetro promedio)} = 0.154 \text{ m}$$

$$h \text{ (altura promedio)} = 0.304 \text{ m}$$

Considerando un desperdicio de 7%

$$\text{Volumen (aproximado)} = 0.0182$$
$$\text{Volumen (aproximado)} = 0.020 \text{ m}^3$$

b. Materiales para tres especímenes (corregidos por humedad)

Cemento	:	11.200	kg
Agua efectiva	:	3.502	lts
Agregado grueso	:	26.867	kg

DISEÑO DE MEZCLAS CP-AF5-N0

(Concreto permeable con 5.0% de agregado fino y 0.0% de aditivo Nanosílice)

1. Propiedades de los materiales.

1.1. Agregado fino y agregado Grueso.

Propiedades de los agregados.	Agregado fino	Agregado grueso
Contenido de humedad del agregado %	3.761	0.27

1.2. Cemento.

Peso específico de masa del cemento $p \cdot e_c = 3.12 \text{ g/cm}^3$

1.3. Agua.

Agua potable de la ciudad de Jaén.

2. Consideraciones iniciales de diseño.

Dado que, lo que se busca evaluar es el comportamiento de las propiedades del concreto permeable con la adición de agregado fino y aditivo Nanosílice, para esta mezcla corresponde adicionar el 5% de agregado fino respecto al volumen total de agregados, del diseño base sin adiciones.

3. Procedimiento de diseño.

3.1. Relación agua cemento (a/c).

$$a/c = 0.30$$

3.2. Porcentaje de volumen de Vacíos.

El porcentaje de vacíos de diseño asumido es de 15%.

3.3. Volumen de pasta.

a. Factor de compactación

$$FC = -3.37x \left(\frac{a}{c}\right)^2 + 3.49x \left(\frac{a}{c}\right) + 0.11$$

como datos se tiene: $a/c = 0.30$

$$\Rightarrow FC = 0.85$$

Según Castro, Solminihaç, Videla y Fernández (2009), el valor de FC tiene que variar entre 0.84 y 0.99.

b. Porosidad del esqueleto granular.

$$\text{Porosidad}_{\text{Esqueleto granular}} = \left(1 - \frac{\text{Peso unitario compactado}_{\text{Grava}} \times \text{FC}}{\text{Densidad real}_{\text{Grava}}} \right)$$

como datos se tiene:

$$\text{Peso unitario compactado}_{\text{Grava}} = 1569.33 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad real}_{\text{Grava}} = 2666.00 \text{ kg/m}^3$$

$$\Rightarrow \text{Porosidad del esqueleto granular} = 0.497$$

c. Volumen de la pasta.

$$V_p = \text{Porosidad}_{\text{Esq. Granular}} - \text{Porcentaje de vacíos de Diseño}$$

como datos se tiene:

$$\text{Porosidad del esqueleto granular} = 0.497$$

$$\text{Porcentaje de vacíos de diseño} = 15\%$$

$$\Rightarrow V_p = 0.497 - 0.15$$

$$V_p = 0.35 \text{ m}^3$$

3.4. Peso y Volumen de Cemento

$$P_c = \frac{V_p}{\frac{1}{p.e_c} + a/c} \times 1000 \quad V_c = \frac{P_c}{p.e_c \times 1000}$$

como datos se tiene:

$$a/c = 0.30$$

$$p.e_c = 3.12 \text{ g/cm}^3$$

$$V_p = 0.35 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow P_c = 559.98 \text{ kg/m}^3$$

$$V_c = 0.179 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

3.5. Peso y Volumen del agua.

$$P_a = P_c \times a/c \quad V_a = \frac{P_a}{D_a}$$

como datos se tiene:

$$P_c = 559.98 \text{ kg/m}^3$$

$$a/c = 0.30$$

\Rightarrow

$$P_a = 167.99 \text{ kg/m}^3$$

$$V_a = 0.168 \text{ m}^3$$

3.6. Peso y volumen de agregado grueso.

- a. Volumen de agregado grueso seco.

$$V_{AG} = 1 - (V_c + V_a + V_{vacios})$$

como datos se tiene:

$$V_c = 0.179 \text{ m}^3$$

$$V_a = 0.168 \text{ m}^3$$

$$V_{vacios} = 15\%$$

⇒

$$V_{AG} = 0.503 \text{ m}^3$$

- b. Peso de agregado grueso seco.

$$P. S_{A.G} = V. S_{A.G} \times p. e_{A.G} \times 1000$$

como datos se tiene:

$$V. S_{A.G} = 0.503 \text{ m}^3$$

$$p. e_{A.G} = 2.666 \text{ g/cm}^3$$

⇒

$$P. S_{A.G} = 1339.737 \text{ kg/m}^3$$

3.7. Peso y Volumen de agregado fino.

- a. Volumen de agregado fino

$$V. S_{AF} = V. S_{A.G} \times \frac{a/A}{1 - a/A}$$

como datos se tiene:

$$a/A = 5.00\%$$

$$V. S_{A.G} = 0.503 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow V. S_{AF} = 0.0264 \text{ m}^3$$

- b. Peso de agregado fino seco

$$P. S_{AF} = V. S_{AF} \times p. e_{AF} \times 1000$$

como datos se tiene:

$$V. S_{AF} = 0.0264 \text{ m}^3$$

$$p. e_{AF} = 2.356 \text{ g/cm}^3$$

$$\Rightarrow P. S_{AF} = 62.313 \text{ kg/m}^3$$

3.8. Corrección de volumen y peso del A.G por incorporación de A.F

Volumen inicial de AG	0.503 m3
Volumen de A.F	<u>0.0264 m3</u>
Volumen corregido	0.476 m3

$$\text{Peso de AG corregido} = 1269.225 \text{ kg}$$

3.9. Peso seco y volumen de los materiales para 1m3 de concreto.

Material	Peso Seco	Volumen Seco
Cemento	559.977	0.179
Agregado F.	62.313	0.026
Agregado G.	1269.225	0.476
Agua	167.99	0.168
Aire	-	0.15
Total	1997.195	1.000

3.10. Corrección por humedad.

a. Peso húmedo del agregado grueso.

$$P. W_{A.G} = \left(1 + \frac{W_{A.G}}{100}\right) X P. S_{A.G}$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned} W_{A.G} &= 0.270 \% \\ P. S_{A.G} &= 1269.225 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

⇒

$$P. W_{A.G} = 1272.651 \text{ kg/m}^3$$

b. Volumen del agregado grueso húmedo.

$$V. W_{A.G} = \frac{P. W_{A.G}}{p. e. sss_{A.G} \times 1000}$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned} P. W_{A.G} &= 1272.651 \text{ kg/m}^3 \\ p. e. sss_{A.G} &= 2.69 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

⇒

$$V. W_{A.G} = 0.474 \text{ m}^3$$

c. Peso húmedo del agregado fino.

$$P. W_{A.F} = \left(1 + \frac{W_{A.F}}{100}\right) \times P. S_{A.F}$$

como datos se tiene:

$$W_{A.F} = 3.761 \%$$

$$P. S_{A.F} = 62.313 \text{ kg}$$

$$\Rightarrow P. W_{A.F} = 64.657 \text{ kg/m}^3$$

d. Volumen del agregado fino húmedo.

$$V. W_{A.F} = \frac{P. W_{A.F}}{p. e. sss_{A.F} \times 1000}$$

como datos se tiene:

$$P. W_{A.F} = 64.657 \text{ kg/m}^3$$

$$p. e. sss_{A.F} = 2.439 \text{ g/cm}^3$$

$$\Rightarrow V. W_{A.F} = 0.03 \text{ m}^3$$

e. Aporte de humedad de los agregados.

Humedad superficial del agregado grueso:

$$W. S_{A.G} = W_{A.G} - A_{A.G}$$

como datos se tiene:

$$W_{A.G} = 0.27\%$$

$$A_{A.G} = 0.80\%$$

$$\Rightarrow W. S_{A.G} = -0.53\%$$

Humedad superficial del agregado fino

$$W. S_{A.F} = W_{A.F} - A_{A.F}$$

como datos se tiene:

$$W_{A.F} = 3.76 \%$$

$$A_{A.F} = 3.52 \%$$

\Rightarrow

$$W. S_{A.F} = 0.2413 \%$$

Aporte de humedad de los agregados

$$A. W_{A.G} = W. S_{A.G} \times P. S_{A.G}$$

$$A. W_{A.G} = -6.727 \text{ lt/m}^3$$

$$A. W_{A.F} = \frac{A. W_{A.F} = W. S_{A.F} \times P. S_{A.F}}{0.150} \quad \text{lt/m}^3$$

f. Agua efectiva.

$$P_{a.e} = P_a - (A. W_{A.G} + A. W_{A.F}) \quad V_{a.e} = \frac{P_{a.e}}{D_a}$$

$$P_{a.e} = 174.57 \text{ Kg} \quad V_{a.e} = 0.17 \text{ m}^3$$

3.11. Cantidad de materiales corregido por humedad, por 1m3 de mezcla.

a. En peso húmedo por m3

Agua efectiva de mezclado	=	174.57	lts
Cemento	=	559.98	kg
Agregado fino	=	64.66	kg
Agregado grueso	=	1272.65	kg
Total	=	2071.86	kg

b. En volumen por m3

Agua efectiva de mezclado	=	0.17	m3
Cemento	=	0.18	m3
Agregado fino	=	0.03	m3
Agregado grueso	=	0.47	m3
Total	=	0.85	m3

Por lo tanto el porcentaje de vacíos = 15%

3.12. Proporcionamiento de los materiales.

- Proporcionamiento en peso.

$$\frac{559.98}{559.98} \quad \frac{64.66}{559.98} \quad \frac{1272.65}{559.98} \quad / \quad \frac{174.57}{559.98} \quad \times 42.5 \text{ lts/bolsa}$$

$$1 \quad 0.12 \quad 2.27 \quad / \quad 13.25 \quad \text{lts/bolsa}$$

3.13. Proporcionamiento de los materiales para pruebas en el laboratorio. Para 3 especímenes.

a. Dimensión de testigos cilíndricos

$$D \text{ (diámetro promedio)} = 0.154 \text{ m}$$

$$h \text{ (altura promedio)} = 0.304 \text{ m}$$

Considerando un desperdicio de 7%

$$\text{Volumen (aproximado)} = 0.0182 \text{ m}^3$$

b. Materiales para tres especímenes (corregidos por humedad)

Cemento	:	11.200	kg
Agua efectiva	:	3.491	kg
Agregado fino	:	1.293	kg
Agregado grueso	:	25.453	kg

DISEÑO DE MEZCLAS CP-AF10-N0

(Concreto permeable con 10.0% de agregado fino y 0.0% de aditivo Nanosílice)

1. Propiedades de los materiales.

1.1. Agregado fino y agregado Grueso.

Propiedades de los agregados.	Agregado fino	Agregado grueso
Contenido de humedad del agregado %	3.761	0.27

1.2. Cemento.

$$\text{Peso específico de masa del cemento } p \cdot e_c = 3.12 \text{ g/cm}^3$$

1.3. Agua.

Agua potable de la ciudad de Jaén.

2. Consideraciones iniciales de diseño.

Dado que, lo que se busca evaluar es el comportamiento de las propiedades del concreto permeable con la adición de agregado fino y aditivo Nanosílice, para esta mezcla corresponde adicionar el 10% de agregado fino respecto al volumen total de agregados, del diseño base sin adiciones.

3. Procedimiento de diseño.

3.1. Relación agua cemento (a/c).

$$a/c = 0.30$$

3.2. Porcentaje de volumen de Vacíos.

El porcentaje de vacíos de diseño asumido es de 15%.

3.3. Volumen de pasta.

a. Factor de compactación

$$FC = -3.37x \left(\frac{a}{c}\right)^2 + 3.49x \left(\frac{a}{c}\right) + 0.11$$

como datos se tiene: $a/c = 0.30$

$$\Rightarrow FC = 0.85$$

Según Castro, Solminihaç, Videla y Fernández (2009), el valor de FC tiene que variar entre 0.84 y 0.99.

b. Porosidad del esqueleto granular.

$$\text{Porosidad}_{\text{Esqueleto granular}} = \left(1 - \frac{\text{Peso unitario compactado}_{\text{Grava}} \times FC}{\text{Densidad real}_{\text{Grava}}} \right)$$

como datos se tiene:

$$\text{Peso unitario compactado}_{\text{Grava}} = 1569.33 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad real}_{\text{Grava}} = 2666.00 \text{ kg/m}^3$$

$$\Rightarrow \text{Porosidad del esqueleto granular} = 0.497$$

c. Volumen de la pasta.

$$V_p = \text{Porosidad}_{\text{Esq. Granular}} - \text{Porcentaje de vacíos de Diseño}$$

como datos se tiene:

$$\text{Porosidad del esqueleto granular} = 0.497$$

$$\text{Porcentaje de vacíos de diseño} = 15\%$$

$$\Rightarrow V_p = 0.497 - 0.15$$

$$V_p = 0.35 \text{ m}^3$$

3.4. Peso y Volumen de Cemento

$$P_c = \frac{V_p}{\frac{1}{p.e_c} + a/c} \times 1000 \quad V_c = \frac{P_c}{p.e_c \times 1000}$$

como datos se tiene:

$$a/c = 0.30$$

$$p.e_c = 3.12 \text{ g/cm}^3$$

$$V_p = 0.35 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow P_c = 559.98 \text{ kg/m}^3$$

$$V_c = 0.179 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

3.5. Peso y Volumen del agua.

$$P_a = P_c \times a/c \quad V_a = \frac{P_a}{D_a}$$

como datos se tiene:

$$P_c = 559.98 \text{ kg/m}^3$$

$$a/c = 0.30$$

$$\Rightarrow \begin{aligned} P_a &= 167.99 \text{ kg/m}^3 \\ V_a &= 0.168 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

3.6. Peso y volumen de agregado grueso.

a. Volumen de agregado grueso seco.

$$V_{AG} = 1 - (V_c + V_a + V_{vacios})$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned} V_c &= 0.179 \text{ m}^3 \\ V_a &= 0.168 \text{ m}^3 \\ V_{vacios} &= 15\% \end{aligned}$$

$$\Rightarrow V_{AG} = 0.503 \text{ m}^3$$

b. Peso de agregado grueso seco.

$$P. S_{A.G} = V. S_{A.G} \times p. e_{A.G} \times 1000$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned} V. S_{A.G} &= 0.503 \text{ m}^3 \\ p. e_{A.G} &= 2.666 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow P. S_{A.G} = 1339.737 \text{ kg/m}^3$$

3.7. Peso y Volumen de agregado fino.

a. Volumen de agregado fino

$$V. S_{AF} = V. S_{A.G} \times \frac{a/A}{1 - a/A}$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned} a/A &= 10.00\% \\ V. S_{A.G} &= 0.503 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow V. S_{AF} = 0.0558 \text{ m}^3$$

b. Peso de agregado fino seco.

$$P. S_{A.F} = V. S_{A.F} \times p. e_{A.F} \times 1000$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned} V. S_{A.F} &= 0.0558 \text{ m}^3 \\ p. e_{A.F} &= 2.356 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow P.S_{A.F} = 131.550 \text{ kg/m}^3$$

3.8. Corrección de volumen y peso del A.G por incorporación de A.F

Volumen inicial de AG	0.503 m ³
Volumen de A.F	0.0558 m ³
Volumen corregido	0.447 m ³

$$\text{Peso de AG corregido} = 1190.877 \text{ kg}$$

3.9. Peso seco y volumen de los materiales para 1m³ de concreto.

Material	Peso Seco	Volumen Seco
Cemento	559.977	0.179
Agregado F.	131.550	0.056
Agregado G.	1190.877	0.447
Agua	167.99	0.168
Aire	-	0.150
Total	1918.848	1.000

3.10. Corrección por humedad.

a. Peso húmedo del agregado grueso.

$$P. W_{A.G} = \left(1 + \frac{W_{A.G}}{100}\right) X P. S_{A.G}$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned} W_{A.G} &= 0.270 \% \\ P. S_{A.G} &= 1190.877 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow P. W_{A.G} = 1194.093 \text{ kg/m}^3$$

b. Volumen del agregado grueso húmedo.

$$V. W_{A.G} = \frac{P. W_{A.G}}{p. e. sss_{A.G} \times 1000}$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned} P. W_{A.G} &= 1194.0927 \text{ kg/m}^3 \\ p. e. sss_{A.G} &= 2.687 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow V. W_{A.G} = 0.44 \text{ m}^3$$

c. Peso húmedo del agregado fino.

$$P. W_{A.F} = \left(1 + \frac{W_{A.F}}{100}\right) X P. S_{A.F}$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned}W_{A.F} &= 3.761 \% \\P.S_{A.F} &= 131.55 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\Rightarrow P.W_{A.F} = 136.498 \text{ kg/m}^3$$

d. Volumen del agregado fino húmedo.

$$V.W_{A.F} = \frac{P.W_{A.F}}{p.e.sss_{A.F} \times 1000}$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned}P.W_{A.F} &= 136.498 \text{ kg/m}^3 \\p.e.sss_{A.F} &= 2.439 \text{ g/cm}^3\end{aligned}$$

$$\Rightarrow V.W_{A.F} = 0.056 \text{ m}^3$$

e. Aporte de humedad de los agregados.

Humedad superficial del agregado grueso:

$$W.S_{A.G} = W_{A.G} - A_{A.G}$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned}W_{A.G} &= 0.27 \% \\A_{A.G} &= 0.80 \%\end{aligned}$$

$$\Rightarrow W.S_{A.G} = -0.53 \%$$

Humedad superficial del agregado fino

$$W.S_{A.F} = W_{A.F} - A_{A.F}$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned}W_{A.F} &= 3.76 \% \\A_{A.F} &= 3.52 \%\end{aligned}$$

\Rightarrow

$$W.S_{A.F} = 0.241 \%$$

Aporte de humedad de los agregados

$$\begin{aligned}A.W_{A.G} &= W.S_{A.G} \times P.S_{A.G} \\A.W_{A.G} &= -6.312 \text{ lt/m}^3 \\A.W_{A.F} &= W.S_{A.F} \times P.S_{A.F} \\A.W_{A.F} &= 0.317 \text{ lt/m}^3\end{aligned}$$

f. Agua efectiva.

$$P_{a.e} = P_a - (A \cdot W_{A.G} + A \cdot W_{A.F}) \qquad V_{a.e} = \frac{P_{a.e}}{D_a}$$

$$P_{a.e} = 173.99 \text{ Kg}$$

$$V_{a.e} = 0.17 \text{ m}^3$$

3.11. Cantidad de materiales corregido por humedad, por 1m3 de mezcla.

a. En peso húmedo por m3

Agua efectiva de mezclado	=	173.99	lts
Cemento	=	559.98	kg
Agregado fino	=	136.50	kg
Agregado grueso	=	1194.09	kg
Total	=	2064.56	kg

b. En volumen por m3

Agua efectiva de mezclado	=	0.17	m3
Cemento	=	0.18	m3
Agregado fino	=	0.06	m3
Agregado grueso	=	0.44	m3
Total	=	0.85	m3

Por lo tanto el porcentaje de vacíos = 15%

3.12. Proporcionamiento de los materiales.

- Proporcionamiento en peso.

$$\frac{559.98}{559.98} \quad \frac{136.50}{559.98} \quad \frac{1194.09}{559.98} \quad / \quad \frac{173.99}{559.98} \quad \times 42.5 \text{ lts/bolsa}$$

$$1 \quad 0.24 \quad 2.13 \quad / \quad 13.20 \quad \text{lts/bolsa}$$

3.13. Proporcionamiento de los materiales para pruebas en el laboratorio. Para 3 especímenes.

a. Dimensión de testigos cilíndricos

D (diámetro promedio) = 0.154 m

h (altura promedio) = 0.304 m

Considerando un desperdicio de 7%

Volumen (aproximado) = 0.0182 / 0.020 m3

b. Materiales para tres especímenes (corregidos por humedad)

Cemento	:	11.200	kg
Agua efectiva	:	3.48	kg
Agregado fino	:	1.73	kg
Agregado grueso	:	23.88	kg

DISEÑO DE MEZCLAS CP-AF0-N0.5

(Concreto permeable con 0.0% de agregado fino y 0.5% de aditivo Nanosíllice)

1. Propiedades de los materiales.

1.1. Agregado fino y agregado Grueso.

Propiedades de los agregados.	Agregado fino	Agregado grueso
Contenido de humedad del agregado %	4.37	0.27

1.2. Cemento.

Peso específico de masa del cemento $p \cdot e_c = 3.12 \text{ g/cm}^3$

1.3. Agua.

Agua potable de la ciudad de Jaén.

2. Consideraciones iniciales de diseño.

Como el objetivo del presente estudio es evaluar el comportamiento de las propiedades del concreto permeable con la adición de agregado fino y aditivo Nanosíllice. Para esta mezcla se adicionará el 0.5% de aditivo Nanosíllice al diseño base que no presenta adiciones.

3. Procedimiento de diseño.

Del diseño base sin adiciones se obtuvo las siguientes proporciones de material en peso seco, por metro cúbico:

Peso seco y volumen de los materiales para 1m³ de concreto.

Material	Peso Seco	Volumen Seco
Cemento	559.977	0.179
Agregado G.	1339.737	0.503
Agua	167.99	0.168
Aire	-	0.150
Total	2067.707	1.000

3.1. Corrección por humedad.

a. Peso húmedo del agregado grueso.

$$P. W_{A.G} = \left(1 + \frac{W_{A.G}}{100}\right) \times P. S_{A.G}$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned} W_{A.G} &= 0.270 \quad \% \\ P. S_{A.G} &= 1339.737 \quad \text{kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow P. W_{A.G} = 1343.35 \quad \text{kg/m}^3$$

b. Volumen del agregado grueso húmedo.

$$V. W_{A.G} = \frac{P. W_{A.G}}{p. e. sss_{A.G} \times 1000}$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned} P. W_{A.G} &= 1343.35 \quad \text{kg/m}^3 \\ p. e. sss_{A.G} &= 2.69 \quad \text{g/cm}^3 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow V. W_{A.G} = 0.500 \quad \text{m}^3$$

c. Aporte de humedad de los agregados.

Humedad superficial del agregado grueso:

$$W. S_{A.G} = W_{A.G} - A_{A.G}$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned} W_{A.G} &= 0.27 \quad \% \\ A_{A.G} &= 0.80 \quad \% \end{aligned}$$

$$\Rightarrow W. S_{A.G} = -0.53 \quad \%$$

Aporte de humedad de los agregados

$$A. W_{A.G} = W. S_{A.G} \times P. S_{A.G}$$

$$A. W_{A.G} = -7.101 \quad \text{lt/m}^3$$

d. Agua efectiva.

$$P_{a.e} = P_a - (A. W_{A.G} + A. W_{A.F}) \quad V_{a.e} = \frac{P_{a.e}}{D_a}$$

$$P_{a.e} = 175.09 \quad \text{Kg}$$

$$V_{a.e} = 0.17 \quad \text{m}^3$$

3.2.Cálculo de aditivo y reducción de agua efectiva.

- Peso y volumen del aditivo.

$$\text{peso de aditivo (Pad)} = 0.5\% \text{ de Pc}$$

⇒

$$P_{ad} = \frac{0.50}{100} \cdot 559.98$$

$$P_{ad} = 2.80 \text{ kg}$$

$$\text{Volumen de aditivo (V}_{ad}) \text{ densidad del aditivo} = 1.03 \text{ g/cm}^3$$

$$V_{ad} = 0.003 \text{ m}^3$$

- Reducción de agua efectiva por el aditivo

En las pruebas de laboratorio se verificó que es necesario la reducción de agua, para reducir la fluidez originada por el aditivo provocando que el agregado tenga poco recubrimiento y obstrucción de los poros, con una reducción del 15% de agua efectiva, se logró verificar, una mayor consistencia de la pasta y un mejor recubrimiento y adherencia en los áridos.

$$P_{f \text{ a.e}} = \text{Peso de agua efectiva final (kg)}$$

$$V_{f \text{ a.e}} = \text{Volumen final de agua efectiva (m}^3\text{)}$$

$$\Rightarrow \begin{array}{l} P_{f \text{ a.e}} = 148.830 \text{ kg} \\ V_{f \text{ a.e}} = 0.15 \text{ m}^3 \end{array}$$

3.3.Cantidad de materiales corregido por humedad, por 1m³ de mezcla.

- a. En peso húmedo por m³

Agua efectiva final de mezclado	=	148.83	Its
Cemento	=	559.98	kg
Agregado grueso	=	1343.35	kg
Aditivo Nanosílice	=	2.800	kg
Total	=	2054.96	kg

- b. En volumen por m³

Agua efectiva de mezclado	=	0.149	m ³
Cemento	=	0.179	m ³
Agregado grueso	=	0.500	m ³
Aditivo Nanosílice	=	0.003	m ³
Total	=	0.831	m ³

Por lo tanto el porcentaje de vacíos = 16.90%

3.4. Proporcionamiento de los materiales.

- Proporcionamiento en peso.

$$\frac{559.98}{559.98} \quad \frac{1343.35}{559.98} \quad \frac{148.83}{559.98} \quad / \quad x \quad 42.5 \text{ lts/bolsa}$$

$$1 \quad : 2.40 \quad / \quad 11.30 \quad \text{lts/bolsa}$$

3.5. Proporcionamiento de los materiales para pruebas en el laboratorio. Para 3 especímenes.

a. Dimensión de Testigos cilíndricos

D (diámetro promedio) = 0.154 m

h (altura promedio) = 0.304 m

Considerando un desperdicio de 7%

Volumen (aproximado) = 0.0182
0.020 m³

b. Materiales para tres especímenes (corregidos por humedad)

Cemento : 11.200 kg
Agua efectiva : 2.977 lts
Agregado grueso : 26.867 kg

Aditivo Nanosílice 0.5% del peso de cemento 0.056 kg

DISEÑO DE MEZCLAS CP-AF5-N0.5

(Concreto permeable con 5.0% de agregado fino y 0.5% de aditivo Nanosílice)

1. Propiedades de los materiales.

1.1. Agregado fino y agregado Grueso.

Propiedades de los agregados.	Agregado fino	Agregado grueso
Contenido de humedad del agregado %	3.761	0.27

1.2. Cemento.

Peso específico de masa del cemento $P \cdot e_c = 3.12 \text{ g/cm}^3$

1.3. Agua.

Agua potable de la ciudad de Jaén.

2. Consideraciones iniciales de diseño.

Como el objetivo del presente estudio es evaluar el comportamiento de las propiedades del concreto permeable con la adición de agregado fino y aditivo Nanosílice, se adicionó el 0.5% de aditivo Nanosílice a la mezcla CP-AF5-N0, cuyo diseño también se basó en la mezcla CP-AF0-N0 la cual no presenta adiciones.

3. Procedimiento de diseño

Del diseño base sin adiciones se obtuvo las siguientes proporciones de material en peso seco, por metro cúbico:

Peso seco y volumen de los materiales para 1m³ de concreto.

Material	Peso Seco	Volumen Seco
Cemento	559.977	0.179
Agregado F.	62.313	0.026
Agregado G.	1269.225	0.476
Agua	167.99	0.168
Aire	-	0.15
Total	1997.195	1.000

3.1. Corrección por humedad.

a. Peso húmedo del agregado grueso.

$$P. W_{A.G} = \left(1 + \frac{W_{A.G}}{100}\right) X P. S_{A.G}$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned} W_{A.G} &= 0.270 \quad \% \\ P. S_{A.G} &= 1269.225 \quad \text{kg/m}^3 \end{aligned}$$

⇒

$$P. W_{A.G} = 1272.651 \quad \text{kg/m}^3$$

b. Volumen del agregado grueso húmedo.

$$V. W_{A.G} = \frac{P. W_{A.G}}{p. e. sss_{A.G} X 1000}$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned} P. W_{A.G} &= 1272.651 \quad \text{kg/m}^3 \\ p. e. sss_{A.G} &= 2.69 \quad \text{g/cm}^3 \end{aligned}$$

⇒

$$V. W_{A.G} = 0.474 \quad \text{m}^3$$

c. Peso húmedo del agregado fino.

$$P. W_{A.F} = \left(1 + \frac{W_{A.F}}{100}\right) \times P. S_{A.F}$$

como datos se tiene:

$$W_{A.F} = 3.761 \%$$

$$P. S_{A.F} = 62.313 \text{ kg}$$

$$\Rightarrow P. W_{A.F} = 64.657 \text{ kg/m}^3$$

d. Volumen del agregado fino húmedo.

$$V. W_{A.F} = \frac{P. W_{A.F}}{p. e. sss_{A.F} \times 1000}$$

como datos se tiene:

$$P. W_{A.F} = 64.657 \text{ kg/m}^3$$

$$p. e. sss_{A.F} = 2.439 \text{ g/cm}^3$$

$$\Rightarrow V. W_{A.F} = 0.03 \text{ m}^3$$

e. Aporte de humedad de los agregados.

Humedad superficial del agregado grueso:

$$W. S_{A.G} = W_{A.G} - A_{A.G}$$

como datos se tiene:

$$W_{A.G} = 0.27\%$$

$$A_{A.G} = 0.80\%$$

$$\Rightarrow W. S_{A.G} = -0.53\%$$

Humedad superficial del agregado fino

$$W. S_{A.F} = W_{A.F} - A_{A.F}$$

como datos se tiene:

$$W_{A.F} = 3.76 \%$$

$$A_{A.F} = 3.52 \%$$

\Rightarrow

$$W. S_{A.F} = 0.2413 \%$$

Aporte de humedad de los agregados

$$A. W_{A.G} = W. S_{A.G} \times P. S_{A.G}$$

$$A. W_{A.G} = -6.727 \text{ lt/m}^3$$

$$A. W_{A.F} = \frac{A. W_{A.F} = W. S_{A.F} \times P. S_{A.F}}{0.150} \quad \text{lt/m}^3$$

f. Agua efectiva.

$$P_{a.e} = P_a - (A. W_{A.G} + A. W_{A.F}) \quad V_{a.e} = \frac{P_{a.e}}{D_a}$$

$$P_{a.e} = 174.57 \text{ Kg} \quad V_{a.e} = 0.17 \text{ m}^3$$

3.2. Cálculo de aditivo y reducción de agua efectiva.

- Peso y volumen del aditivo.

$$\text{peso de aditivo } (P_{ad}) = 0.5\% \text{ de } P_c$$

⇒

$$P_{ad} = \frac{0.50}{100} \times 559.98$$

$$P_{ad} = 2.80 \text{ kg}$$

$$\text{Volumen de aditivo } (V_{ad}) \text{ densidad del aditivo} = 1.03 \text{ g/cm}^3$$

$$V_{ad} = 0.003 \text{ m}^3$$

- Reducción de agua efectiva por el aditivo

En las pruebas de laboratorio se verificó que es necesario la reducción de agua, para reducir la fluidez originada por el aditivo provocando que el agregado tenga poco recubrimiento y obstrucción de los poros, con una reducción del 15% de agua efectiva, se logró verificar, una mayor consistencia de la pasta y un mejor recubrimiento y adherencia en los áridos.

Pf a.e = Peso de agua efectiva final (kg)

Vf a.e = Volumen final de agua efectiva (m³)

$$\Rightarrow \quad \begin{array}{ll} \text{Pf a.e} = & 148.830 \text{ kg} \\ \text{Vf a.e} = & 0.15 \text{ m}^3 \end{array}$$

3.3. Cantidad de materiales corregido por humedad, por 1m³ de mezcla.

- a. En peso húmedo por m³

Agua efectiva final de mezclado	=	148.38	Its
Cemento	=	559.98	kg
Agregado fino	=	64.66	kg

Agregado grueso	=	1272.65	kg
Aditivo Nanosílice	=	2.80	kg
Total	=	2048.47	kg

b. En volumen por m³

Agua efectiva de mezclado	=	0.148	m ³
Cemento	=	0.179	m ³
Agregado fino	=	0.027	m ³
Agregado grueso	=	0.474	m ³
Aditivo Nanosílice	=	0.003	m ³
Total	=	0.831	m ³

Por lo tanto el porcentaje de vacíos = 16.93%

3.4. Proporcionamiento de los materiales.

- Proporcionamiento en peso.

$\frac{559.98}{559.98}$	$\frac{64.66}{559.98}$	$\frac{1272.65}{559.98}$	/	$\frac{148.38}{559.98}$	x 42.5 lts/bolsa
1	0.12	2.27	/	11.26	lts/bolsa

3.5. Proporcionamiento de los materiales para pruebas en el laboratorio. Para 3 especímenes.

a. Dimensión de testigos cilíndricos

D (diámetro promedio)	=	0.154	m
h (altura promedio)	=	0.304	m

Considerando un desperdicio de 7%

Volumen (aproximado)	=	0.0182	
		0.020	m ³

b. Materiales para tres especímenes (corregidos por humedad)

Cemento	:	11.200	kg
Agua efectiva	:	2.968	kg
Agregado fino	:	1.293	kg
Agregado grueso	:	25.453	kg

Aditivo Nanosílice 0.5% del peso de cemento 0.056 kg

DISEÑO DE MEZCLAS CP-AF10-N0.5

(Concreto permeable con 10.0% de agregado fino y 0.5% de aditivo Nanosílice)

1. Propiedades de los materiales.

1.1. Agregado fino y agregado Grueso.

Propiedades de los agregados.	Agregado fino	Agregado grueso
Contenido de humedad del agregado %	3.761	0.27

1.2. Cemento.

Peso específico de masa del cemento $P \cdot e_c = 3.12 \text{ g/cm}^3$

1.3. Agua.

Agua potable de la ciudad de Jaén.

2. Consideraciones iniciales de diseño.

Como el objetivo del presente estudio es evaluar el comportamiento de las propiedades del concreto permeable con la adición de agregado fino y aditivo Nanosílice, se adicionó el 0.5% de aditivo Nanosílice a la mezcla CP-AF10-N0, cuyo diseño también se basó en la mezcla CP-AF0-N0 la cual no presenta adiciones.

3. Procedimiento de diseño

Del diseño base sin adiciones se obtuvo las siguientes proporciones de material en peso seco, por metro cúbico:

Peso seco y volumen de los materiales para 1m³ de concreto.

Material	Peso Seco	Volumen Seco
Cemento	559.977	0.179
Agregado F.	131.550	0.056
Agregado G.	1190.877	0.447
Agua	167.99	0.168
Aire	-	0.150
Total	1918.848	1.000

3.1. Corrección por humedad.

a. Peso húmedo del agregado grueso.

$$P \cdot W_{A.G} = \left(1 + \frac{W_{A.G}}{100}\right) X P \cdot S_{A.G}$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned} W_{A.G} &= 0.270 \quad \% \\ P \cdot S_{A.G} &= 1190.877 \quad \text{kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow P. W_{A.G} = 1194.093 \text{ kg/m}^3$$

b. Volumen del agregado grueso húmedo.

$$V. W_{A.G} = \frac{P. W_{A.G}}{p. e. sss_{A.G} \times 1000}$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned} P. W_{A.G} &= 1194.0927 \text{ kg/m}^3 \\ p. e. sss_{A.G} &= 2.687 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow V. W_{A.G} = 0.44 \text{ m}^3$$

c. Peso húmedo del agregado fino.

$$P. W_{A.F} = \left(1 + \frac{W_{A.F}}{100}\right) \times P. S_{A.F}$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned} W_{A.F} &= 3.761 \% \\ P. S_{A.F} &= 131.55 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow P. W_{A.F} = 136.498 \text{ kg/m}^3$$

d. Volumen del agregado fino húmedo.

$$V. W_{A.F} = \frac{P. W_{A.F}}{p. e. sss_{A.F} \times 1000}$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned} P. W_{A.F} &= 136.498 \text{ kg/m}^3 \\ p. e. sss_{A.F} &= 2.439 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow V. W_{A.F} = 0.056 \text{ m}^3$$

e. Aporte de humedad de los agregados.

Humedad superficial del agregado grueso:

$$W. S_{A.G} = W_{A.G} - A_{A.G}$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned} W_{A.G} &= 0.27 \% \\ A_{A.G} &= 0.80 \% \end{aligned}$$

$$\Rightarrow W. S_{A.G} = -0.53 \%$$

Humedad superficial del agregado fino

$$W.S_{A.F} = W_{A.F} - A_{A.F}$$

como datos se tiene:

$$W_{A.F} = 3.76 \%$$

$$A_{A.F} = 3.52 \%$$

⇒

$$W.S_{A.F} = 0.241 \%$$

Aporte de humedad de los agregados

$$A.W_{A.G} = W.S_{A.G} \times P.S_{A.G}$$

$$A.W_{A.G} = -6.312 \quad \text{lt/m}^3$$

$$A.W_{A.F} = W.S_{A.F} \times P.S_{A.F}$$

$$A.W_{A.F} = 0.317 \quad \text{lt/m}^3$$

f. Agua efectiva.

$$P_{a.e} = P_a - (A.W_{A.G} + A.W_{A.F}) \quad V_{a.e} = \frac{P_{a.e}}{D_a}$$

$$P_{a.e} = 173.99 \quad \text{Kg}$$

$$V_{a.e} = 0.17 \quad \text{m}^3$$

3.2.Cálculo de aditivo y reducción de agua efectiva.

- Peso y volumen del aditivo.

$$\text{peso de aditivo } (P_{ad}) = 0.5\% \text{ de } P_c$$

⇒

$$P_{ad} = \frac{0.50}{100} \times 559.98$$

$$P_{ad} = 2.80 \quad \text{kg}$$

Volumen de aditivo (V_{ad}) densidad del aditivo = 1.03 g/cm³

$$V_{ad} = 0.003 \text{m}^3$$

- Reducción de agua efectiva por el aditivo

En las pruebas de laboratorio se verificó que es necesario la reducción de agua, para reducir la fluidez originada por el aditivo provocando que el agregado tenga poco recubrimiento y obstrucción de los poros, con una reducción del 15% de agua efectiva, se logró verificar, una mayor consistencia de la pasta y un mejor recubrimiento y adherencia en los áridos.

Pf a.e = Peso de agua efectiva final (kg)

Vf a.e = Volumen final de agua efectiva (m³)

$$\Rightarrow \begin{array}{l} \text{Pf a.e} = 147.889 \text{ kg} \\ \text{Vf a.e} = 0.15 \text{ m}^3 \end{array}$$

3.3.Cantidad de materiales corregido por humedad, por 1m³ de mezcla.

a. En peso húmedo por m³

Agua efectiva final de mezclado	=	147.89	lts
Cemento	=	559.98	kg
Agregado fino	=	136.50	kg
Agregado grueso	=	1194.09	kg
Aditivo Nanosílice	=	2.800	kg
Total	=	2041.26	kg

b. En volumen por m³

Agua efectiva de mezclado	=	0.148	m ³
Cemento	=	0.179	m ³
Agregado fino	=	0.056	m ³
Agregado grueso	=	0.444	m ³
Aditivo Nanosílice	=	0.003	m ³
Total	=	0.830	m ³

Por lo tanto el porcentaje de vacíos =16.96%

3.4.Proporcionamiento de los materiales.

- Proporcionamiento en peso.

$$\frac{559.98}{559.98} \quad \frac{136.50}{559.98} \quad \frac{1194.09}{559.98} \quad / \quad \frac{147.89}{559.98} \quad \times 42.5 \text{ lts/bolsa}$$

$$1 \quad 0.24 \quad 2.13 \quad / \quad 11.22 \quad \text{lts/bolsa}$$

3.14. Proporcionamiento de los materiales para pruebas en el laboratorio. Para 3 especímenes.

a. Dimensión de testigos cilíndricos

$$\begin{array}{l} \text{D (diámetro promedio)} = 0.154 \text{ m} \\ \text{h (altura promedio)} = 0.304 \text{ m} \end{array}$$

Considerando un desperdicio de 7%

$$\text{Volumen (aproximado)} = \frac{0.0182}{0.020} \text{ m}^3$$

b. Materiales para tres especímenes (corregidos por humedad)

Cemento	:	11.200	kg
Agua efectiva	:	2.958	kg
Agregado fino	:	2.73	kg

Agregado grueso : 23.88 kg

Aditivo Nanosílice 0.5% del peso de cemento 0.056 kg

DISEÑO DE MEZCLAS CP-AF0-N1

(Concreto permeable con 0.0% de agregado fino y 1% de aditivo Nanosílice)

1. Propiedades de los materiales.

1.1. Agregado fino y agregado Grueso.

Propiedades de los agregados.	Agregado fino	Agregado grueso
Contenido de humedad del agregado %	3.761	0.27

1.2. Cemento.

Peso específico de masa del cemento $p \cdot e_c = 3.12 \text{ g/cm}^3$

1.3. Agua.

Agua potable de la ciudad de Jaén.

2. Consideraciones iniciales de diseño.

Como el objetivo del presente estudio es evaluar el comportamiento de las propiedades del concreto permeable con la adición de agregado fino y aditivo Nanosílice. Para esta mezcla se adicionará el 1% de aditivo Nanosílice al diseño base que no presenta adiciones.

3. Procedimiento de diseño.

Del diseño base sin adiciones se obtuvo las siguientes proporciones de material en peso seco, por metro cúbico:

Peso seco y volumen de los materiales para 1m³ de concreto.

Material	Peso Seco	Volumen Seco
Cemento	559.977	0.179
Agregado G.	1339.737	0.503
Agua	167.99	0.168
Aire	-	0.150
Total	2067.707	1.000

3.1. Corrección por humedad.

a. Peso húmedo del agregado grueso.

$$P. W_{A.G} = \left(1 + \frac{W_{A.G}}{100}\right) \times P. S_{A.G}$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned} W_{A.G} &= 0.270 \quad \% \\ P. S_{A.G} &= 1339.737 \quad \text{kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow P. W_{A.G} = 1343.35 \quad \text{kg/m}^3$$

b. Volumen del agregado grueso húmedo.

$$V. W_{A.G} = \frac{P. W_{A.G}}{p. e. sss_{A.G} \times 1000}$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned} P. W_{A.G} &= 1343.35 \quad \text{kg/m}^3 \\ p. e. sss_{A.G} &= 2.69 \quad \text{g/cm}^3 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow V. W_{A.G} = 0.500 \quad \text{m}^3$$

c. Aporte de humedad de los agregados.

Humedad superficial del agregado grueso:

$$W. S_{A.G} = W_{A.G} - A_{A.G}$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned} W_{A.G} &= 0.27 \quad \% \\ A_{A.G} &= 0.80 \quad \% \end{aligned}$$

\Rightarrow

$$W. S_{A.G} = -0.53 \quad \%$$

Aporte de humedad de los agregados

$$A. W_{A.G} = W. S_{A.G} \times P. S_{A.G}$$

$$A. W_{A.G} = -7.101 \quad \text{lt/m}^3$$

d. Agua efectiva.

$$P_{a.e} = P_a - (A. W_{A.G} + A. W_{A.F})$$

$$V_{a.e} = \frac{P_{a.e}}{D_a}$$

$$P_{a.e} = 175.09 \quad \text{Kg}$$

$$V_{a.e} = 0.17 \quad \text{m}^3$$

3.2. Cálculo de aditivo y reducción de agua efectiva.

- Peso y volumen del aditivo.

$$\text{peso de aditivo } (P_{ad}) = 1\% \text{ de } P_c$$

⇒

$$P_{ad} = \frac{1.00}{100} \cdot 559.98$$

$$P_{ad} = 5.6 \text{ kg}$$

$$\text{Volumen de aditivo } (V_{ad}) \text{ densidad del aditivo} = 1.03 \text{ g/cm}^3$$

$$V_{ad} = 0.005 \text{ m}^3$$

- Reducción de agua efectiva por el aditivo

En las pruebas de laboratorio se verificó que es necesario la reducción de agua, para reducir la fluidez originada por el aditivo provocando que el agregado tenga poco recubrimiento y obstrucción de los poros, con una reducción del 25% de agua efectiva, se logró verificar, una mayor consistencia de la pasta y un mejor recubrimiento y adherencia en los áridos.

$$P_{f \text{ a.e}} = \text{Peso de agua efectiva final (kg)}$$

$$V_{f \text{ a.e}} = \text{Volumen final de agua efectiva (m}^3\text{)}$$

$$\Rightarrow \begin{array}{l} P_{f \text{ a.e}} = 131.320 \text{ kg} \\ V_{f \text{ a.e}} = 0.13 \text{ m}^3 \end{array}$$

3.3. Cantidad de materiales corregido por humedad, por 1m³ de mezcla.

- a. En peso húmedo por m³

Agua efectiva final de mezclado	=	131.32	lts
Cemento	=	559.98	kg
Agregado grueso	=	1343.35	kg
Aditivo Nanosílice	=	5.600	kg
Total	=	2040.25	kg

- b. En volumen por m³

Agua efectiva de mezclado	=	0.13	m ³
Cemento	=	0.18	m ³
Agregado grueso	=	0.500	m ³
Aditivo Nanosílice	=	0.005	m ³
Total	=	0.82	m ³

Por lo tanto el porcentaje de vacíos = 18.38%

3.4. Proporcionamiento de los materiales.

- Proporcionamiento en peso.

$$\frac{559.98}{559.98} \quad \frac{1343.35}{559.98} \quad \frac{131.32}{559.98} \quad / \quad x \quad 42.5 \text{ lts/bolsa}$$

$$1 \quad : 2.40 \quad / \quad 9.97 \quad \text{lts/bolsa}$$

3.5. Proporcionamiento de los materiales para pruebas en el laboratorio. Para 3 especímenes.

a. Dimensión de Testigos cilíndricos

D (diámetro promedio) = 0.154 m

h (altura promedio) = 0.304 m

Considerando un desperdicio de 7%

Volumen (aproximado) = 0.0182

Volumen (aproximado) = 0.020 m³

b. Materiales para tres especímenes (corregidos por humedad)

Cemento : 11.200 kg

Agua efectiva : 2.626 lts

Agregado grueso : 26.867 kg

Aditivo Nanosílice 1% del peso de cemento 0.11 kg

DISEÑO DE MEZCLAS CP-AF5-N1

(Concreto permeable con 5.0% de agregado fino y 1% de aditivo Nanosílice)

1. Propiedades de los materiales.

1.1. Agregado fino y agregado Grueso.

Propiedades de los agregados.	Agregado fino	Agregado grueso
Contenido de humedad del agregado %	3.761	0.27

1.2. Cemento.

Peso específico de masa del cemento $P \cdot e_c = 3.12 \text{ g/cm}^3$

1.3. Agua.

Agua potable de la ciudad de Jaén.

2. Consideraciones iniciales de diseño.

Como el objetivo del presente estudio es evaluar el comportamiento de las propiedades del concreto permeable con la adición de agregado fino y aditivo Nanosílice, se adicionó el 1% de aditivo Nanosílice a la mezcla CP-AF5-N0, cuyo diseño también se basó en la mezcla CP-AF0-N0 la cual no presenta adiciones.

3. Procedimiento de diseño

Del diseño base sin adiciones se obtuvo las siguientes proporciones de material en peso seco, por metro cúbico:

Peso seco y volumen de los materiales para 1m³ de concreto.

Material	Peso Seco	Volumen Seco
Cemento	559.977	0.179
Agregado F.	62.313	0.026
Agregado G.	1269.225	0.476
Agua	167.99	0.168
Aire	-	0.15
Total	1997.195	1.000

3.1. Corrección por humedad.

a. Peso húmedo del agregado grueso.

$$P. W_{A.G} = \left(1 + \frac{W_{A.G}}{100}\right) X P. S_{A.G}$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned} W_{A.G} &= 0.270 \quad \% \\ P. S_{A.G} &= 1269.225 \quad \text{kg/m}^3 \end{aligned}$$

⇒

$$P. W_{A.G} = 1272.651 \quad \text{kg/m}^3$$

b. Volumen del agregado grueso húmedo.

$$V. W_{A.G} = \frac{P. W_{A.G}}{p. e. sss_{A.G} \times 1000}$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned} P. W_{A.G} &= 1272.651 \quad \text{kg/m}^3 \\ p. e. sss_{A.G} &= 2.69 \quad \text{g/cm}^3 \end{aligned}$$

⇒

$$V. W_{A.G} = 0.474 \quad \text{m}^3$$

c. Peso húmedo del agregado fino.

$$P. W_{A.F} = \left(1 + \frac{W_{A.F}}{100}\right) \times P. S_{A.F}$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned} W_{A.F} &= 3.761 \% \\ P. S_{A.F} &= 62.313 \text{ kg} \\ \Rightarrow P. W_{A.F} &= 64.657 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

d. Volumen del agregado fino húmedo.

$$V. W_{A.F} = \frac{P. W_{A.F}}{p. e. sss_{A.F} \times 1000}$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned} P. W_{A.F} &= 64.657 \text{ kg/m}^3 \\ p. e. sss_{A.F} &= 2.439 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow V. W_{A.F} = 0.03 \text{ m}^3$$

e. Aporte de humedad de los agregados.

Humedad superficial del agregado grueso:

$$W. S_{A.G} = W_{A.G} - A_{A.G}$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned} W_{A.G} &= 0.27\% \\ A_{A.G} &= 0.80\% \\ \Rightarrow W. S_{A.G} &= -0.53\% \end{aligned}$$

Humedad superficial del agregado fino

$$W. S_{A.F} = W_{A.F} - A_{A.F}$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned} W_{A.F} &= 3.76 \% \\ A_{A.F} &= 3.52 \% \\ \Rightarrow W. S_{A.F} &= 0.2413 \% \end{aligned}$$

Aporte de humedad de los agregados

$$A. W_{A.G} = \frac{A. W_{A.G}}{P. S_{A.G}} = \frac{W. S_{A.G} \times P. S_{A.G}}{P. S_{A.G}} = -6.727 \text{ lt/m}^3$$

$$A. W_{A.F} = \frac{A. W_{A.F}}{P. S_{A.F}} = \frac{W. S_{A.F} \times P. S_{A.F}}{P. S_{A.F}} = 0.150 \text{ lt/m}^3$$

f. Agua efectiva.

$$P_{a.e} = P_a - (A \cdot W_{A.G} + A \cdot W_{A.F}) \qquad V_{a.e} = \frac{P_{a.e}}{D_a}$$

$$P_{a.e} = 174.57 \text{ Kg}$$

$$V_{a.e} = 0.17 \text{ m}^3$$

3.2. Cálculo de aditivo y reducción de agua efectiva.

- Peso y volumen del aditivo.

$$\text{peso de aditivo } (P_{ad}) = 1\% \text{ de } P_c$$

⇒

$$P_{ad} = \frac{1}{100} \cdot 559.98$$

$$P_{ad} = 5.60 \text{ kg}$$

$$\text{Volumen de aditivo } (V_{ad}) \text{ densidad del aditivo} = 1.03 \text{ g/cm}^3$$

$$V_{ad} = 0.005 \text{ m}^3$$

- Reducción de agua efectiva por el aditivo.

En las pruebas de laboratorio se verificó que es necesario la reducción de agua, para reducir la fluidez originada por el aditivo provocando que el agregado tenga poco recubrimiento y obstrucción de los poros, con una reducción del 25% de agua efectiva, se logró verificar, una mayor consistencia de la pasta y un mejor recubrimiento y adherencia en los áridos.

$$P_{f \text{ a.e}} = \text{Peso de agua efectiva final (kg)}$$

$$V_{f \text{ a.e}} = \text{Volumen final de agua efectiva (m}^3\text{)}$$

$$\Rightarrow P_{f \text{ a.e}} = 130.927 \text{ kg}$$

$$V_{f \text{ a.e}} = 0.13 \text{ m}^3$$

3.6. Cantidad de materiales corregido por humedad, por 1m³ de mezcla.

- a. En peso húmedo por m³

Agua efectiva final de mezclado	=	130.93	Its
Cemento	=	559.98	kg
Agregado fino	=	64.66	kg
Agregado grueso	=	1272.65	kg
Aditivo Nanosílice	=	5.60	kg
Total	=	2033.81	kg

- b. En volumen por m³

Agua efectiva de mezclado	=	0.131	m3
Cemento	=	0.179	m3
Agregado fino	=	0.027	m3
Agregado grueso	=	0.474	m3
Aditivo Nanosílice	=	0.005	m3
Total	=	0.816	m3
Por lo tanto, el porcentaje de vacíos.	=	18.40%	

3.7. Proporcionamiento de los materiales.

- Proporcionamiento en peso.

$$\frac{559.98}{559.98} \quad \frac{64.66}{559.98} \quad \frac{1272.65}{559.98} \quad / \quad \frac{130.93}{559.98} \quad \times 42.5 \text{ lts/bolsa}$$

$$1 \quad 0.12 \quad 2.27 \quad / \quad 9.94 \quad \text{lts/bolsa}$$

3.8. Proporcionamiento de los materiales para pruebas en el laboratorio. Para 3 especímenes.

a. Dimensión de testigos cilíndricos

$$D \text{ (diámetro promedio)} = 0.154 \text{ m}$$

$$h \text{ (altura promedio)} = 0.304 \text{ m}$$

Considerando un desperdicio de 7%

$$\text{Volumen (aproximado)} = 0.0182$$

$$\text{Volumen (aproximado)} = 0.020 \text{ m}^3$$

b. Materiales para tres especímenes (corregidos por humedad)

Cemento	:	11.200	kg
Agua efectiva	:	2.619	kg
Agregado fino	:	1.293	kg
Agregado grueso	:	25.453	kg

Aditivo Nanosílice 1% del peso de cemento 0.11 kg

DISEÑO DE MEZCLAS CP-AF10-N1

(Concreto permeable con 10.0% de agregado fino y 1.0% de aditivo Nanosílice)

1. Propiedades de los materiales.

1.1. Agregado fino y agregado Grueso.

Propiedades de los agregados.	Agregado fino	Agregado grueso
Contenido de humedad del agregado %	3.761	0.27

1.2. Cemento.

Peso específico de masa del cemento $P \cdot e_c = 3.12 \text{ g/cm}^3$

1.3. Agua.

Agua potable de la ciudad de Jaén.

2. Consideraciones iniciales de diseño.

Como el objetivo del presente estudio es evaluar el comportamiento de las propiedades del concreto permeable con la adición de agregado fino y aditivo Nanosílice, se adicionó el 1.0% de aditivo Nanosílice a la mezcla CP-AF10-N0, cuyo diseño también se basó en la mezcla CP-AF0-N0 la cual no presenta adiciones.

3. Procedimiento de diseño

Del diseño base sin adiciones se obtuvo las siguientes proporciones de material en peso seco, por metro cúbico:

Peso seco y volumen de los materiales para 1m³ de concreto.

Material	Peso Seco	Volumen Seco
Cemento	559.977	0.179
Agregado F.	131.550	0.056
Agregado G.	1190.877	0.447
Agua	167.99	0.168
Aire	-	0.150
Total	1918.848	1.000

3.1. Corrección por humedad.

a. Peso húmedo del agregado grueso.

$$P \cdot W_{A.G} = \left(1 + \frac{W_{A.G}}{100}\right) X P \cdot S_{A.G}$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned} W_{A.G} &= 0.270 \quad \% \\ P \cdot S_{A.G} &= 1190.877 \quad \text{kg/m}^3 \end{aligned}$$

⇒

$$P \cdot W_{A.G} = 1194.093 \quad \text{kg/m}^3$$

b. Volumen del agregado grueso húmedo.

$$V. W_{A.G} = \frac{P. W_{A.G}}{p. e. sss_{A.G} \times 1000}$$

como datos se tiene:

$$P. W_{A.G} = 1194.0927 \text{ kg/m}^3$$

$$p. e. sss_{A.G} = 2.687 \text{ g/cm}^3$$

⇒

$$V. W_{A.G} = 0.44 \text{ m}^3$$

c. Peso húmedo del agregado fino.

$$P. W_{A.F} = \left(1 + \frac{W_{A.F}}{100}\right) \times P. S_{A.F}$$

como datos se tiene:

$$W_{A.F} = 3.761 \%$$

$$P. S_{A.F} = 131.55 \text{ kg}$$

$$\Rightarrow P. W_{A.F} = 136.498 \text{ kg/m}^3$$

d. Volumen del agregado fino húmedo.

$$V. W_{A.F} = \frac{P. W_{A.F}}{p. e. sss_{A.F} \times 1000}$$

como datos se tiene:

$$P. W_{A.F} = 136.498 \text{ kg/m}^3$$

$$p. e. sss_{A.F} = 2.439 \text{ g/cm}^3$$

$$\Rightarrow V. W_{A.F} = 0.056 \text{ m}^3$$

e. Aporte de humedad de los agregados.

Humedad superficial del agregado grueso:

$$W. S_{A.G} = W_{A.G} - A_{A.G}$$

como datos se tiene:

$$W_{A.G} = 0.27 \%$$

$$A_{A.G} = 0.80 \%$$

⇒

$$W. S_{A.G} = -0.53 \%$$

Humedad superficial del agregado fino

$$W. S_{A.F} = W_{A.F} - A_{A.F}$$

como datos se tiene:

$$\begin{aligned} W_{A.F} &= 3.76 \% \\ A_{A.F} &= 3.52 \% \end{aligned}$$

⇒

$$W.S_{A.F} = 0.241 \%$$

Aporte de humedad de los agregados

$$A.W_{A.G} = \frac{A.W_{A.G} = W.S_{A.G} \times P.S_{A.G}}{-6.312} \quad \text{lt/m}^3$$

$$A.W_{A.F} = \frac{A.W_{A.F} = W.S_{A.F} \times P.S_{A.F}}{0.317} \quad \text{lt/m}^3$$

f. Agua efectiva.

$$P_{a.e} = P_a - (A.W_{A.G} + A.W_{A.F}) \quad V_{a.e} = \frac{P_{a.e}}{D_a}$$

$$P_{a.e} = 173.99 \text{ Kg} \quad V_{a.e} = 0.17 \text{ m}^3$$

3.2.Cálculo de aditivo y reducción de agua efectiva.

- Peso y volumen del aditivo.

$$\text{peso de aditivo } (P_{ad}) = 1\% \text{ de } P_c$$

⇒

$$P_{ad} = \frac{1.0}{100} \times 559.98$$

$$P_{ad} = 5.60 \text{ kg}$$

$$\text{Volumen de aditivo } (V_{ad}) \text{ densidad del aditivo} = 1.03 \text{ g/cm}^3$$

$$V_{ad} = 0.005 \text{ m}^3$$

- Reducción de agua efectiva por el aditivo

En las pruebas de laboratorio se verificó que es necesario la reducción de agua, para reducir la fluidez originada por el aditivo provocando que el agregado tenga poco recubrimiento y obstrucción de los poros, con una reducción del 25% de agua efectiva, se logró verificar, una mayor consistencia de la pasta y un mejor recubrimiento y adherencia en los áridos.

$$P_{f.a.e} = \text{Peso de agua efectiva final (kg)}$$

$$V_{f.a.e} = \text{Volumen final de agua efectiva (m}^3\text{)}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \quad P_{f.a.e} &= 130.491 \text{ kg} \\ V_{f.a.e} &= 0.13 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

3.3.Cantidad de materiales corregido por humedad, por 1m3 de mezcla.

a. En peso húmedo por m3			
Agua efectiva final de mezclado	=	130.49	Its
Cemento	=	559.98	kg
Agregado fino	=	136.50	kg
Agregado grueso	=	1194.09	kg
Aditivo Nanosílice	=	5.600	kg
Total	=	2026.66	kg

b. En volumen por m3			
Agua efectiva de mezclado	=	0.130	m3
Cemento	=	0.179	m3
Agregado fino	=	0.056	m3
Agregado grueso	=	0.444	m3
Aditivo Nanosílice	=	0.005	m3
Total	=	0.816	m3

Por lo tanto el porcentaje de vacíos =18.42%

3.4.Proporcionamiento de los materiales.

- Proporcionamiento en peso.

$$\frac{559.98}{559.98} \quad \frac{136.50}{559.98} \quad \frac{1194.09}{559.98} \quad / \quad \frac{130.49}{559.98} \quad \times 42.5 \text{ lts/bolsa}$$

$$1 \quad 0.24 \quad 2.13 \quad / \quad 9.90 \quad \text{lts/bolsa}$$

3.5.Proporcionamiento de los materiales para pruebas en el laboratorio. Para 3 especímenes.

a. Dimensión de testigos cilíndricos

$$D \text{ (diámetro promedio)} = 0.154 \text{ m}$$

$$h \text{ (altura promedio)} = 0.304 \text{ m}$$

Considerando un desperdicio de 7%

$$\text{Volumen (aproximado)} = \frac{0.0182}{0.020} \text{ m}^3$$

b. Materiales para tres especímenes (corregidos por humedad)

Cemento	:	11.200	kg
Agua efectiva	:	2.610	kg
Agregado fino	:	2.73	kg
Agregado grueso	:	23.88	kg

Aditivo Nanosílice 1.0% del peso de cemento 0.11 kg

ANEXO 05. DENSIDAD DEL CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO FRESCO.

Tabla 48

Ensayo de densidad de la mezcla CP-AF0-N0 (concreto permeable con 0.0% de agregado fino y 0.0% de aditivo Nanosilice).

Probeta N°	Molde (kg)	Molde + mezcla (kg)	Peso de la mezcla (Kg)	Volumen del molde (m3)	Densidad (kg/m3)
1	3.246	13.211	9.965	0.005178	1924.41
2	3.275	13.883	10.608	0.005319	1994.32
3	4.268	15.019	10.751	0.005372	2001.17
4	5.718	16.564	10.846	0.005534	1959.88
5	2.899	13.530	10.631	0.005266	2018.85
6	2.839	13.487	10.648	0.005390	1975.41
7	2.939	13.504	10.565	0.005337	1979.66
8	4.552	15.384	10.832	0.005444	1989.80
9	5.951	16.856	10.905	0.005444	2003.13
Promedio =					1982.96
Desviación estándar =					9.87

Tabla 49

Ensayo de densidad de la mezcla CP-AF5-N0 (concreto permeable con 5.0% de agregado fino y 0.0% de aditivo Nanosilice).

Probeta N°	Molde (kg)	Molde + mezcla (kg)	Peso de la mezcla (Kg)	Volumen del molde (m3)	Densidad (kg/cm3)
1	2.899	14.254	11.355	0.005231	2170.72
2	2.939	14.142	11.203	0.005231	2141.66
3	4.919	16.248	11.329	0.005319	2129.87
4	3.157	14.896	11.739	0.005372	2185.07
5	7.897	19.179	11.282	0.005301	2128.10
6	4.013	15.512	11.499	0.005353	2148.12
7	3.246	14.527	11.281	0.005301	2127.91
8	5.851	17.529	11.678	0.005372	2173.72
9	3.275	14.925	11.650	0.005319	2190.22
Promedio =					2155.04
Desviación estándar =					8.89

Tabla 50

Ensayo de densidad de la mezcla CP-AF10-N0 (concreto permeable con 10.0% de agregado fino y 0.0% de aditivo Nanosilice).

Probeta N°	Molde (kg)	Molde + mezcla (kg)	Peso de la mezcla (Kg)	Volumen del molde (m3)	Densidad (kg/cm3)
1	3.183	14.625	11.442	0.005231	2187.35
2	3.157	14.824	11.667	0.005231	2230.36
3	4.268	16.032	11.764	0.005301	2219.02
4	3.217	15.091	11.874	0.005337	2224.94
5	4.013	15.951	11.938	0.005443	2193.35
6	2.839	14.254	11.415	0.005231	2182.19
7	4.552	16.431	11.879	0.005443	2182.51
8	5.718	17.619	11.901	0.005319	2237.40
9	4.860	16.607	11.747	0.005231	2245.66
Promedio =					2211.42
Desviación estándar =					8.876

Tabla 51

Ensayo de densidad de la mezcla CP-AF0-N0.5 (concreto permeable con 0.0% de agregado fino y 0.5% de aditivo Nanosílice).

Probeta N°	Molde (kg)	Molde + mezcla (kg)	Peso de la mezcla (Kg)	Volumen del molde (m3)	Densidad (kg/cm3)
1	4.013	14.498	10.485	0.005319	1971.19
2	4.860	15.164	10.304	0.005230	1970.24
3	4.268	14.685	10.417	0.005301	1964.94
4	5.951	16.366	10.415	0.005280	1972.37
5	4.013	15.049	11.036	0.005443	2027.63
6	5.718	16.251	10.533	0.005390	1954.08
7	2.839	13.562	10.723	0.005319	2015.94
8	3.183	13.899	10.716	0.005390	1988.03
9	2.939	13.689	10.750	0.005408	1987.73
Promedio =					1983.57
Desviación estándar =					8.57

Tabla 52

Ensayo de densidad de la mezcla CP-AF5-N0.5 (concreto permeable con 5.0% de agregado fino y 0.5% de aditivo Nanosílice).

Probeta N°	Molde (kg)	Molde + mezcla (kg)	Peso de la mezcla (Kg)	Volumen del molde (m3)	Densidad (kg/cm3)
1	3.246	13.899	10.653	0.005266	2022.94
2	3.217	14.522	11.305	0.005498	2056.13
3	4.268	15.352	11.084	0.005408	2049.49
4	2.839	12.986	10.147	0.005007	2026.71
5	2.899	13.961	11.062	0.005408	2045.42
6	5.951	17.029	11.078	0.005390	2055.19
7	3.157	14.336	11.179	0.005408	2067.06
8	3.183	14.656	11.473	0.005498	2086.69
9	4.919	16.255	11.336	0.005444	2082.30
Promedio =					2054.66
Desviación estándar =					7.75

Tabla 53

Ensayo de densidad de la mezcla CP-AF10-N0.5 (concreto permeable con 10.0% de agregado fino y 0.5% de aditivo Nanosílice).

Probeta N°	Molde (kg)	Molde + mezcla (kg)	Peso de la mezcla (Kg)	Volumen del molde (m3)	Densidad (kg/cm3)
3	3.157	14.184	11.027	0.005372	2052.54
4	2.939	13.999	11.060	0.005301	2086.23
7	4.552	15.623	11.071	0.005301	2088.30
5	2.899	13.717	10.818	0.005196	2081.94
2	4.013	15.749	11.736	0.005425	2163.26
8	4.860	15.950	11.090	0.005301	2091.89
6	7.897	19.034	11.137	0.005301	2100.75
1	5.718	16.894	11.176	0.005319	2101.10
9	3.275	14.307	11.032	0.005231	2108.91
Promedio =					2097.21
Desviación estándar =					10.45

Tabla 54

Ensayo de densidad de la mezcla CP-AF0-N1 (concreto permeable con 0.0% de agregado fino y 1.0% de aditivo Nanosílice).

Probeta N°	Molde (kg)	Molde + mezcla (kg)	Peso de la mezcla (Kg)	Volumen del molde (m3)	Densidad (kg/cm3)
1	3.157	14.532	11.375	0.005607	2028.69
2	2.899	12.900	10.001	0.005196	1924.71
3	4.013	13.501	9.4880	0.004922	1927.67
4	3.183	13.725	10.542	0.005408	1949.27
5	3.157	13.913	10.756	0.005444	1975.76
6	4.919	15.224	10.305	0.005337	1930.94
7	3.217	13.463	10.246	0.005266	1945.74
8	3.275	13.396	10.121	0.005214	1941.29
9	4.552	14.985	10.433	0.005337	1954.92
Promedio =					1953.22
Desviación estándar =					11.44

Tabla 55

Ensayo de densidad de la mezcla CP-AF5-N1 (concreto permeable con 5.0% de agregado fino y 1.0% de aditivo Nanosílice).

Probeta N°	Molde (kg)	Molde + mezcla (kg)	Peso de la mezcla (Kg)	Volumen del molde (m3)	Densidad (kg/cm3)
1	3.157	14.228	11.071	0.005319	2081.36
2	2.899	13.559	10.660	0.005266	2024.27
3	4.268	15.126	10.858	0.005301	2048.12
4	4.013	14.751	10.738	0.005353	2005.96
5	4.860	15.382	10.522	0.005284	1991.38
6	4.919	15.754	10.835	0.005301	2043.79
7	2.939	13.619	10.680	0.005248	2034.90
8	2.839	13.818	10.979	0.005390	2036.82
9	3.246	14.022	10.776	0.005390	1999.16
Promedio =					2029.53
Desviación estándar =					9.90

Tabla 56

Ensayo de densidad de la mezcla CP-AF10-N1 (concreto permeable con 10.0% de agregado fino y 1.0% de aditivo Nanosílice).

Probeta N°	Molde (kg)	Molde + mezcla (kg)	Peso de la mezcla (Kg)	Volumen del molde (m3)	Densidad (kg/cm3)
1	4.860	15.841	10.981	0.005230	2099.69
2	3.275	13.586	10.311	0.005007	2059.46
3	4.268	15.468	11.200	0.005390	2077.82
4	3.157	14.368	11.211	0.005390	2079.86
5	3.217	13.660	10.443	0.005092	2051.07
6	2.839	14.256	11.417	0.005408	2111.06
7	4.552	15.600	11.048	0.005407	2043.10
8	5.718	16.857	11.139	0.005372	2073.39
9	2.939	14.106	11.167	0.005301	2106.41
Promedio =					2077.98
Desviación estándar =					8.55

ANEXO 06. CONTENIDO DE VACÍOS DEL CONCRETO PERMEABLE.

Tabla 57

Contenido de vacío de la mezcla CP-AF0-N0 (concreto permeable con 0.0% de agregado fino y 0.0% de aditivo Nanosíllice).

Probeta N°	Densidad Teórica (kg/m3)	Densidad del concreto permeable (kg/cm3)	Contenido de vacíos (%)
1	2432.27	1924.41	20.88
2		1994.32	18.01
3		2001.17	17.72
4		1959.88	19.42
5		2018.85	17.00
6		1975.41	18.78
7		1979.66	18.61
8		1989.80	18.19
9		2003.13	17.64
Promedio =			18.47
Desviación estándar =			0.41

Tabla 58

Contenido de vacío de la mezcla CP-AF5-N0 (concreto permeable con 5.0% de agregado fino y 0.0% de aditivo Nanosíllice).

Probeta N°	Densidad Teórica (kg/m3)	Densidad del concreto permeable (kg/cm3)	Contenido de vacíos (%)
1	2425.51	2170.72	10.50
2		2141.66	11.70
3		2129.87	12.19
4		2185.07	9.91
5		2128.10	12.26
6		2148.12	11.44
7		2127.91	12.27
8		2173.72	10.38
9		2190.22	9.70
Promedio =			11.15
Desviación estándar =			0.37

Tabla 59

Contenido de vacío de la mezcla CP-AF10-N0 (concreto permeable con 10.0% de agregado fino y 0.0% de aditivo Nanosíllice).

Probeta N°	Densidad Teórica (kg/m3)	Densidad del concreto permeable (kg/cm3)	Contenido de vacíos (%)
1	2418.00	2187.35	9.54
2		2230.36	7.76
3		2219.02	8.23
4		2224.94	7.98
5		2193.35	9.29
6		2182.19	9.75
7		2182.51	9.74
8		2237.40	7.47
9		2245.66	7.13
Promedio =			8.54
Desviación estándar =			0.37

Tabla 60

Contenido de vacío de la mezcla CP-AF0-N0.5 (concreto permeable con 0.0% de agregado fino y 0.5% de aditivo Nanosilíce).

Probeta N°	Densidad Teórica (kg/m3)	Densidad del concreto permeable (kg/cm3)	Contenido de vacíos (%)
1	2472.96	1971.19	20.29
2		1970.24	20.33
3		1964.94	20.54
4		1972.37	20.24
5		2027.63	18.01
6		1954.08	20.98
7		2015.94	18.48
8		1988.03	19.61
9		1987.73	19.62
Promedio =			19.79
Desviación Estándar =			0.35

Tabla 61

Contenido de vacío de la mezcla CP-AF5-N0.5 (concreto permeable con 5.0% de agregado fino y 0.5% de aditivo Nanosilíce).

Probeta N°	Densidad Teórica (kg/m3)	Densidad del concreto permeable (kg/cm3)	Contenido de vacíos (%)
1	2465.88	2022.94	17.96
2		2056.13	16.62
3		2049.49	16.89
4		2026.71	17.81
5		2045.42	17.05
6		2055.19	16.66
7		2067.06	16.17
8		2086.69	15.38
9		2082.30	15.56
Promedio =			16.68
Desviación estándar =			0.31

Tabla 62

Contenido de vacío de la mezcla CP-AF10-N0.5 (concreto permeable con 10.0% de agregado fino y 0.5% de aditivo Nanosilíce).

Probeta N°	Densidad Teórica (kg/m3)	Densidad del concreto permeable (kg/cm3)	Contenido de vacíos (%)
1	2458.02	2052.54	16.50
2		2086.23	15.13
3		2088.30	15.04
4		2081.94	15.30
5		2163.26	11.99
6		2091.89	14.90
7		2100.75	14.53
8		2101.10	14.52
9		2108.91	14.20
Promedio =			14.68
Desviación Estándar =			0.42

Tabla 63

Contenido de vacío de la mezcla CP-AF0-N1 (concreto permeable con 0.0% de agregado fino y 1.0% de aditivo Nanosílice).

Probeta N°	Densidad Teórica (kg/m3)	Densidad del concreto permeable (kg/cm3)	Contenido de vacíos (%)
1	2499.75	2028.69	18.84
2		1924.71	23.00
3		1927.67	22.89
4		1949.27	22.02
5		1975.76	20.96
6		1930.94	22.75
7		1945.74	22.16
8		1941.29	22.34
9		1954.92	21.80
Promedio =			21.86
Desviación Estandar =			0.46

Tabla 64

Contenido de vacío de la mezcla CP-AF5-N1 (concreto permeable con 5.0% de agregado fino y 1.0% de aditivo Nanosílice).

Probeta N°	Densidad Teórica (kg/m3)	Densidad del concreto permeable (kg/cm3)	Contenido de vacíos (%)
1	2492.46	2081.36	16.49
2		2024.27	18.78
3		2048.12	17.83
4		2005.96	19.52
5		1991.38	20.10
6		2043.79	18.00
7		2034.90	18.36
8		2036.82	18.28
9		1999.16	19.79
Promedio =			18.57
Desviación Estandar =			0.40

Tabla 65

Contenido de vacío de la mezcla CP-AF10-N1 (concreto permeable con 10.0% de agregado fino y 1.0% de aditivo Nanosílice).

Probeta N°	Densidad Teórica (kg/m3)	Densidad del concreto permeable (kg/cm3)	Contenido de vacíos (%)
1	2484.36	2099.69	15.48
2		2059.46	17.10
3		2077.82	16.36
4		2079.86	16.28
5		2051.07	17.44
6		2111.06	15.03
7		2043.10	17.76
8		2073.39	16.54
9		2106.41	15.21
Promedio =			16.36
Desviación Estandar =			0.34

ANEXO 07. RESULTADO DE ENSAYOS MECÁNICOS.

Tabla 66

Ensayo de resistencia a compresión. Edad 7 días.

Tipo de mezcla	Probeta N°	Edad de probeta	Diámetro promedio (cm)	Carga de rotura en KN	Carga de rotura (kg)	f'c (kg/cm2)	Tipo de rotura	f'c promedio (kg/cm2)	Desviación estándar.	Coef. De variación (%)
CP-AF0-N0	1	7	14.86	91.06	9285.39	53.54	3	58.34	3.40	5.82
	2	7	15.05	110.16	11233.02	63.14	5			
	3	7	15.01	101.23	10322.42	58.34	3			
CP-AF0-N0.5	1	7	15.03	122.15	12455.64	70.20	2	65.61	3.25	4.95
	2	7	14.74	102.10	10411.14	61.01	2			
	3	7	14.91	112.35	11456.33	65.61	2			
CP-AF0-N1	1	7	15.06	134.21	13685.39	76.83	2	71.30	3.91	5.48
	2	7	15.01	114.14	11638.86	65.77	2			
	3	7	14.82	120.62	12299.62	71.30	5			
CP-AF5-N0	1	7	15.01	171.92	17530.68	99.07	2	91.56	5.83	6.37
	2	7	15.03	143.96	14679.60	82.74	2			
	3	7	15.00	160.93	16410.03	92.86	2			
CP-AF10-N0	1	7	15.00	185.99	18965.40	107.32	5	110.64	2.35	2.12
	2	7	14.80	192.27	19605.77	113.96	2			
	3	7	14.90	189.19	19291.70	110.64	2			
CP-AF5-N0.5	1	7	15.09	145.74	14861.11	83.13	2	91.48	5.86	6.40
	2	7	15.19	177.26	18075.20	99.70	2			
	3	7	15.00	158.76	16188.76	91.61	2			
CP-AF10-N0.5	1	7	15.03	170.27	17362.43	97.83	2	95.32	1.78	1.86
	2	7	14.96	159.98	16313.16	92.81	2			
	3	7	14.90	162.99	16620.09	95.32	2			
CP-AF5-N1	1	7	14.91	119.93	12229.26	70.04	5	73.89	2.72	3.68
	2	7	15.03	135.25	13791.44	77.73	2			
	3	7	14.91	126.51	12900.22	73.88	5			
CP-AF10-N1	1	7	14.71	117.56	11987.59	70.54	2	75.51	4.54	6.02
	2	7	14.80	123.54	12597.37	73.23	2			
	3	7	14.90	141.53	14431.81	82.77	2			

Tabla 67*Ensayo de resistencia a compresión. Edad 14 días.*

Tipo de mezcla	Probeta Nº	Edad de probeta	Diámetro promedio (cm)	Carga de rotura en KN	Carga de rotura (kg)	f'c (kg/cm2)	Tipo de rotura	f'c promedio (kg/cm2)	Desviación estándar (%)	Coef. De variación (%)
CP-AF0-N0	1	14	15.31	128.90	13143.93	71.40	2	74.09	1.90	2.56
	2	14	14.81	129.69	13224.49	76.77	3			
	3	14	15.10	130.12	13268.34	74.09	2			
CP-AF0-N0.5	1	14	15.25	138.14	14086.14	77.12	2	80.61	4.19	5.20
	2	14	15.15	154.61	15765.58	87.46	2			
	3	14	15.12	136.05	13873.02	77.26	2			
CP-AF0-N1	1	14	14.96	138.67	14140.18	80.45	2	78.98	1.04	1.31
	2	14	14.98	133.97	13660.92	77.51	2			
	3	14	14.95	135.96	13863.84	78.98	2			
CP-AF5-N0	1	14	15.04	179.05	18257.73	102.77	5	110.96	5.79	5.22
	2	14	15.08	208.69	21280.12	119.15	5			
	3	14	14.83	187.96	19166.28	110.96	6			
CP-AF10-N0	1	14	15.01	198.11	20201.28	114.10	5	114.04	0.04	0.04
	2	14	14.90	194.92	19875.99	113.99	5			
	3	14	14.60	187.21	19089.80	114.03	6			
CP-AF5-N0.5	1	14	14.78	174.79	17823.34	103.88	2	104.63	0.63	0.60
	2	14	14.98	182.53	18612.58	105.61	2			
	3	14	14.93	179.23	18276.08	104.39	2			
CP-AF10-N0.5	1	14	14.92	179.44	18297.50	104.66	2	110.78	5.15	4.65
	2	14	14.98	205.40	20944.64	118.84	2			
	3	14	14.90	186.12	18978.66	108.84	2			
CP-AF5-N1	1	14	14.89	146.91	14980.41	86.03	6	82.51	2.63	3.19
	2	14	15.11	138.16	14088.18	78.61	2			
	3	14	15.12	145.95	14882.52	82.89	2			
CP-AF10-N1	1	14	15.03	167.23	17052.44	96.15	2	90.77	4.74	5.22
	2	14	14.63	137.34	14004.56	83.26	2			
	3	14	14.92	159.26	16239.74	92.89	2			

Tabla 68*Ensayo de resistencia a compresión. Edad 28 días.*

Tipo de mezcla	Probeta N°	Edad de probeta	Diámetro promedio (cm)	Carga de rotura en KN	Carga de rotura (kg)	f'c (kg/cm2)	Tipo de rotura	f'c promedio (kg/cm2)	Desviación estándar (%)	Coef. De variación (%)
CP-AF0-N0	1	28	14.92	134.98	13763.91	78.73	2	77.79	0.67	0.86
	2	28	15.18	136.37	13905.65	76.83	2			
	3	28	15.12	136.99	13968.87	77.80	2			
CP-AF0-N0.5	1	28	15.02	164.53	16777.12	94.67	5	99.77	4.72	4.73
	2	28	15.07	187.64	19133.65	107.33	2			
	3	28	15.11	171.13	17450.13	97.31	2			
CP-AF0-N1	1	28	14.87	143.65	14647.99	84.35	2	82.79	1.15	1.39
	2	28	14.98	140.12	14288.04	81.09	2			
	3	28	15.13	146.23	14911.07	82.94	2			
CP-AF5-N0	1	28	15.01	216.99	22126.47	125.04	2	129.41	4.29	3.31
	2	28	15.02	220.32	22466.03	126.84	3			
	3	28	14.81	230.31	23484.71	136.33	3			
CP-AF10-N0	1	28	15.07	301.50	30743.96	172.36	2	184.87	8.25	4.46
	2	28	15.00	323.72	33009.73	186.80	3			
	3	28	14.92	335.11	34171.17	195.45	2			
CP-AF5-N0.5	1	28	15.03	198.94	20285.91	114.38	2	126.49	7.97	6.30
	2	28	15.12	240.69	24543.16	136.69	2			
	3	28	15.11	225.78	23022.79	128.39	3			
CP-AF10-N0.5	1	28	15.05	216.06	22031.64	123.80	5	128.56	7.32	5.69
	2	28	14.77	235.97	24061.86	140.44	2			
	3	28	14.91	207.97	21206.70	121.46	5			
CP-AF5-N1	1	28	14.97	190.53	19428.34	110.46	5	101.71	6.37	6.26
	2	28	15.08	161.94	16513.02	92.46	2			
	3	28	15.08	179.08	18260.79	102.21	2			
CP-AF10-N1	1	28	15.27	186.27	18993.95	103.78	2	104.47	4.54	4.35
	2	28	15.20	197.78	20167.63	111.20	2			
	3	28	14.92	168.74	17206.42	98.42	2			

Tabla 69*Ensayo de Resistencia a flexión. Edad 14 días.*

Tipo de mezcla	Viga N°	Edad de la viga	Ancho (cm)	Alto (cm)	Largo promedio (cm)	Carga de rotura en KN	Carga de rotura (kg)	Ubicación de la falla.	MR (kg/cm ²)	MR promedio (kg/cm ²)	Desviación estándar.	Coef. De variación (%)
CP-AF0-N0	1	14	15.20	15.10	50.00	17.25	1758.98	Tercio central	25.38	22.35	1.97	8.82
	2	14	15.10	15.00	50.00	13.25	1351.10	Tercio central	19.88			
	3	14	15.10	15.00	50.00	14.52	1480.60	Tercio central	21.79			
CP-AF0-N0.5	1	14	15.10	15.00	50.00	19.14	1951.71	Tercio central	28.72	27.60	1.32	4.79
	2	14	15.10	15.10	50.00	17.18	1751.84	Tercio central	25.44			
	3	14	15.20	14.90	50.00	18.95	1932.33	Tercio central	28.63			
CP-AF0-N1	1	14	15.00	15.20	50.00	15.12	1541.79	Tercio central	22.24	22.82	0.97	4.23
	2	14	15.00	15.10	50.00	14.65	1493.86	Tercio central	21.84			
	3	14	15.00	15.00	50.00	16.14	1645.80	Tercio central	24.38			
CP-AF5-N0	1	14	15.00	14.90	50.00	23.37	2383.04	Tercio central	35.78	35.01	1.08	3.08
	2	14	15.00	15.10	50.00	24.15	2462.58	Tercio central	36.00			
	3	14	14.90	15.00	50.00	21.87	2230.08	Tercio central	33.26			
CP-AF10-N0	1	14	15.00	15.10	50.00	30.53	3113.14	Tercio central	45.51	44.03	1.09	2.47
	2	14	15.00	15.20	50.00	28.85	2941.83	Tercio central	42.44			
	3	14	15.10	15.00	50.00	29.42	2999.96	Tercio central	44.15			
CP-AF5-N0.5	1	14	14.90	15.00	50.00	17.35	1769.18	Tercio central	26.39	31.23	2.97	9.50
	2	14	15.00	15.00	50.00	22.15	2258.64	Tercio central	33.46			
	3	14	14.90	14.90	50.00	21.95	2238.24	Tercio central	33.83			
CP-AF10-N0.5	1	14	15.20	15.10	50.00	25.35	2584.94	Tercio central	37.29	34.23	1.89	5.51
	2	14	15.10	15.00	50.00	22.01	2244.36	Tercio central	33.03			
	3	14	15.00	14.90	50.00	21.15	2156.67	Tercio central	32.38			
CP-AF5-N1	1	14	15.10	15.10	50.00	20.51	2091.40	Tercio central	30.37	27.73	1.78	6.42
	2	14	15.00	15.10	50.00	18.42	1878.29	Tercio central	27.46			
	3	14	15.20	15.00	50.00	17.01	1734.51	Tercio central	25.36			
CP-AF10-N1	1	14	15.10	14.90	50.00	15.92	1623.36	Tercio central	24.21	28.43	2.60	9.15
	2	14	15.00	15.00	50.00	20.50	2090.39	Tercio central	30.97			
	3	14	14.90	15.00	50.00	19.80	2019.01	Tercio central	30.11			

Tabla 70*Ensayo de Resistencia a flexión. Edad 28 días.*

Tipo de mezcla	Viga N°	Edad de la viga	Ancho (cm)	Alto (cm)	Largo promedio (cm)	Carga de rotura en KN	Carga de rotura (kg/cm2)	Ubicación de la falla.	MR (kg/cm2)	MR promedio (kg/cm2)	Desviación estándar (%)	Coef. De variación (%)
CP-AF0-N0	1	28	15.00	15.00	50.00	18.94	1931.31	Tercio central	28.61	28.60	0.74	2.57
	2	28	15.10	15.00	50.00	19.75	2013.91	Tercio central	29.64			
	3	28	14.90	15.00	50.00	18.12	1847.70	Tercio central	27.56			
CP-AF0-N0.5	1	28	14.90	15.00	50.00	22.39	2283.11	Tercio central	34.05	36.03	1.50	4.17
	2	28	15.00	15.00	50.00	25.34	2583.92	Tercio central	38.28			
	3	28	14.90	15.00	50.00	23.52	2398.33	Tercio central	35.77			
CP-AF0-N1	1	28	15.00	14.90	50.00	19.56	1994.53	Tercio central	29.95	29.67	0.86	2.90
	2	28	15.00	15.00	50.00	18.76	1912.96	Tercio central	28.34			
	3	28	15.20	15.00	50.00	20.61	2101.60	Tercio central	30.73			
CP-AF5-N0	1	28	14.90	14.90	50.00	24.44	2492.15	Tercio central	37.67	43.09	3.42	7.94
	2	28	15.00	15.00	50.00	29.54	3012.19	Tercio central	44.63			
	3	28	14.90	15.00	50.00	30.89	3149.85	Tercio central	46.98			
CP-AF10-N0	1	28	15.00	15.00	50.00	32.45	3308.93	Tercio central	49.02	49.14	1.29	2.63
	2	28	15.20	15.00	50.00	31.78	3240.61	Tercio central	47.38			
	3	28	15.00	15.10	50.00	34.23	3490.43	Tercio central	51.03			
CP-AF5-N0.5	1	28	14.90	15.00	50.00	25.27	2576.78	Tercio central	38.43	40.11	1.20	3.00
	2	28	15.00	15.00	50.00	26.52	2704.24	Tercio central	40.06			
	3	28	14.90	15.00	50.00	27.51	2805.19	Tercio central	41.84			
CP-AF10-N0.5	1	28	15.00	14.90	50.00	28.01	2856.18	Tercio central	42.88	42.42	0.37	0.87
	2	28	15.00	15.00	50.00	28.15	2870.46	Tercio central	42.53			
	3	28	15.10	15.00	50.00	27.89	2843.94	Tercio central	41.85			
CP-AF5-N1	1	28	15.10	14.90	50.00	29.34	2991.80	Tercio central	44.62	38.88	3.52	9.04
	2	28	15.00	14.90	50.00	23.50	2396.30	Tercio central	35.98			
	3	28	15.00	15.20	50.00	24.50	2498.27	Tercio central	36.04			
CP-AF10-N1	1	28	15.00	14.90	50.00	22.53	2297.38	Tercio central	34.49	39.42	3.60	9.13
	2	28	15.00	15.00	50.00	25.89	2640.00	Tercio central	39.11			
	3	28	15.00	15.00	50.00	29.56	3014.23	Tercio central	44.66			

ANEXO 08. PERMEABILIDAD DE PROBETAS DEL CONCRETO PERMEABLE.

Tabla 71

Resultados de ensayo de permeabilidad.

Tipo de mezcla	N° de probeta	L (cm)	A (cm ²)	a (cm ²)	h1 (cm)	h2 (cm)	t (s)	K (cm/s)	K promedio (cm/s)	Desviación estándar.	Coef. De variación (%)
CP-AF0-N0	1	20	81.07	81.07	30.00	7	53.65	0.54	0.56	0.026	4.62
	2	20	81.07	81.07	30.00	7	50.26	0.58			
CP-AF5-N0	1	20	81.07	81.07	30.00	7	124.60	0.23	0.23	0.003	1.49
	2	20	81.07	81.07	30.00	7	127.26	0.23			
CP-AF10-N0	1	20	81.07	81.07	30.00	7	163.18	0.18	0.18	0.002	1.36
	2	20	81.07	81.07	30.00	7	160.06	0.18			
CP-AF0-N0.5	1	20	81.07	81.07	30.00	7	45.41	0.64	0.61	0.039	6.39
	2	20	81.07	81.07	30.00	7	49.71	0.59			
CP-AF5-N0.5	1	20	81.07	81.07	30.00	7	55.23	0.53	0.54	0.024	4.44
	2	20	81.07	81.07	30.00	7	51.87	0.56			
CP-AF10-N0.5	1	20	81.07	81.07	30.00	7	74.86	0.39	0.39	0.001	0.34
	2	20	81.07	81.07	30.00	7	75.22	0.39			
CP-AF0-N1	1	20	81.07	81.07	30.00	7	23.27	1.25	1.17	0.006	0.53
	2	20	81.07	81.07	30.00	7	26.84	1.08			
CP-AF5-N1	1	20	81.07	81.07	30.00	7	34.84	0.84	0.82	0.001	0.13
	2	20	81.07	81.07	30.00	7	36.08	0.81			
CP-AF10-N1	1	20	81.07	81.07	30.00	7	55.13	0.53	0.53	0.000	0.08
	2	20	81.07	81.07	30.00	7	55.07	0.53			

ANEXO 09. CERTIFICADO DE CONFORMIDAD DEL LABORATORIO DONDE SE REALIZARON LOS ENSAYOS.



Certificado

Otorgado a:

Sánchez Berrios Mayti Abigail

MG. ING. LUIS RAFAEL QUIROZ CHIHUÁN, Gerente General de la empresa **GEOCON VIAL INGENIEROS CONSULTORES E.I.R.L.**

CERTIFICA,

Que, la **TESISTA SÁNCHEZ BERRIOS MAYTI ABIGAIL**, identificada con **DNI N° 70052830** ha realizado sus ensayos para la tesis: **“COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE CON INCORPORACIÓN DE DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADICIÓN DE NANOSÍLICE EN LA CIUDAD JAÉN- CAJAMARCA”**, en los meses de Junio y Julio del presente año, realizados en esta empresa, habiéndose alcanzado los objetivos programados de forma enteramente satisfactoria.

Para que conste donde sea oportuno firmo la presente.

28 de setiembre del 2023

Atentamente:



Rafael Quiroz Ch.
GERENTE GENERAL
GEOCON VIAL
INGENIEROS CONSULTORES E.I.R.L.

Mg. Ing. LUIS RAFAEL QUIROZ CHIHUÁN
GERENTE GENERAL

ANEXO 10. PANEL FOTOGRÁFICO.



FOTOS 1. *Ensayos de los agregados de la cantera Olano.*



FOTO 2: Preparación de mezclas estudiadas.



FOTO 3: Ensayo de asentamiento de las mezclas estudiadas.



FOTOS 4: Elaboración de probetas y vigas.



FOTO 5: Ensayo de resistencia a compresión, de las diferentes mezclas estudiadas.



FOTOS 6: Ensayo de resistencia a flexión, de las diferentes mezclas estudiadas.



FOTOS 1: Ensayo de permeabilidad de las mezclas estudiadas.

Bach. Mayti Abigail Sánchez Berrios
Tesisista

Dr. Ing. Hermes Roberto Mosqueira Ramírez
Asesor