



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**EFFECTOS DE LA ADICIÓN DE MUCÍLAGO DE *Cactaceae*
COLUMNAR EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL
CONCRETO HIDRÁULICO PARA SU APLICACIÓN EN
PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA CIUDAD DE JULIACA - 2022**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. JOSUE LINO CACERES SONCCO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2024



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**EFFECTOS DE LA ADICIÓN DE MUCÍLAGO
DE Cactaceae COLUMNAR EN LAS PROP
IEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO H
I**

AUTOR

JOSUE LINO CACERES SONCCO

RECuento de palabras

35647 Words

RECuento de caracteres

186820 Characters

RECuento de páginas

192 Pages

Tamaño del archivo

10.7MB

Fecha de entrega

Jul 12, 2024 1:00 PM GMT-5

Fecha del informe

Jul 12, 2024 1:03 PM GMT-5

● **12% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 10% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)


Ing. Anis Rojas Chacabres
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNAN N° 2051221

V.O.S.

12 Julio 2024
Ing. Jaime Medina Leiva
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNAN N° 210545
SUBDIRECTOR DE INVESTACIONES

[Resumen](#)



DEDICATORIA

A mis queridos padres, Luis Beltrán y María Salome quienes han sabido guiarme para culminar mi carrera profesional, gracias por las enseñanzas, comprensión y apoyo en todo momento.

Josué Lino Cáceres Soncco



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Nacional del Altiplano y a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por concederme el privilegio de formar parte de esta familia de la ingeniería.

A mis padres, por su apoyo incondicional durante mi paso por la universidad.

A mi director de tesis D.Sc. Félix Rojas Chahuares, quien siempre estuvo dispuesto a orientarme en esta tesis y me brindó un cúmulo de experiencias, conocimientos y consejos.

A los miembros del jurado dictaminador: Ing. Zenón Mellado Vargas, M.Sc. Yasmani Teófilo Vitulas Quille y la Ing. Gleny Zoila De la Riva Tapia, quienes con su experiencia y comprensión me brindaron sugerencias para este proyecto.

Gracias a mis amigos por contribuir con su sabiduría y experiencia y a todos los que ayudaron a que este proyecto se desarrolle satisfactoriamente.

Josué Lino Cáceres Soncco



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
LISTA DE ACRÓNIMOS	
ÍNDICE DE ECUACIONES	
RESUMEN	19
ABSTRACT.....	20
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	23
1.2.1 Problema general.....	23
1.2.2 Problemas específicos	23
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
1.4 OBJETIVOS.....	25
1.4.1 Objetivo general	25
1.4.2 Objetivos específicos	25
1.5 HIPÓTESIS	26
1.5.1 Hipótesis general	26
1.5.2 Hipótesis específicas	26



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	27
2.1.1	A nivel internacional	27
2.1.2	A nivel nacional	30
2.2	MARCO TEÓRICO	40
2.2.1	El concreto	40
2.2.2	Componentes del concreto	40
2.2.2.1	El cemento.....	40
2.2.2.2	Agregados	44
2.2.2.3	Aditivos	46
2.2.3	Propiedades del concreto.....	49
2.2.3.1	En estado fresco	49
2.2.3.2	En estado endurecido	52
2.2.4	Ensayos del concreto.....	55
2.2.4.1	Ensayo de resistencia a la compresión	55
2.2.4.2	Ensayo de resistencia a la flexión	57
2.2.4.3	Ensayo de asentamiento del concreto	58
2.2.4.4	Ensayo de permeabilidad.	59
2.2.5	Mucílago de <i>cactaceae</i>	62
2.2.5.1	Definición.....	62
2.2.5.2	Usos del mucílago de nopal en la industria de la construcción	63
2.2.6	Pavimento rígido	66
2.2.6.1	Componentes del pavimento rígido	67
2.2.6.2	Diseño de pavimento rígido	68



2.2.7	Obtención del ESAL	79
2.2.8	Normas para ensayos de laboratorio	79
2.2.9	Ensayos ejecutados durante la investigación	80
2.2.10	Crecimiento del parque automotor Puno.....	80

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO	81
3.1.1	Ubicación del laboratorio de concreto	82
3.1.2	Ubicación de Cantera	82
3.2	PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO.....	83
3.3	MATERIALES UTILIZADOS EN LA INVESTIGACION	83
3.3.1	Cemento	83
3.3.2	Agregados	84
3.3.3	Agua	84
3.3.4	Mucílago de <i>Cactaceae</i> Columnar.....	84
3.4	EQUIPOS.....	85
3.5	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	86
3.5.1	Enfoque de la investigación	86
3.5.2	Nivel de investigación.....	86
3.5.3	Diseño de la investigación	86
3.5.4	Población y muestra	87
3.5.4.1	Población.....	87
3.5.4.2	Muestra.....	88
3.5.5	Operacionalización de variables	89
3.6	PRUEBA ESTADÍSTICA	90



3.6.1	Prueba de normalidad.....	90
3.6.1.1	Prueba de hipótesis estadística.....	90
3.6.1.2	Nivel de significancia.....	90
3.6.1.3	Análisis paramétrico	91
3.6.2	Coefficiente de correlación de Pearson	91
3.6.3	Prueba ANOVA (análisis de varianzas).....	92
3.6.4	Confiabilidad y validez	94
3.7	PROCEDIMIENTO	94
3.7.1	Extracción de agregados	96
3.7.2	Ensayo de agregados	97
3.7.2.1	Contenido de humedad – agregado fino	98
3.7.2.2	Contenido de humedad – agregado Grueso	99
3.7.2.3	Equipos utilizados para realizar ensayos con agregados	99
3.7.2.4	Análisis granulométrico de los agregados grueso.....	100
3.7.2.5	Análisis granulométrico de los agregados fino.....	101
3.7.2.6	Cálculo del Módulo de finura	102
3.7.2.7	Cálculo del peso específico y absorción de agregado fino	103
3.7.2.8	Cálculo del peso específico y absorción de agregado grueso .	104
3.7.2.9	Peso unitario suelto y compacto del agregado fino.....	105
3.7.2.10	Peso unitario suelto y compacto del agregado grueso	106
3.7.3	Extracción de mucílago de <i>cactaceae</i> columnar.....	108
3.7.4	Caracterización del mucílago de <i>cactaceae</i> columnar	110
3.7.5	Diseño de mezclas del concreto ACI 211.1	111
3.7.6	Materiales para la muestra patrón + 0% de MCC.....	112
3.7.7	Materiales para la muestra patrón + 1% de MCC.....	113



3.7.8	Materiales para la muestra patrón + 2% de MCC	114
3.7.9	Materiales para la muestra patrón + 3% de MCC	115
3.7.10	Ensayos de control de concreto en estado fresco Ver el anexo 06.....	115
3.7.11	Prueba de resistencia a la compresión.....	118
3.7.12	Prueba de resistencia a la flexión norma ASTM C 3.....	120
3.7.13	Ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión	121
3.8	DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO RÍGIDO.....	123
3.8.1	Obtención del ESAL	123
3.8.2	Análisis de costos de concreto patrón y modificado con MCC	124

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	RESULTADOS	126
4.1.1	Resultado del ensayo de resistencia a la compresión del concreto	126
4.1.2	Resultado del ensayo de resistencia a la flexión	130
4.1.3	Resultado del ensayo de asentamiento del concreto	132
4.1.4	Resultado del ensayo de permeabilidad.	133
4.1.5	Resultados de pavimento rígido	135
4.2	CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	138
4.2.1	Resistencia a la compresión	138
4.2.1.1	Prueba de normalidad.....	138
4.2.1.2	Prueba de correlación entre variables	140
4.2.1.3	Contraste de hipótesis	142
4.2.2	Resistencia a la flexión.....	145
4.2.2.1	Prueba de normalidad.....	145
4.2.2.2	Prueba de correlación entre variables	147



4.2.2.3	Contraste de hipótesis	148
4.2.3	Ensayo de asentamiento del concreto.....	151
4.2.3.1	Prueba de normalidad.....	152
4.2.3.2	Prueba de correlación entre variables	154
4.2.3.3	Contraste de hipótesis	155
4.2.4	Ensayo de permeabilidad	158
4.2.4.1	Prueba de normalidad.....	158
4.2.4.2	Prueba de correlación entre variables	160
4.2.4.3	Contraste de hipótesis	161
4.3	DISCUSIÓN	165
4.3.1	Resistencia a la compresión.	165
4.3.2	Resistencia a la flexión.....	167
4.3.3	Trabajabilidad del concreto.....	168
4.3.4	Permeabilidad.....	169
4.4	CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS.....	171
4.4.1	Cumplimiento de objetivos específicos	171
4.4.2	Cumplimiento de objetivo general	174
V.	CONCLUSIONES	175
VI.	RECOMENDACIONES	178
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	179
VIII.	ANEXOS	190

TEMA: Incorporación de aditivos naturales mucílago de *cactaceae* columnar en la elaboración del concreto.

ÁREA: Construcciones.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Construcciones y Gerencia

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 19 de julio de 2024.



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Patrones de fractura típicos en ensayos de resistencia a compresión.....	56
Figura 2 Detalle de puntos de apoyo de carga en ensayos a flexión del concreto.....	58
Figura 3 Medidas del molde metálico para el ensayo de asentamiento.....	59
Figura 4 Ejemplo de dispositivo de ensayo cotas en milímetros (UNE-EN 12390-8)...	60
Figura 5 Profundidad de penetración media de acuerdo a la norma UNE-EN 12390-8	61
Figura 6 Gelificación de pectina de nopal en presencia de iones calcio.....	65
Figura 7 Estructura de un pavimento rígido	67
Figura 8 Correlación CBR y módulo de reacción de la subrasante	74
Figura 9 Coeficiente de reacción del diseño Kc	75
Figura 10 Aforo vehicular para estudio de tráfico	79
Figura 11 Ubicación geográfica lugar de estudio ciudad de Juliaca -Puno	81
Figura 12 Ubicación satelital de cantera de agregados.....	83
Figura 13 Diagrama de flujo del procedimiento de la investigación	95
Figura 14 Extracción de agregados cantera Jereservi (Cabanillas)	96
Figura 15 Ensayos de laboratorio para caracterización de agregados	97
Figura 16 Curva granulométrica del agregado grueso.....	101
Figura 17 Curva granulometría del agregado fino.....	102
Figura 18 Incorporación de agregado fino a la fiola.....	103
Figura 19 Desprendimiento de agregado fino en SSS	104
Figura 20 Ensayo de absorción de agregado grueso.....	105
Figura 21 Ensayo de densidad relativa de agregado fino	106
Figura 22 Ensayo de densidad relativa de agregado grueso	107
Figura 23 Extracción y caracterización de mucílago de cactaceae.....	109



Figura 24 Elaboración de testigos cilíndricos y prismáticos	116
Figura 25 Ensayo de resistencia a la compresión norma ASTM - C39/C39M - 20	119
Figura 26 Prueba de resistencia a la flexión ASTM C-78	120
Figura 27 Prueba de profundidad penetración de agua bajo presión	122
Figura 28 Costo de losa por metro cúbico de concreto $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$	125
Figura 29 Comparación de resultados del ensayo de resistencia a compresión.	128
Figura 30 Resultados de resistencia a la compresión a los 07, 14 y 28 días.....	129
Figura 31 Resultado de resistencia a la flexión a la edad de 28 días	131
Figura 32 Resultado del ensayo de asentamiento del concreto	132
Figura 33 Resultados de ensayo de permeabilidad de concreto a los 28 días.	134
Figura 34 Resultado del espesor de pavimento	136
Figura 35 Costo por metro cuadrado de losa de pavimento $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$	137
Figura 36 Diagrama de cajas de las pruebas de resistencia a compresión.....	144
Figura 37 Diagrama de cajas en resistencia a flexión.....	151
Figura 38 Diagrama de cajas en ensayo de asentamiento.....	157
Figura 39 Diagrama de cajas en ensayo de permeabilidad del concreto	164



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Tipos de cemento según las normas ASTM	41
Tabla 2 Composición química del cemento.....	41
Tabla 3 Tipos de cementos existentes en el mercado nacional.....	44
Tabla 4 Consistencia de la mezcla de concreto	50
Tabla 5 Clasificación de tipo de tránsito según EE de 150,001-1'000,000.....	70
Tabla 6 Número de repeticiones acumuladas de 1'00,001-30'000,000 EE.....	71
Tabla 7 Índice de serviciabilidad inicial, final y diferencia.....	72
Tabla 8 Valores recomendados nivel de confiabilidad (R) y desviación estándar (Zr)..	72
Tabla 9 CBR mínimos recomendados para la subbase granular expresado en EE.....	75
Tabla 10 Valores sugeridos según los ejes equivalentes de tránsito.....	76
Tabla 11 Recomendaciones de calidad de drenaje según la saturación.....	77
Tabla 12 Coeficiente de drenaje de las capas granulares.....	78
Tabla 13 Valores de coeficiente de transmisión de carga J	78
Tabla 14 Normas para los ensayos en laboratorio	79
Tabla 15 Crecimiento de parque automotor Puno	80
Tabla 16 Ubicación de cantera de agregados en coordenadas UTM	82
Tabla 17 Cantidad de muestras cilíndricas y prismáticas	89
Tabla 18 Operacionalización de variables	89
Tabla 19 Tabla del estadístico ANOVA	93
Tabla 20 Confiabilidad del instrumento mediante normas y expertos	94
Tabla 21 Caracterización de agregados	97
Tabla 22 Porcentaje de humedad del agregado fino	99
Tabla 23 Contenido de humedad del agregado grueso	99
Tabla 24 Equipos utilizados para realizar ensayos con agregados	99
Tabla 25 Análisis granulométrico del agregado grueso.....	100
Tabla 26 Análisis granulométrico de agregado fino.....	101
Tabla 27 Determinación del peso específico y absorción del agregado fino.....	104
Tabla 28 Datos y resultados del ensayo de absorción de agregado grueso	105
Tabla 29 Peso unitario suelto del agregado fino.....	106
Tabla 30 Peso unitario compacto del agregado fino.....	106



Tabla 31	Peso unitario suelto del agregado grueso.....	107
Tabla 32	Peso unitario compactado del agregado grueso.....	107
Tabla 33	Caracterización de mucílago de cactaceae.....	110
Tabla 34	Densidad del mucílago de cactaceae columnar	111
Tabla 35	Viscosidad del mucílago de cactaceae columnar.....	111
Tabla 36	Valores del diseño de mezcla (muestra patrón + 0% de MCC.).....	112
Tabla 37	Cuantificación de materiales (concreto estándar + 0% de MCC).....	113
Tabla 38	Valores del diseño de mezcla (muestra patrón + 1% de MCC).....	113
Tabla 39	Cuantificación de materiales (concreto estándar + 1% de MCC).....	114
Tabla 40	Valores de diseño de mezcla (muestra patrón + 2% de MCC).....	114
Tabla 41	Cuantificación de materiales (concreto estándar + 2% de MCC).....	114
Tabla 42	Parámetros de diseño de mezcla (muestra patrón + 3% de MCC)	115
Tabla 43	Cantidad de materiales (concreto estándar + 3% de MCC).....	115
Tabla 44	Cantidad de muestras cilíndricas elaboradas para resistencia a compresión. 118	
Tabla 45	Número de muestras prismáticas para la prueba de resistencia a flexión.....	120
Tabla 46	Resultados de espesor de pavimento calculado por método AASHTO 93 ...	124
Tabla 47	Determinación del costo de losa por metro cúbico de concreto	125
Tabla 48	Resultados resistencia a la compresión $f^c=280 \text{ kg/cm}^2$ a la edad de 7 días .	126
Tabla 49	Resultados resistencia a la compresión $f^c=280 \text{ kg/cm}^2$ a los 14 días.....	126
Tabla 50	Resultados resistencia a la compresión $f^c=280 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días.....	127
Tabla 51	Resumen de resultados resistencia a la compresión $f^c=280 \text{ Kg/cm}^2$	127
Tabla 52	Resultados resistencia a la flexión $f^c=280 \text{ kg/cm}^2$ a la edad de 28 días	130
Tabla 53	Resumen de resultados resistencia a flexión	130
Tabla 54	Datos del ensayo de asentamiento del concreto	132
Tabla 55	Resultados del ensayo de permeabilidad del concreto	133
Tabla 56	Resumen de resultados del ensayo de permeabilidad del concreto	134
Tabla 57	Tabla de resultados de propiedades mecánicas y espesor de pavimento	135
Tabla 58	Determinación del costo de losa por metro cuadrado.....	136
Tabla 59	Pruebas de normalidad Shapiro-Wilk, de resistencia a la compresión.....	139
Tabla 60	Correlación entre la adición de MCC y la resistencia a compresión.	141
Tabla 61	Análisis de la prueba ANOVA para la resistencia a la compresión	142
Tabla 62	Resumen de la prueba ANOVA para resistencia a compresión.	143
Tabla 63	Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para ensayo de resistencia a la flexión	146
Tabla 64	Correlación entre la adición de MCC y la resistencia a la flexión.	148



Tabla 65 Análisis de la prueba ANOVA para el ensayo de resistencia a la flexión...	149
Tabla 66 Resumen de la prueba ANOVA para resistencia a flexión.....	150
Tabla 67 Pruebas de normalidad Shapiro-Wilk, ensayo de asentamiento.....	152
Tabla 68 Correlación entre la adición de MCC y el asentamiento.	154
Tabla 69 Análisis de la prueba ANOVA para el ensayo de asentamiento	155
Tabla 70 Resumen de la prueba ANOVA para el ensayo de asentamiento.....	156
Tabla 71 Prueba de normalidad del ensayo de la permeabilidad.....	159
Tabla 72 Correlación entre la adición de MCC y la permeabilidad.	161
Tabla 73 Análisis de la prueba ANOVA para el ensayo de permeabilidad.....	162
Tabla 74 Resumen de la prueba ANOVA para el ensayo de permeabilidad.....	163



LISTA DE ACRÓNIMOS

AASHTO	: American association of state highway and transportation officials
a/c	: Relación agua cemento
ACI	: American concrete institute
ASTM	: American society of testing materials
CBR	: Californian bearing ratio (relación de soporte californiana)
Cd	: Condiciones de drenaje
cNm	: Mucílago de nopal cocido
dNp	: Polvo de nopal deshidratado
EDS	: Energy dispersive spectroscopy (espectroscopía de energía dispersiva)
EE	: Eje equivalente.
eNm	: Mucílago de nopal exudado
ESALs	: Equivalent single axle load
f'c	: Resistencia a la compresión del concreto
Ha	: Hipótesis alterna
Ho	: Hipótesis nula
INEI	: Instituto nacional de estadística e informática
J	: Coeficiente de transmisión de carga
K	: Módulo de reacción
K	: Coeficiente de permeabilidad
Kc	: Módulo de reacción combinado
kN	: Kilo Newton
kg	: Kilógramo
MC	: Mucílago de cactus



MCC	: Mucílago de <i>cactaceae</i> columnar
MTC	: Ministerio de transportes y comunicaciones
miFE	: Absorción capilar
Mr	: Módulo de rotura del concreto
NTP	: Norma técnica peruana
OGPP	: Oficina general de planeamiento y presupuesto
P	: Patrón
Pi	: Índice de servicio inicial
Pt	: Índice de servicio final
PCA	: Portland cement association
qS	: Resistividad eléctrica saturada
R	: Confiabilidad
RCP	: Permeabilidad rápida al cloruro
SAC	: Sociedad anónima cerrada
SCC	: Self-consolidating concrete (concretos autocompactantes)
SEM	: Scanning electron microscope (análisis en microscopio de barrido electrónico)
SI	: Sistema internacional de unidades
SPSS	: Statistical package for the social sciences (programa estadístico)
SSS	: Saturado y seca y superficialmente
TV%	: Porcentaje total de vacíos
VEA	: Viscosity-enhancing admixtures (aditivos que mejoran la viscosidad)
Zr	: Desviación estándar
ΔPSI	: Variación entre los valores inicial y final



ÍNDICE DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Para calcular la resistencia a la compresión del concreto	56
Ecuación 2. Fórmula para calcular la profundidad de penetración media.....	61
Ecuación 3. Ecuación fundamental AASHTO 93	69
Ecuación 4. Fórmula para determinar el Kc se utiliza la formula (4).....	75
Ecuación 5. Fórmula para determinar el módulo elástico del concreto AASHTO 93....	76
Ecuación 6. Coeficiente de correlación de Pearson	91
Ecuación 7. Módulo de finura del agregado grueso	102
Ecuación 8. Módulo de finura del agregado fino.....	103
Ecuación 9. Ecuación fundamental AASHTO	123



RESUMEN

El enfoque de este estudio fue determinar el efecto del aditivo natural mucílago de *cactaceae* columnar (MCC) con la finalidad de mejorar el comportamiento del concreto hidráulico para pavimentos rígidos, la investigación se justifica en la carencia de estudios relacionados a la influencia del MCC en concretos para pavimentos rígidos en la región de Puno y la exploración de materiales de construcción sostenibles, y amigables con el medio ambiente. La investigación fue de enfoque cuantitativo, nivel explicativo y diseño cuasi experimental. Se ensayaron 60 muestras para medir las propiedades físicas y mecánicas del concreto. Para tal fin, se planteó adicionar el aditivo natural MCC en proporciones de 1%, 2%, 3% en peso del cemento a un concreto con $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ con una relación a/c de 0.45. Los resultados, a los 28 días, mostraron una mejora en la resistencia a la compresión y flexión de 3.78% y 4.61% respectivamente al añadir el 3% de MCC, comparado con la muestra patrón. En cuanto a la trabajabilidad, las muestras incorporadas con MCC, mostraron un concreto suave y homogéneo facilitando el vaciado de las muestras y aumentando el asentamiento hasta en un 134% respecto del concreto patrón. En el ensayo de permeabilidad el coeficiente se redujo en un 30.99% respecto del concreto patrón. Para calcular el espesor de pavimento del concreto se utilizó la metodología AASHTO 1993, obteniendo una reducción del espesor en 0.54 cm, para la adición del 3% de MCC. Se concluye que la incorporación del aditivo natural MCC tiene una influencia directa en las propiedades del concreto.

Palabras Clave: *Cactaceae* columnar, Compresión, Emulsión vegetal, Flexión, Permeabilidad.



ABSTRACT

The focus of this study was to determine the effect of the natural additive mucilage of columnar cactaceae (MCC) in order to improve the performance of hydraulic concrete for rigid pavements, the research is justified by the lack of studies related to the influence of MCC in concrete for rigid pavements in the region of Puno and the exploration of sustainable and environmentally friendly construction materials. The research had a quantitative approach, explanatory level and quasi-experimental design. Sixty samples were tested to measure the physical and mechanical properties of concrete. For this purpose, the natural admixture MCC was added in proportions of 1%, 2%, 3% by weight of cement, to a concrete with $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$, with a w/c ratio of 0.45. The results at 28 days showed an improvement in compressive and flexural strength of 3.78% and 4.61%, respectively, when 3% MCC was added, compared to the standard sample. As for workability, the samples incorporated with MCC showed a smooth and homogeneous concrete, facilitating the pouring of the samples, increasing the slump up to 134% with respect to the standard concrete. In the permeability test, the coefficient was reduced by 30.99% with respect to the standard concrete. To calculate the thickness of the concrete pavement, the AASHTO 1993 methodology was used, obtaining a reduction in thickness of 0.54 cm for the addition of 3% MCC. It is concluded that the incorporation of the natural MCC admixture has a direct influence on the properties of the concrete.

Keywords: Cactaceae columnar, Compression, Vegetable emulsion, Flexion, Permeability.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los pavimentos de concreto son una parte fundamental de la infraestructura de transporte, pero su durabilidad y resistencia a la fatiga pueden verse comprometidas por factores como el aumento del tráfico, las condiciones climáticas adversas, humedad y otros agentes externos lo que obstaculiza e impide el movimiento normal de vehículos y peatones (Huamán Contreras et al., 2023). Esto representa un desafío significativo para la gestión y mantenimiento de vías.

A nivel internacional el rendimiento de los materiales de los pavimentos rígidos se está viendo afectado en todo el mundo por las variaciones de temperatura, las fuertes precipitaciones, etc. Todo ello es consecuencia del calentamiento global, pero para reducir los costes de mantenimiento será crucial encontrar los factores climáticos que provocan daños en los pavimentos. (Pacco Chua, 2021).

En Latinoamérica, el pavimento rígido sobresale en contraste con el pavimento flexible. Esto se debe a que, con el tiempo, el pavimento rígido resulta ser más rentable, sin embargo, algún desperfecto considerable causa que las reparaciones sean más costosas. El concreto suele tener buena resistencia a la compresión, pero una limitada resistencia a la flexión, por lo que cuando las cargas de los vehículos superan la carga de diseño del pavimento, se crean grietas. Estas grietas permiten la entrada de agua en el pavimento, lo que provoca daños en la losa, mayores costes de mantenimiento y problemas de transitabilidad (Aguilar Gómez et al., 2021).



Considerando que en el Perú se tiene una red vial que se ha construido conforme a las necesidades de la población con poca planificación, dando soluciones para los requerimientos a corto plazo, sumado a la diversidad de climas que se tiene en el país, los cuales cambian bruscamente, afectando la infraestructura vial como los pavimentos de concreto, tienden a agrietarse generando un colapso de la estructura. Así mismo este problema se presenta en los distintos departamentos del país, por lo cual se sugiere emplear un aditivo de origen natural.

En la región de Puno se tiene particularmente variaciones fuertes de temperatura, principalmente en los meses de invierno, lo cual afecta significativamente a las infraestructuras de concreto y sumado al aumento del flujo vehicular, causan un deterioro de los pavimentos de concreto rígido, Esto nos lleva a la necesidad de fabricar concretos de más resistencia y durabilidad, lo que se traduce en un impacto importante en la economía.

El uso de concreto convencional para la construcción de pavimentos rígidos sin incorporación de aditivos que mejoren su resistencia presentará las mismas fallas que los pavimentos existentes, esto debido a cambios bruscos de temperatura, aumento del parque automotor, mal proceso constructivo, etc. (Jara Arzapalo, 2020). En la actualidad, la industria de la construcción enfrenta desafíos significativos en términos de sostenibilidad y la búsqueda de alternativas respetuosas con el medio ambiente. En este contexto, se ha generado un interés creciente en la incorporación de aditivos naturales en la fabricación de concreto para pavimentos, con el objetivo de mejorar sus propiedades mecánicas y reducir el impacto ambiental asociado con los materiales tradicionales.

Para controlar el deterioro de pavimentos por el aumento de tráfico, se debe realizar estudios e investigaciones, enfocados para mejorar las propiedades del concreto.



Las opciones que tiene son: incrementar el espesor de la losa o reforzar con malla de acero corrugado, pero estos incrementan el costo del proyecto y no es viable, sin embargo, las investigaciones internacionales han dirigido estudios en perfeccionar características de la matriz del concreto, uno de estos estudio es de (Aquilina et al., 2018) en el que se indica que el hombre siempre utilizó materiales de origen vegetal para mejorar propiedades de morteros, estas prácticas se vienen recuperando para utilizar materiales de menor impacto en el medio ambiente mediante como el extracto de mucílago de cactus (*Opuntia ficus indica*) popular en Mesoamérica y Sudamérica que se determinó que su inclusión en el concreto aumenta el rendimiento en términos de resistencia y tiempo de fraguado. También se busca que esta adición no disminuya las características como la trabajabilidad del concreto.

En base a lo descrito líneas arriba, este proyecto busca abordar los efectos del mucílago de *cactaceae* columnar en el concreto utilizado en pavimentos. Mediante el análisis aspectos clave, como la resistencia a la compresión, flexión, así como enfatizar las propiedades de permeabilidad, considerando los aspectos medioambientales.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema general

¿Cuáles son los efectos que tiene la adición de mucílago de *cactaceae* columnar en las propiedades mecánicas del concreto hidráulico para su aplicación en pavimentos rígidos en la ciudad de Juliaca - 2022?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es el efecto que tiene la adición de mucílago de *cactaceae* columnar en la resistencia a la compresión axial?



- ¿Cuál es el efecto que tiene la adición de mucílago de *cactaceae* columnar en la resistencia a la flexión?
- ¿Cuál es el efecto que tiene la adición de mucílago de *cactaceae* columnar en la trabajabilidad?
- ¿Cuál es el efecto que tiene la adición de mucílago de *cactaceae* columnar en la permeabilidad?

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La incorporación del mucílago de *cataceae* columnar en el concreto puede aumentar las propiedades de resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, trabajabilidad, y permeabilidad.

Las investigaciones señalan que la adición de aditivo natural mucílago de *cactaceae* tiene un efecto positivo en las propiedades del concreto al favorecer la creación de biominerales (cristales de oxalato de calcio) lo que contribuiría en la compactación de la matriz del concreto (Martínez Molina, 2018). Adicionalmente se tiene antecedentes de que retarda el fraguado favoreciendo la retención de humedad necesaria para un correcto secado sin cuarteo (Pérez Castellanos, 2009).

En el Perú, el mucílago de *cactaceae* es poco valorado y muy poco utilizado, debido al desconocimiento que se tiene sobre sus propiedades.

Un aspecto importante que impulsa a realizar esta investigación fue el estado actual de las principales calles pavimentadas de la ciudad de Juliaca. Las cuales se han deteriorado por el alto volumen de tránsito diario, lo que obstaculiza e impide el movimiento normal de vehículos y peatones. Una medida que se puede tomar ante esta problemática es la adición de mucílago de *cactaceae* que ayudará a aumentar la



resistencia a la compresión. Sin embargo, también se quiere que aditivo no afecte las propiedades físicas del concreto como la trabajabilidad.

En la industria de la construcción se busca minimizar el impacto medioambiental y mejorar las características mecánicas del concreto utilizando materiales renovables y respetuosos con el medio ambiente, motivo por el cual exploraremos como el mucílago de *cactaceae* columnar pueden influir en las propiedades del concreto como la resistencia, trabajabilidad y permeabilidad. Por esta razón, los resultados conseguidos en este estudio serán de gran utilidad para empresas de construcción, investigadores y población en general, quienes podrán apreciar el aporte teórico, con el cual se manifiesta de manera cuantitativa el efecto del aditivo natural mucílago de *cactaceae* columnar en la propiedad del concreto empleado para pavimentos rígidos en el distrito de Juliaca.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Determinar los efectos que tiene la adición de mucílago de *cactaceae* columnar en las propiedades mecánicas del concreto hidráulico para su aplicación en pavimentos rígidos en la ciudad de Juliaca-Puno, 2022.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar los efectos de la adición de mucílago de *cactaceae* columnar en la resistencia a la compresión axial.
- Determinar los efectos de la adición de mucílago de *cactaceae* columnar en la resistencia a la flexión.



- Determinar los efectos de la adición de mucílago de *cactaceae* columnar en la trabajabilidad.
- Determinar los efectos de la adición de mucílago de *cactaceae* columnar en la permeabilidad.
- Proponer el espesor de losa de pavimento óptimo mediante la metodología AASHTO-93 a partir de los resultados de las propiedades mecánicas del concreto hidráulico con la adición de mucílago de *cactaceae* columnar.

1.5 HIPÓTESIS

1.5.1 Hipótesis general

La adición de mucílago de *cactaceae* columnar influye directamente en las propiedades mecánicas del concreto hidráulico para su aplicación en pavimentos rígidos de la ciudad de Juliaca-Puno 2022.

1.5.2 Hipótesis específicas

- La adición de mucílago de *cactaceae* columnar al concreto hidráulico influye directamente en la resistencia a la compresión axial.
- La adición de mucílago de *cactaceae* columnar al concreto hidráulico influye directamente en la resistencia a la flexión.
- La adición de mucílago de *cactaceae* columnar al concreto influye directamente en la trabajabilidad.
- La adición de mucílago de *cactaceae* columnar al concreto influye de manera favorable en la permeabilidad.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 A nivel internacional

Betancur et al., (2019) en su artículo científico presenta una alternativa para el uso de residuos en el concreto, específicamente experimentaron muestras contenidas con polvo de mármol, cáscara de nuez y mucílago de nopal. El objetivo principal fue de obtener una mezcla que cumpla con los parámetros establecidos y mejorar propiedades en comparación con el mortero tradicional. Su estudio fue de tipo experimental. Se confeccionó muestras utilizando polvo de mármol, cáscara de nuez y mucílago de nopal, como sustitutos y/o aditivos en diferentes porcentajes. El mucílago de nopal se obtuvo mediante el método reposos y filtrado, en la etapa experimental elaboraron especímenes cilíndricos de 7.5 cm de diámetro por 15 cm de altura, sometiéndolos al ensayo de compresión según la norma mexicana NMX-C-061 ONNCCE. Los resultados indican que al añadir 15% de extracto de nopal en sustitución del cemento y 10 % de polvo de mármol en sustitución de arena, da una mayor resistencia de hasta 13.8% respecto del concreto sin aditivos. Llegando a la conclusión de que la adición del mucílago de nopal al concreto y mejora la resistencia a compresión, la viscosidad y reduce la demanda de agua en las mezclas elaboradas.

(Aquilina, Borg, & Buhagiar, 2018) en su artículo científico tuvo como objetivo evaluar extractos de mucílago *Opuntia ficus-indica* (OFI) en diferentes formas e incorporarlos en pastas de cemento y mortero en sustitución de agua de



mezcla y cemento. Su investigación fue de tipo experimental. utilizaron dos métodos de sustitución de agua y polvo, para ambos casos se utilizaron la sección blanca (cladiolos) del cactus *Opuntia ficus-indica* para producir el mucílago. La preparación de la mezcla se realizó en base a la norma española EN 196-1:2016, en cubos de 20x20x20mm, con una relación agua cemento de 0.28 y 0.35. se realizaron ensayos a los 3, 7, 28 y 90 días del colado. Los resultados indicaron que todas las muestras de concreto, tanto sustitutos líquidos como en polvo de OFI, presentaban un aumento en la consistencia de la pasta de cemento que puede atribuirse a la presencia de polisacáridos en OFI (Ribeiro et al., 2010). Esto debido a que el tipo de polisacáridos ramificados presentes en OFI dan lugar a una estructura matricial con altas características de retención de agua que de hecho se conoce como mucílago. Por lo tanto, cabe suponer que parte del agua presente en la mezcla se encuentra en la matriz del polisacárido. Lo que reduce la fluidez y aumenta la consistencia. A los 28 días de ensayo el mayor porcentaje de sustitución (60%) mostró el mayor incremento en resistencias a compresión y flexión de todos los porcentajes con respecto a las muestras control. La conclusión fue que a los 28 días se registraron aumentos en la resistencia a compresión y flexión para los sustitutos OFI tanto en polvo como en forma líquida. Lo que indica que el OFI tanto en forma líquida como polvo es una adición potencialmente útil para mejorar las propiedades de endurecimiento de los morteros a base de cemento.

El objetivo principal de Martínez (2018) fue mejorar la durabilidad de los materiales de construcción y reducir de la corrosión, mediante la incorporación al cemento portland de biopolímeros, como mucílago de nopal *Opuntia ficus indica* (OFI) y almidón de maíz. La metodología empleada fue experimental, utilizando



normas mexicanas e internacionales para realizar pruebas que incluyeron resistencia a la compresión, resistencia a la tensión, ataque de sulfatos, impermeabilidad del cloruro, porosidad, resistencia al congelamiento y descongelamiento, entre otros parámetros. Sus resultados indicaron que la inclusión de un 2% de OFI en el hormigón provoca inicialmente una disminución de la resistencia a la compresión. No obstante, después de 40 días, la resistencia muestra un aumento entre el 10% y el 15%. En términos de resistencia a la flexión, el hormigón con aditivo OFI muestra un incremento del 15% en comparación con el hormigón convencional después de 40 días. Sin embargo, durante las 3 semanas iniciales, el comportamiento es opuesto. La conclusión que llegó fue que la adición de mucílago de nopal es adecuada para mejorar y/o modificar varias características del concreto, obteniendo resultados favorables y prometedores, resultando a la vez un tema de interés y ecológico.

(Torres Acosta & Días Cruz, 2020) El objetivo principal de los investigadores fue evaluar las características físicas del concreto (es decir, porosidad y resistencia mecánica) a partir de su desempeño en durabilidad, con la adición de derivados del nopal a la mezcla. Para lo cual evaluaron tres tipos de mucílagos de nopal: exudado de mucílago de nopal (eNm); mucílago cocido de nopal (cNm); y polvo deshidratado de nopal (dNp). El hormigón que se añadió eNm y cNm se elaboró utilizando una dosis de 4%, 8%, 15% y 30% en sustitución de la masa del agua. De manera similar en el dNp los investigadores utilizaron concentraciones de 1%, 2% y 4% en peso de cemento y por reemplazo del agregado. Los ensayos de durabilidad fueron: resistencia a la compresión (f_c'); porcentaje total de vacíos (TV%); resistividad eléctrica saturada (q_s); absorción capilar (porosidad efectiva, m_{iFE}); permeabilidad rápida al cloruro (RCP); y



análisis micrográfico SEM. Para lo cual los autores fabricaron un total de 144 cilindros de concreto (con diámetro de 100 mm y una altura 200mm) utilizando cemento tipo CPC 30R-RS (designación mexicana para un cemento ASTM Tipo II con contenido de clínker entre 60%-95%). Todas las pruebas realizadas cumplieron con los procedimientos normalizados de ASTM. Las pruebas se evaluaron a los 30, 90, 180 y 400 días. La incorporación del polvo deshidratado de nopal (dNp) mejoró el traslado de cloruros con: adiciones <2% disminuyendo los índices RCP hasta llegar a un 10%. Pero no aumentó significativamente la durabilidad del concreto, El exudado de mucílago de nopal (eNm) presentó mejores resultados de durabilidad hasta en un 20% (TV%/mi_{FE} disminuyó y qS/fc aumento), y el resultado de RCP indicó una mejora de hasta en un 30%. El (cNm) obtuvo resultados mejores a la muestra control (de 20% a 40% de incremento) en las cuatro edades de las muestras ensayadas. En conclusión, los derivados del nopal pueden actuar como biopolímeros taponantes dentro de los espacios vacíos de la matriz del concreto, conteniendo el recorrido del agua y cloruros al interior del concreto.

2.1.2 A nivel nacional

En su investigación, Andrade (2022) utilizó metodología de tipo aplicado, un diseño de investigación cuasi-experimental y un enfoque cuantitativo para examinar 72 muestras a los 7, 14 y 28 días con el fin de determinar cómo se podía utilizar el Nopal para modificar las características del concreto de pavimentos rígidos con $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$. Se adicionó mucílago de Nopal en diferentes dosis de 0%, 1%, 1.5%, 2.5%, y 3% en proporción al peso del cemento. Se realizaron las siguientes pruebas: resistencia a la tracción, flexión y compresión; adicionalmente se realizaron pruebas de trabajabilidad, cohesividad, exudación e



impermeabilidad para pavimentos rígidos. Los instrumentos utilizados fueron las normas estandarizadas de forma fiable. Se encontraron resultados positivos con la adición de 2.5%, elevando la resistencia a la flexión de 36.40 kg/cm² hasta 42.80 kg/cm², un incremento de 13.16% con respecto a la muestra estándar. Se concluye que el nopal mejora las características mecánicas y físicas de los pavimentos de concreto tanto en su fase fresca como endurecida.

En su estudio realizado en la localidad de Melgas, Sayapullo, departamento de La Libertad, Chávez y Aguirre (2022) tuvieron como objetivo conocer el impacto del mucílago o goma de tuna en el congelamiento-descongelamiento del concreto con un diseño de $f'c=280$ Kg/cm². Los autores emplearon una metodología de diseño cuasi-experimental. Se prepararon un total de 72 muestras, compuestas por la muestra estándar y muestras modificadas con goma de tuna en dosis de 0.5%, 1.0%, 2.0%, 3.0% y 5.0%. Cada dosis contenía 12 especímenes. Se realizaron pruebas para medir el asentamiento del hormigón fresco, el peso unitario, el contenido de aire y la resistencia a la compresión. Los investigadores alcanzaron una dosificación óptima del 0,5%, que dio como resultado un desplome de 4 pulgadas, una temperatura de 18,5 grados centígrados, un peso unitario de 2.444 kilogramos por metro cúbico, un contenido de aire del 1,6% y una mejoría del 9,35% en la resistencia a la compresión del hormigón. Llegaron a la conclusión de que es posible reforzar la resistencia del hormigón a la congelación y descongelación utilizando mucílago de tuna.

En su investigación de realizada en Abancay, Valverde (2023). Se concentró en explorar la mejora potencial de la resistencia de columnas de concreto mediante la incorporación de un aditivo natural que cumple la misma función que un aditivo químico. El autor empleó una metodología aplicada,



utilizando mucílago de tuna como aditivo en una mezcla de concreto. Las integraciones del aditivo fueron al 1,5%, 2%, 2,5% y 3%. Se preparó en total de 45 testigos para la prueba de resistencia a la compresión axial, con 9 muestras para el hormigón estándar y 9 muestras para cada combinación. Además, se consideró 3 muestras para cada una de las categorías de edad de 7, 14 y 28 días. Sus resultados revelaron una ligera disminución de la resistencia a compresión de las muestras de 7 y 14 días. Sin embargo, la muestra de 28 días exhibió un notable aumento de la resistencia, de 19,26 Kg/cm². Los investigadores concluyeron que el nivel más alto de resistencia se alcanzó con una dosis del 2% de mucílago de penca de tuna, lo que dio como resultado una resistencia de 326,65 Kg/cm². Este nivel de resistencia es un 106,27% superior al del concreto convencional.

En su estudio realizado en el distrito de Pimentel, Burga y Hurtado (2023) se propusieron evaluar las cualidades físicas y mecánicas del concreto al combinarse con el mucílago o extracto de tuna (MT) y fibras de cascara de maíz (FCM). Los autores emplearon una metodología aplicada con un diseño cuasi-experimental para investigar los efectos de la adición de MT a una mezcla de hormigón estándar con un diseño de mezcla de 210 kg/cm². Se añadió MT en porcentajes variables del 10%, 15%, 20% y 25%, y se determinó el contenido óptimo. Posteriormente, el contenido óptimo de MT se combinó con FCM en porcentajes del 0,5%, 1%, 1,5% y 2%. Los resultados indicaron que la trabajabilidad de las mezclas mejoró dentro del intervalo de 3,75 a 5,75 pulgadas. Sin embargo, cuando el FCM estaba presente, las mezclas de concreto se mantuvieron consistentemente un asentamiento entre 3 y 4 pulgadas. Sus resultados indicaron que al añadir FCM a las muestras de concreto estas mostraron una disminución en la resistencia a compresión. Sin embargo, al añadir 15% de MT



se logró una mejora de 1.01% en el mismo ensayo. Sus conclusiones establecieron que la incorporación de un 15% de MT es la proporción óptima para mejorar el concreto estándar, mientras que la inclusión de FCM disminuye las características físicas del concreto.

Celis y Requejo (2023) realizaron su estudio en la ciudad de Pimentel, se enfocaron en adicionar al hormigón el aditivo natural denominado mucílago de cactus y cobre reciclado. Con el fin de menguar la cantidad de residuos vertidos al medio ambiente y disminuir la utilización de aditivos industriales importados, en la producción de concretos. Su objetivo principal fue la evaluación de cualidades mecánicas del concreto con la inserción de mucílago de cactus y cobre reciclado. Su estudio fue de tipo experimental de enfoque cuantitativo. La evaluación se hizo mediante ensayos de: asentamiento del concreto, temperatura del concreto fresco, resistencias a compresión y flexión; para mezclas de concreto de 210 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2 . Sus resultados arrojaron que la adición de mucílago de cactus y cobre reciclado en el concreto tiene un efecto significativo, se observó que la mejora optima fue al añadir 1.5% de mucílago de cactus + 5% de cobre reciclado, para ambos diseños de 210 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2 .

En el estudio de Bermúdez (2022), el objetivo fue identificar una solución ecológica y rentable que actúen contra los agentes que afectan el concreto, no solo la estructura sino la salud de la población. Además, el estudio examinó los efectos de la humedad sobre el acero, que propicia el crecimiento de hongos y bacterias. En el departamento de La Libertad se dispone de productos rentables de origen biológico, como la cáscara de huevo y el cactus conocido como *echinopsis pachanoi*. La investigación se realizó como un estudio experimental. Se crearon cuatro diseños de mezcla, uno para hormigón normal y tres con la inclusión de



ceniza de cáscara de huevo y mucílago de cactus. Los resultados sugieren que el uso de una combinación de 8% de ceniza de cáscara de huevo y 1% de mucílago de cactus dio lugar a una resistencia a la compresión de 212 kg/cm². Sin embargo, este resultado no superó el de la muestra estándar. Los investigadores determinaron que la adición de mucílago de cactus aumenta el asentamiento del hormigón de 5 a 8 pulgadas, y disminuye la permeabilidad de 0,952 mm a 0,742 mm en la prueba de absorción capilar. Sin embargo, cuando se combina con ceniza de cáscara de huevo, la resistencia del hormigón tiende a disminuir.

Falcón (2022) realizó un estudio con el objetivo de demostrar que la composición química inalterada del mucílago o extracto de huaraco (conocido como Huanguro en la región) tiene un impacto positivo cuando es adicionado en el concreto hidráulico mejorando sus propiedades físicas y mecánicas. El autor empleó un enfoque de investigación aplicada con un nivel explicativo y un diseño experimental. Incorporó mucílago huaraco a la mezcla en dosis de 0,5%, 1,0% y 1,5% en relación a la cantidad de cemento. La población comprendió 80 especímenes, tanto cilíndricos como prismáticos, con el propósito de realizar pruebas de resistencia a compresión, permeabilidad y resistencia a flexión. Sus hallazgos indican que la inclusión de 0,5% y 1,0% de mucílago de huaraco conduce a un aumento de 33,33% en la trabajabilidad en comparación con la muestra estándar. Del mismo modo, en el ensayo de permeabilidad, el hormigón presenta una reducción del 34,62% en la permeabilidad cuando se añade 1,5% de extracto de huaraco. En la prueba de resistencia a compresión, hay un aumento de 11,93% cuando se añade 0,5% de mucílago de Huaraco. Por último, la resistencia a la flexión muestra un incremento del 19,84% con la inclusión de 0,5% de mucílago de Huaraco. En conclusión, es evidente que el mucílago de Huaraco



ejerce un impacto benéfico sobre las características físicas y mecánicas del concreto hidráulico.

En su estudio, Quispe (2021) tuvo como objetivo evaluar el impacto del mucílago de sábila y nopal en la resistencia a la compresión e impermeabilidad del concreto con una resistencia especificada de $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$. Empleó una metodología de tipo aplicado y diseño experimental. Los resultados obtenidos fueron positivos. Las muestras modificadas con mucílago de nopal superaron a las muestras estándar en todos los diseños. En la prueba de resistencia a la compresión, la añadidura de 15% de extracto de nopal resultó en un $f'c$ de 289.37 kg/cm^2 , comparado con el $f'c$ de la muestra estándar de 280.44 kg/cm^2 . En la prueba de permeabilidad, el 15% de mucílago de nopal arrojó un coeficiente de 124.49 mm/min, mientras que la muestra estándar tuvo un coeficiente de 126 mm/min. En conclusión, es evidente que el mucílago de nopal tiene un impacto tanto en la resistencia a la compresión como en la permeabilidad del hormigón endurecido.

Huerta, (2020) en su estudio se enfocó en analizar la incidencia del uso de la goma de mucílago de cactus a modo de aditivo en la resistencia a compresión y consistencia hormigón. El método que utilizó en el estudio fue experimental correlacional-aplicada, de enfoque cuantitativo, las muestras consistieron en 96 especímenes. Sus resultados del estudio mostraron que con la incorporación del aditivo (mucílagos de cactus) en (0.25%, 0.50%, 0.75% y 1.0%) se obtuvo una mayor resistencia a compresión, asimismo se mejoraron la consistencia (fluidez), que sus análogos (probetas estándar) en especímenes de (28 días) de los testigos experimentales. En conclusión, se determinó de que el empleo del aditivo extracto



de goma de cactus incide en la resistencia a la compresión y en la consistencia hormigón.

Oloya y Ponce, (2019), en su estudio realizado en la ciudad de Trujillo. Su objetivo principal fue determinar la influencia de la utilización de la emulsión de cactacea de la especie *echinopsis pachanoi*, a modo de aditivos de origen ecológico, en las pruebas de resistencia a la compresión, asentamiento e impermeabilidad de un concreto de diseño $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$. Utilizó el tipo de investigación aplicado experimental, de nivel explicativo; para lo cual adicionó al hormigón un aditivo natural denominado mucílago obtenido de la cactácea *Echinopsis pachanoi* en 0.5%, 1%, 1.5%, según el peso del cemento, para evaluar propiedades como resistencia, permeabilidad y consistencia del concreto. Los resultados que obtuvo fueron que a la incorporación del mucílago obtenido del cactus *Echinopsis pahcanoi* de 1.5% obtuvo propiedades con mayor resistencia del concreto, en todas las edades probadas, llegando a 259.0 kg/cm^2 después a los tres días, 318.0 kg/cm^2 después a los siete días y 384.0 kg/cm^2 en el día 28 (resistencia a compresión); se alcanzó un resultado menor en la profundidad de penetración igual a cero mm. Concluyó que el uso de 1.5% de mucílago obtenido de los cactus *echinopsis pachanoi*, en el concreto influye de manera positiva.

Ramos, (2017) tuvo como finalidad calcular la incidencia de la incorporación de mucílago de tuna, sobre las propiedades mecánicas de un hormigón con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Para cumplir dicho objetivo utilizó un tipo de investigación aplicado-correlacional, realizó un diseño $f'c=210\text{kg/cm}^2$ de concreto y evaluó la resistencia a la compresión, la tracción y la flexión, con la añadidura de mucílago de tuna en proporciones de 1%, 1.5% y 2% con respecto al peso del cemento. En sus resultados indicó que la adición del mucílago o goma de



tuna incrementa la resistencia a compresión en 4.31%, 18.05% y 25.46% al añadir de 1.0%, 1.5%, y 2.0% del goma de tuna respectivamente. En ensayos de resistencia a la flexión se tuvo un incremento de +2.51%, +3.29%, y 4% para adiciones de 1%, 1.5%, y 2% del mucílago en cuestión. Por último, en las pruebas de tracción se obtuvieron un aumento de +8.29, +8.40 y +8.68, para adiciones del mucílago de nopal en 1%, 1.5% y 2% respectivamente. En sus conclusiones obtuvo que el material orgánico mucílago de tuna puede mejorar el rendimiento del concreto en gran medida por ser semejante al hormigón químicamente, especialmente en sales

Tenemos a Cervantes y Espinoza (2021), Plantea como su principal objetivo la reducción de la permeabilidad, sin reducir la resistencia a compresión del hormigón. Para cumplir con su objetivo utilizó el tipo de investigación aplicado, de nivel exploratoria-correlacional; comparó un diseño estándar con concreto tipo IP, con un concreto incorporando un aditivo natural denominado mucílago de nopal en cantidades de 0.5%, 1.0% y 3.0%. Sus resultados indican que se logra disminuir considerablemente el coeficiente de permeabilidad, la rapidez de hidratación del concreto y el porcentaje de poros permeable. Con el 1% del mucílago de nopal, la permeabilidad se logró reducir en un 16.40% y en el 3% de la arcilla de cactus, la permeabilidad se redujo en un 33.2%. concluyendo que el mucílago de nopal consigue disminuir significativamente la permeabilidad, la sorptividad que es la velocidad de hidratación del concreto, y la cantidad de poros permeables, al añadir un 3% de mucílago de nopal, sin embargo, la resistencia a compresión se ve mermada en función del aumento de la dosis de mucílago de nopal.



Paredes (2022), tuvo como finalidad evaluar la influencia del mucílago de nopal en el concreto en sus propiedades en estado fresco y endurecido. Para lo cual utilizó un tipo de investigación experimental con fin aplicativo, adicionó a una mezcla de concreto el 1%, 2% y 3% de mucílago de nopal. Realizó pruebas de resistencia a compresión, resistencia a tracción, resistencia a flexión y de permeabilidad. Determinó que un 2% de mucílago de nopal mejoraba las propiedades del hormigón, el cual presentó una mejor trabajabilidad, que aumentó en un 25% respecto a la muestra patrón haciéndolo más suave y de fácil manejo durante el proceso de colocación, La resistencia a la compresión llegó a 254.45 kg/cm² (un 10% más que el hormigón estándar), En la prueba de resistencia a flexión se pasó de 34.80 kg/cm² a 35.00 kg/cm² con un complemento del 1% de mucílago de nopal. En el ensayo de permeabilidad se obtuvo un concreto menos permeable al +2%MN que disminuyó en un 42.18% con respecto a la muestra patrón, mientras que al incorporarle el +3%MN solo llega a disminuir en un 8.59%. En conclusión, se puede afirmar que la adición el +2% de mucílago de nopal, influye positivamente en las propiedades del concreto, mientras que mucílago de nopal en grandes porcentajes porque hace que el concreto pierda sus propiedades tanto en estado fresco como en estado endurecido.

Huerto, (2018) planteó como principal objetivo analizar dos aditivos, el mucílago de tuna y el superplastificante sika N290, adicionando un 4% y 6% en un hormigón de $f'c=450$ kg/cm². El investigador utilizó el diseño experimental y correlacional. Para tal fin prepararon 45 especímenes de hormigón y realizaron pruebas a compresión a la edad de 7, 14 y 28 días. En sus resultados, se obtuvo mejores resistencias mecánicas en concretos modificados, respecto a los concretos estándar; con un 4% de aditivo, la resistencia a la compresión se acrecentó en un



2.47% a los 28 días con la incorporación de mucílago de tuna y un 4,0% con la adición de aditivo Sika, mientras que con un 6% de aditivo, la resistencia a la compresión aumentó en 4.87% con la incorporación de mucílago de nopal y 7.23% con la incorporación del aditivo Sika. a los 28 días.

Pacco (2021), su objetivo fue analizar los cambios en las propiedades mecánicas y físicas del concreto adicionado con mucílago de waraco utilizado en pavimentos rígidos del distrito de Macusani Puno 2021. Utilizó un método científico, con diseño de tipo experimental aplicado y de nivel explicativo. Los resultados que obtuvo fueron: El slump alcanzó un valor de 9.40 ± 1.40 cm, la absorción que determino fue de $5.97 \pm 0.16\%$ a los 28 días, en la resistencia a compresión que se alcanzó fue un valor mayor de $f'c = 379.61 \pm 60.47$ kg/cm² en muestras de 28 días de edad. La flexión alcanzo un valor máximo de $M_r = 54.25 \pm 7.18$ kg/cm² a los 28 días. Sus resultados muestran que la adición de un 2.00% de mucílago de Waraco da mejores resultados, aumentando el asentamiento en un 17.50%, la absorción en un 2.66%, las resistencias de compresión y flexión en 18.95% y 15.25% respectivamente en comparación con las muestras estándar, mejorando las propiedades mecánicas y físicas del hormigón.

Vilca Blanco (2021), El objetivo de su investigación fue determinar el incremento estructural del adobe aplicando mucílago líquido vegetal de cactus en Moho-Puno. Para tal fin utilizó la metodología de tipo aplicado de diseño experiemtal, de nivel explicativo y enfoque cuantitativo, su poblacion fue conformado por 60 adobes elaborados en la parcilaidad Putina – Cucho. Sus resultados que se obtuvieron con los ensayos de compresion de unidades fueron superiores en 35.44%, 46.84% y 53.16% para proporciones de mucílago de cactus de 25%, 50% y 75% respectivamente. En el ensayo de resistencia a la compresión



del prisma de albañilería de pilas se obtuvo un aumento de 13.01%, 20.73% y 28.46%. Su conclusión fue que al utilizar la proporción de 75% de mucílago líquido vegetal se obtuvo un mejor resultado, tanto en la prueba de resistencia de unidades y primas de albañilería con referencia al adobe convencional.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 El concreto

Está constituido por la combinación de cantidades apropiadas de cemento, áridos, agua, y alternativamente aditivos. El concreto en el momento de su preparación presenta un diseño plástico y maleable que puede amoldarse a la forma que se requiera, y luego del fraguado consigue una consistencia rígida con propiedades de resistencia mecánica, durabilidad e impermeabilidad que lo convierte en un material apropiado en la industria de la construcción. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 11)

2.2.2 Componentes del concreto

2.2.2.1 El cemento

El cemento está formado por una combinación de arcilla y piedra caliza calcinada y posteriormente molida y arcilla, que se solidifica al combinarse con el agua. El elemento proveniente de la trituración de estas piedras se llama Clinker, que al añadirse con una pequeña cantidad de yeso (3 o 4%), para regular la fragua, se obtiene producto final denominado cemento portland. (Abanto Castillo, 2009, p. 15)

a) *Clasificación*

La norma ASTM C 150-07 clasifica al cemento portland en 8 tipos,

tabla 1

Tabla 1

Tipos de cemento según las normas ASTM

Cemento tipo I	Uso general
Cemento tipo IA	Tipo I, donde se desea incorporación de aire
Cemento tipo II	moderada resistencia a sulfatos y al calor de hidratación
Cemento tipo IIA	Tipo II, donde se desea incorporación de aire
Cemento tipo III	altas resistencias iniciales
Cemento tipo IIIA	Tipo III, donde se desea incorporación de aire
Cemento tipo IV	para lograr bajo calor de hidratación
Cemento tipo V	alta resistencia a sulfatos

Fuente: Norma ASTM C 150-07

b) *Composición química del cemento*

Durante la fabricación del Clinker a altas temperaturas se forman cuatro importantes compuestos, que constituyen un 90-95% del cemento, asimismo se muestran otros compuestos secundarios. Ver tabla 2. (Torre Carrillo, 2004, p.10)

Tabla 2

Composición química del cemento

Descripción	Fórmula	Abreviatura	Porcentaje
Silicato tricálcico	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	(C ₃ S)	30%-50%
Silicato dicálcico	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	(C ₂ S),	15%-30%
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	(C ₃ A)	4%-12%
Ferro aluminato tetra cálcico	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	(C ₄ AF)	8%-13%
cal libre	CaO		
Magnesia libre (periclusa)	MgO		

Fuente: Torre Carrillo, 2004

c) ***Tipos de cemento que se fabrican en el Perú***

Según Vásquez A. (2012), existen dos categorías de cemento disponibles en el mercado: cemento portland y cemento portland con aditivos minerales, que pueden incluir cargas, puzolanas o escoria de altos hornos.

- **Cemento portland tipo I,**

Es el cemento portland ordinario es el cemento portland destinado al uso en proyectos de hormigón en general, a menos que se indique lo contrario.

- **Cemento portland tipo II,**

Es el cemento portland con resistencia moderada a los sulfatos, está destinado a su uso en proyectos de hormigón en general, proyectos sometidos a una acción moderada de sulfatos y que requieren un grado moderado de calor de hidratación. El cemento portland tipo V, es el que está diseñado para soportar altos niveles de acción de los sulfatos.

- **Cemento portland Puzolánico**

Se fabrica pulverizando una combinación de puzolana y clínker portland, y añadiendo sulfato cálcico. El contenido de puzolana debe oscilar entre el 15% y el 40% del peso total. La puzolana es una sustancia silicosa o silico-aluminosa que, cuando está finamente dividida y en presencia de humedad, se combina químicamente con hidróxido de calcio a temperatura ambiente para generar compuestos con cualidades



hidráulicas, la puzolana por sí misma puede tener poca o ninguna actividad hidráulica.

- **Cemento Portland Puzolánico Tipo IP**

Para uso en la construcción de hormigón estándar. Se le ha añade entre un 15% y un 40% más de puzolana.

- **Cemento Portland Puzolánico Modificado Tipo IPM**

Cemento Portland con contenido puzolánico modificado para su uso en la construcción de hormigón estándar. Se ha añadido menos del 15% de puzolana.

- **Cemento Portland de escoria de alto horno**

El cemento portland, el clinker y la escoria de alto horno se mezclan pulverizan de manera conjunta, y con la adición eventual de sulfato de calcio se obtinee el cemento Portland alto al horno. El contenido de escoria granulada de alto horno debe estar comprendido entre 25% y 65% en peso del total. El cemento Portland de escoria modificado tiene un contenido de escoria granulada menor que el 25%.

La escoria granulada de alto horno es el subproducto del tratamiento del mineral de hierro en el alto horno. Para poder utilizarse en la fabricación de cementos, debe tener la composición química adecuada y granularse mediante un enfriamiento rápido.

- **Cemento Tipo MS**

Del tipo de resistencia moderada a los sulfatos, conforme a los criterios de rendimiento de los cementos Portland con aditivos.

- **Cemento Portland Compuesto Tipo 1Co**

Este cemento con aditivos se fabrica pulverizando conjuntamente materias calizas, incluido el travertino, con clinker Portland, hasta un porcentaje máximo en peso del 30%. Es un cemento adicionado obtenido por la pulverización conjunta de Clinker portland, materias calizas, travertinos y/o hasta un máximo de 30% de peso.

En la tabla 3 se puede visualizar los tipo de cementos comercializados en Peru.

Tabla 3

Tipos de cementos existentes en el mercado nacional

Empresas	Cemento Portland			C. Portland Adicionados			
	I	II	V	IP	I(PM)	MS	I Co
Cemento Andino	✓ .(1)	✓ .(1)	✓ .(1)		✓		
Cementos Lima	✓	✓ .(1)		✓			
Cementos Pacasmayo	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Cementos Selva	✓ .(1)	✓(1)(2)	✓(1)(2)	✓			✓
Cementos Sur	✓	✓ .(2)	✓ .(2)	✓	✓		
Yura	✓	✓ .(2)	✓ .(2)	✓	✓		

(1) de bajo contenido de álcalis, (2) a pedido, Fuente: <http://www.asocem.org.pe>

2.2.2.2 Agregados

Los agregados pétreos son ingredientes fundamentales en la elaboración de concretos hidráulicos, concretos asfálticos y bases granulares. Sus propiedades influyen no solamente en el estado fresco y endurecido sino también en el costo y calidad del mismo. Los agregados



constituyen entre el 70.0% y el 80.0% de un metro cúbico de concreto, por esta razón es primordial conocer las propiedades y la incidencia de éstos en las propiedades físicas y mecánicas del concreto, no solamente para mejorar su uso sino también para tener en cuenta en el diseño mezclas del concreto (León et al., 2010).

Inicialmente se consideraba que los agregados eran como rellenos inertes, y se utilizaban únicamente con la para llenar espacios vacíos, con el objetivo de bajar costos del metro cubico de concreto. En la actualidad se sabe que los áridos tienen una importancia significativa, ya que sus propiedades contribuyen de manera directa en la resistencia, durabilidad, temperatura del concreto elaborado (Rivva López, 2004, p. 14)

Se clasifican en agregado fino y agregado grueso:

a) *Agregado fino*

Se denomina agregado fino a los áridos pasantes por la malla de 3/8” y atrapados en la malla N.º 200. Estos áridos también llamados arenas se forman naturalmente por el desgaste de las rocas debido a los agentes físicos y atmosféricos. (Rivva, 2000, p.17)

b) *Agregado grueso*

Se denomina agregado grueso a los áridos pasantes por la malla N°04, se agrupan generalmente de acuerdo a la manera de obtención: la obtención natural llamado gravas y la obtención artificial denominado piedras chancadas, Las gravas se forman a causa de la disgregación de rocas de manera natural, por acción de los agentes físicos y atmosféricos,



normalmente se encuentran en riveras de ríos y se mantienen emplazados de manera natural. Las piedras chancadas por otro lado se obtienen de manera artificial mediante la trituración mecánica. (Rivva, 2000, p.17)

c) Agua

El agua para la preparación de concreto, se determina mediante un criterio empírica, el criterio es la de potabilidad o de consumo humano, el agua que consume el hombre también puede utilizarse para la preparación del concreto. (Pasquel Carbajal, 1998)

Para controlar los parámetros máximos permitidos para el agua se utiliza la norma (NTP 339.088, 2006, p.4)

2.2.2.3 Aditivos

Torre, (2004) detalla como “un material diferente del agua, agregados y cemento, que se utiliza como componente de concretos y morteros, el cual se agrega al concreto antes o durante el mezclado”. (pág. 91). Tienen la cualidad de mejorar o modificar propiedades del concreto, se adiciona de manera sencilla durante el mezclado y con los cuales se puede obtener un concreto más fluido, resistente, durable e impermeable de acuerdo a las necesidades de la situación.

a) Tipos de aditivos

Abanto Castillo, (2009) clasifica a los aditivos del concreto de la manera siguiente:



- **Plastificante reductor de agua**

Es el que aumenta la consistencia del concreto y disminuye la cuantía de agua que se requiere en la elaboración de un concreto de una resistencia preestablecida.

- **Retardador**

Estos aditivos prolongan los tiempos de fraguado de un concreto.

- **Acelerador**

Estos aditivos reducen los tiempos de fraguado e influyen en el desarrollo de la resistencia inicial.

- **Plastificante y retardador**

Es el que sirve para disminuir la cuantía de agua que se requiere para un concreto de una consistencia determinada y aplaza el endurecimiento o fraguado.

- **Plastificante y acelerador**

Es el que sirve para disminuir la cuantía de agua que se requiere para un concreto de una consistencia determinada y reducen los tiempos de fraguado e influyen en el desarrollo de la resistencia inicial.

- **Incorporador de aire**

Estos aditivos pueden incrementar la resistencia del concreto frente a las bajas temperaturas al introducir pequeñas bolsas de aire en el



concreto. Estos vacíos funcionan como disipadores para la fatiga provocada por la acción de hielo y deshielo.

- **Adhesivos**

Son los que mejoran la adherencia con el refuerzo

- **Impermeabilizantes e inhibidores de corrosión**

Reducen la permeabilidad, al reducir los poros existentes en el concreto.

b) *Uso de aditivos*

Los aditivos se venden principalmente como soluciones acuosas, ocasionalmente como polvos hidrosolubles y, en ocasiones, como pasta. Los aditivos líquidos ofrecen la ventaja de diluirse fácilmente y facilitar su administración. En cambio, los aditivos en polvo son vulnerables a la humedad y requieren una conservación cuidadosa. Para garantizar el uso de dos aditivos diferentes, es importante evitar premezclarlos. En su lugar, añada cada aditivo por separado a la mezcla a intervalos diferentes. Para evitar el contacto directo entre el cemento y el aditivo, es aconsejable introducir el aditivo durante la fase de mezclado, cuando los materiales y el agua se están combinando. Es importante tener en cuenta que el aditivo se dispersa uniformemente por toda la mezcla, por lo que debe introducirse con precaución un tiempo antes de finalizar la operación. El agua utilizada para la disolución del aditivo debe tenerse en cuenta como componente del contenido global para evitar modificar la relación agua/cemento requerido. Los resultados de la utilización del aditivo dependen del método de

fabricación y de la dosificación. Los aditivos en polvo se miden por peso, mientras que los aditivos líquidos pueden medirse por peso o volume. (Abanto Castillo, 2009, p.45)

c) *Aditivo natural*

Es un material de origen natural que se adiciona al concreto durante el mezclado para modificar algunas propiedades, su dosificación debe ser por debajo de 5% del peso del cemento. (Oloya y Ponce, 2019, p. 37)

2.2.3 Propiedades del concreto

2.2.3.1 En estado fresco

a) *Trabajabilidad*

La trabajabilidad del concreto es la capacidad que tiene de ser trasladado, manipulado, vaciado y endurecido satisfactoriamente con el mínimo esfuerzo y lo más homogéneo posible. (Rivva López, 2002, p. 30)

La estimación de la trabajabilidad es relativa y depende de la facilidad manual o mecánica durante el proceso de colocación del hormigón, puesto que un concreto puede ser más trabajable en ciertas circunstancias de colocación y compactado, mas no en otras. La influencia está ligada al contenido de agua en la pasta y a la relación de proporción entre agregado fino y agregado grueso, el cual en combinación con la pasta genera un desplazamiento continuo y natural. La forma de medición de la trabajabilidad desde hace muchos años es el “Slump” o asentamiento del cono de Abrahams, este ensayo muestra una aproximación cuantitativa de esta propiedad, pero ahora hay que tener en cuenta que es un ensayo más

de uniformidad que de trabajabilidad, puesto que se ha visto obtener concretos con igual slump, pero con trabajabilidades diferentes bajo las mismas situaciones de trabajo. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 131).

b) *Consistencia*

La consistencia es la propiedad que tiene el concreto fresco de tomar la forma del molde donde es colocado. y varía según: (Oloya y Ponce, 2019, p.26). la consistencia se interpreta de acuerdo a la tabla 4.

- Relación agua-cemento
- Granulometría.
- Tamaño máximo del agregado.
- Configuración de los áridos que incide en la compactación.

Tabla 4

Consistencia de la mezcla de concreto

Consistencia	asentamiento	trabajabilidad	técnica de compactación
Seca	0” - 2”	Poca trabajabilidad	vibración normal
Moldeable	3” - 4”	trabajable	vibración ligera
Fluida	mayor a 5”	Bastante trabajable	chuseado

Fuente: Abanto Castillo (2009, p. 49).

Para determinar la trabajabilidad se utiliza la prueba del asentamiento o revenimiento del concreto con el cono de Abrahams. Norma ASTM C 143.

c) *Segregación*

Se caracteriza como la distribución no homogénea o la separación de los diferentes elementos del concreto. La presencia de cangrejas, capas de arena y bolsas de piedras en el concreto es un hecho perjudicial



que depende normalmente de la consistencia de la mezcla. Suele producirse por una manipulación y colocación inadecuadas. Por ejemplo, cuando el concreto se desplaza desde alturas superiores a medio metro y se deja fluir por canaletas, resulta especialmente problemático cuando se producen cambios de dirección y excesivo vibrado. (Abanto Castillo, 2009, p. 50). La dispersión uniforme de pastas y áridos es un componente crucial que tiene efectos significativos sobre las propiedades mecánicas y durabilidad del concreto.

d) *Contracción o retracción*

Carbajal (1993) indica que es una de las causas habituales de cambios de volumen y se asocia a la fisuración, sin embargo, no es justificada; existen 3 tipo de contracción: intrínseca o espontanea, por secado y por carbonatación. (p. 239)

• **Contracción por intrínseca o espontanea.**

Es la típica contracción por fraguado causada por la hidratación del cemento y su característica inherente de reducir su volumen, en este punto la retracción es irremediable y no depende del cambio de humedad posterior a la hidratación y fraguado. En términos generales no produce figuración pues estas contracciones son bajas y se desarrollan a lo largo del proceso de endurecimiento que es a los 28 días de edad. Por lo tanto, no es causa principal de la aparición de fisuras en el concreto debido a contracción. (Carbajal 1993, p. 239)



- **Contracción por secado.**

Causado por pérdida de humedad debido a agentes externos como el clima, viento, etc. que favorecen la evaporación y secado del agua. Es un fenómeno físico producido por la disminución del agua atrapada en los poros capilares sumado a la evaporación del agua de adsorción que provoca la contracción por secado; este fenómeno es reversible, pues al restituir el agua de hidratación se consigue una expansión y restauración parcial del volumen contraído. (Carbajal 1993, p. 240)

- **Contracción por carbonatación.**

Es producto del CO_2 del ambiente con los cristales de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, que se produce al hidratarse el cemento comprimido por la contracción por secado, formándose CaCO_3 y con ello una disminución del volumen original que provoca una descompresión interna y contracción adicional. Ocurre exclusivamente en el concreto endurecido (Carbajal 1993, p. 253)

2.2.3.2 En estado endurecido

a) *Durabilidad*

El concreto debe tener la capacidad de soportar, los impactos de los compuestos químicos y desgaste, a los que será expuesto durante su vida útil. Una parte importante de los daños provocados por el desgaste del concreto puede deberse a los ciclos de congelamiento y deshielo. Es posible mejorar la durabilidad del hormigón incrementando la impermeabilidad mediante la incorporación de entre un 2 y un 6% de aire



con un mecanismo de aireación, colocando una capa por encima de la superficie. (Abanto F. 2009, p. 57)

La durabilidad es la propiedad del concreto de soportar acciones físicas, químicas, biológicas y climáticas. Una estructura con buena durabilidad puede llegar fácilmente a los 50 años, incluso más. Sin embargo, en la actualidad las estructuras expuestas a agentes agresivos (urbanos, marinos, industriales) presentan daños de deterioro prematuros incluso a tan solo 10 años o menos de haberse construido. Todos estos daños en las construcciones tales como: la corrosión, agrietamientos, manchas de óxido en la extensión del concreto son conocidas como patologías del concreto y estas pueden llegar ser deterioros más marcados como la delaminación del recubrimiento del concreto debido a la corrosión del hierro. Estas patologías son muy frecuentes en la actualidad, normalmente se debe a que estas estructuras no se diseñan con un criterio de durabilidad sino utilizando un criterio de resistencia a las cargas mecánicas. (Ramírez M, 2020, p. 1)

b) Resistencia

Es el resultado de las propiedades aglutinantes de la mezcla de cemento, que tiene una propiedad resistente a la compresión mayor que a la tracción. Está determinada especialmente por la consistencia de la pasta y se expresa como un valor medio de la relación agua - cemento. Está influenciado por tipo de cemento utilizado, temperatura, tipo de aditivos y agregados utilizados en la producción del hormigón. La resistencia a la compresión del concreto es una característica mecánica básica y se utiliza



en los diseños de las estructuras de hormigón. Normalmente se utiliza en concreto de resistencias a la compresión de 210 a 350 kg/cm². (Carbajal, 1993, p. 143)

c) *Extensibilidad*

Es la característica única del hormigón de extenderse y deformarse sin romperse. Para definir esta propiedad se utiliza la máxima deformación unitaria admisible del hormigón sin rotura. Depende de la elasticidad y de lo que se conoce como fluencia plástica, que consiste en la deformación del hormigón bajo carga permanente a largo plazo. Aunque la contracción y la fluencia plástica son fenómenos nominalmente independientes, la fluencia plástica tiene la propiedad única de ser parcialmente recuperable. Las micro fisuras se producen regularmente al 60% de la tensión última con una deformación unitaria de 0.0012, y en condiciones normales los llamados diagramas se producen al 0.003 de la deformación unitaria (Pasquel Carbajal, 1998)

d) *Permeabilidad.*

Es la capacidad de admitir el paso de agua o aire. La disminución de la cantidad de agua en la preparación del concreto, puede mejorar esta propiedad clave del hormigón; luego de la evaporación, el exceso de agua puede dejar vacíos y huecos por los que el agua puede pasar o entrar en el concreto al adherirse. La adición de aire y un curado apropiado en el tiempo mejora la resistencia al agua (Abanto Castillo, 2009).



e) ***Elasticidad***

Es la cualidad del concreto de deformarse bajo una carga sin sufrir deformaciones permanentes, también es conocido como capacidad de deformación plástica. Por lo tanto, la relación esfuerzo-deformación sometido a una carga continua creciente normalmente tiene una forma de una curva. Cuando la línea esfuerzo - deformación se desvía y comienza a formar una curva, se denomina módulo de elasticidad. (Rivva López, 2002).

2.2.4 Ensayos del concreto

2.2.4.1 Ensayo de resistencia a la compresión

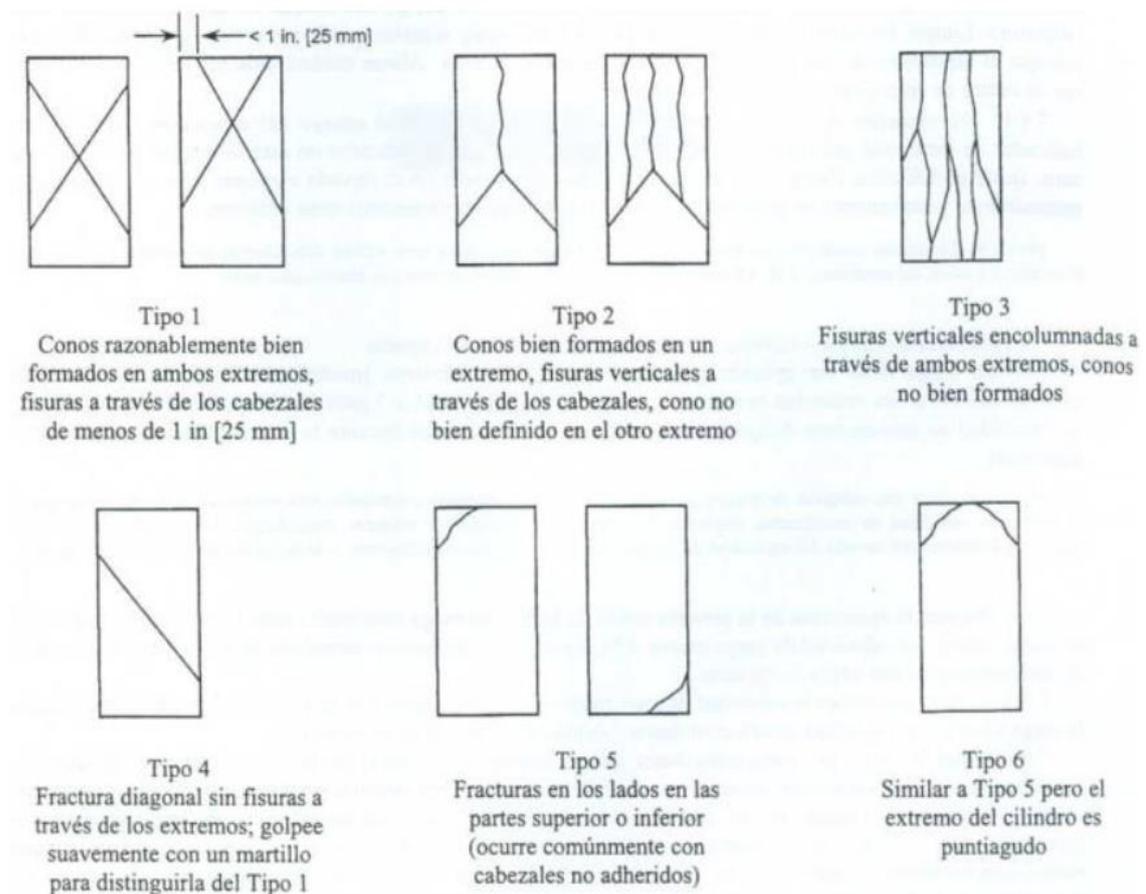
El método para la determinación de la resistencia a compresión utiliza especímenes de núcleos perforados extraídos de concreto endurecido y especímenes moldeados de concreto que tengan una masa superior a 800.00 kg/m^3 o 50.00 lb/ft^3 . (ASTM - C39/C39M, 2020).

Para determinar la resistencia a la compresión se moldea un espécimen de concreto en un molde cilíndrico de manera que la muestra tenga 15.0 cm (6plg.) de ancho por (12plg) 30.0 cm de alto. La muestra se mantendrá en el molde por un periodo de 24 horas luego de la colocación del concreto, seguidamente se desmoldará para sumergirse bajo el agua la fecha de la prueba. El método normalizado requiere que el espécimen tenga 28 días de edad, para la prueba, aunque este período puede modificarse siempre que sea necesario. Durante el ensayo, el espécimen es colocado en la máquina y sometidos a una carga estándar de $2.45 \text{ kg/cm}^2/\text{s}$. La resistencia a la compresión (f'_c) se determina normalmente como el

valor promedio de dos especímenes vaciados de la misma mezcla y sometidos a prueba a la edad de 28 días. En la figura 1 se puede visualizar los patrones de fractura típicos en el ensayo de resistencia a compresión del concreto. El método se puede encontrar en (ASTM - C39/C39M, 2020).

Figura 1

Patrones de fractura típicos en ensayos de resistencia a compresión



Fuente. ASTM - C39/C39M, (2020)

Ecuación 1. Para calcular la resistencia a la compresión del concreto

$$f'c = \frac{4P}{\pi D^2} \quad (1)$$

Donde:



f_c : Resistencia a ruptura por compresión axial (kg/cm^2)

P: Esfuerzo máximo de rotura aplicado.

D: Diámetro del testigo cilíndrico (cm).

2.2.4.2 Ensayo de resistencia a la flexión

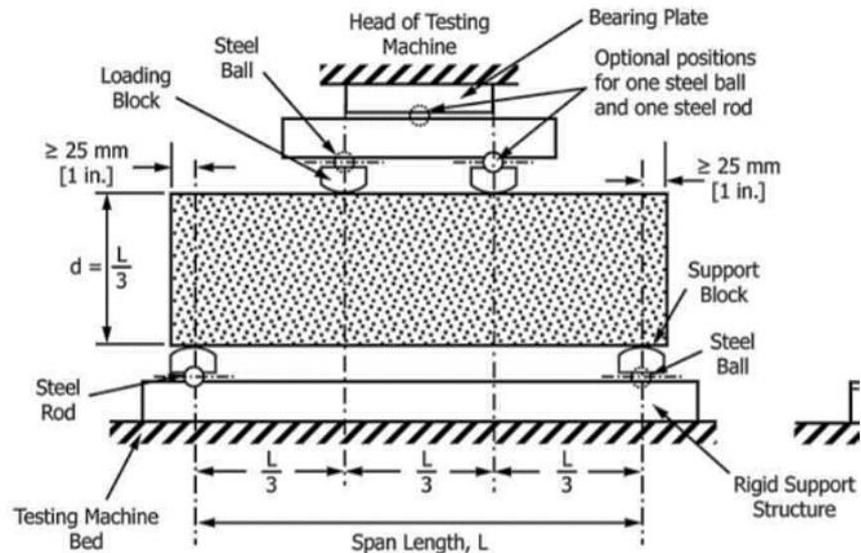
Implica el uso de una viga simple cargada en tres puntos para calcular la resistencia a la flexión. Las unidades se miden en el sistema internacional. Este procedimiento se aplica a muestras preparadas curadas (ASTM 178/C78M, 2021).

Materiales:

- Máquina hidráulica.
- Placa metálica con dos soportes de barra situados en los dos tercios más externos de la parte inferior de la viga.
- La placa metálica con dos soportes de barra situados en el borde del tercio medio se coloca en la parte superior de la viga, véase la figura 2.

Figura 2

Detalle de puntos de apoyo de carga en ensayos a flexión del concreto



Fuente. ASTM 178/C78M, (2021)

2.2.4.3 Ensayo de asentamiento del concreto

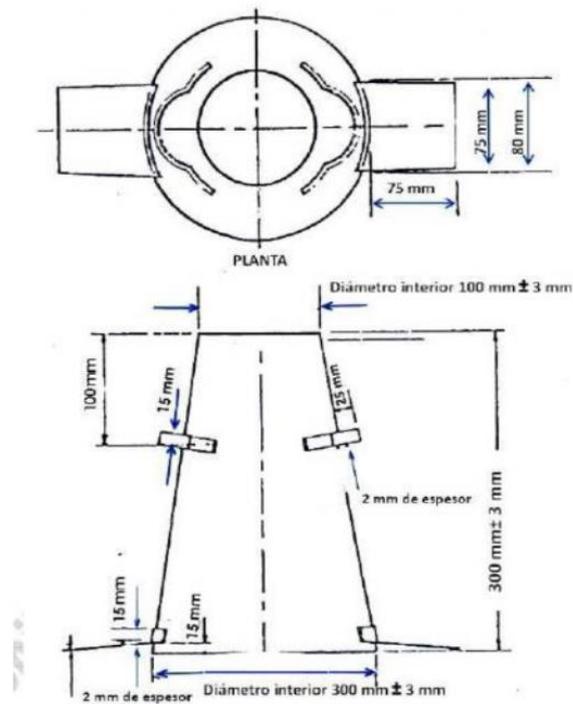
En este ensayo se utiliza el cono Abrahams, donde se coloca 3 capas de concreto fresco hasta llenar, en cada capa se hinca 25 veces con una varilla metálica, luego se retira el cono y se mide el asentamiento de la muestra boca abajo. (Norma Técnica Peruana 339.035, 2009)

Se detalla como: poco trabajable (consistencia seca de 2.5 cm a 5.0cm), trabajable (consistencia plástica de 7.5 cm a 10.0 cm) y muy trabajable (consistencia líquida de 15.0 cm a 17.5 cm).

En la figura 3 se puede apreciar las medidas del molde metálico para el ensayo de asentamiento del concreto.

Figura 3

Medidas del molde metálico para el ensayo de asentamiento



Fuente. Norma técnica peruana 339.035, (2009).

2.2.4.4 Ensayo de permeabilidad.

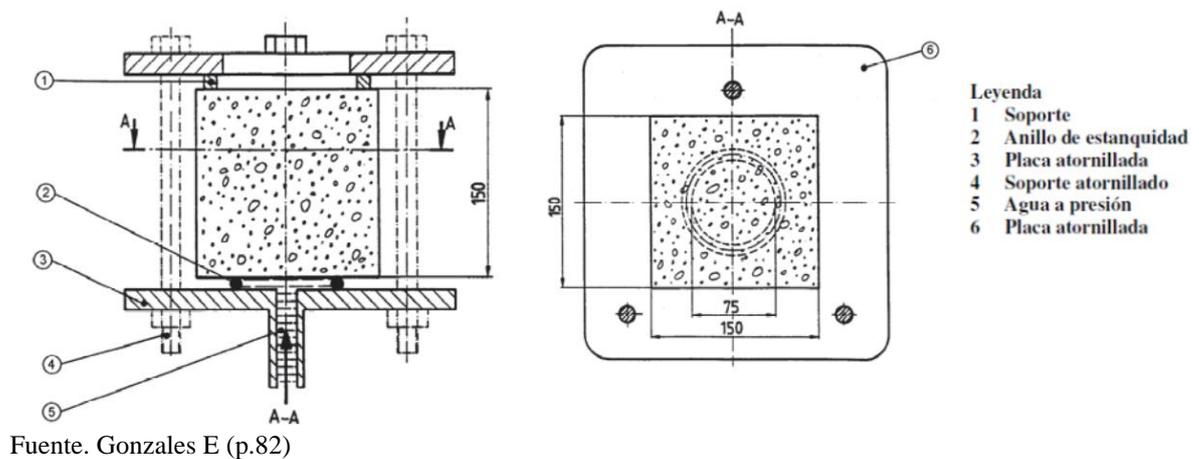
Se determina mediante el ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión (UNE – EN 12390 – 8). Es la propiedad del concreto de permitir el paso los líquidos o sustancias fluidas por medio de los espacios vacíos existentes en el concreto endurecido durante un tiempo definido, por lo tanto, es el resultado de la cantidad de espacios vacíos existentes en el concreto, la hidratación ligada a la emanación de calor y la creación vacíos y fisuras por contratación plástica durante el fraguado del concreto.

Para determinar la permeabilidad del concreto usaremos la metodología propuesta en la norma UNE – EN 12390 – 8. Este método se emplea en hormigones endurecidos que han sido curados en agua.

En la EHE-08 (2011), se define que para comprobar de manera experimental la existencia de una estructura porosa en un concreto que sea impermeable para el ambiente donde estará ubicado, puede realizarse el ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión, según la norma UNE EN 12390-8. (p.154). La figura 4 muestra el dispositivo para el ensayo permeabilidad mediante la penetración de agua bajo presión.

Figura 4

Ejemplo de dispositivo de ensayo cotas en milímetros (UNE-EN 12390-8)



Ejecución de ensayo de permeabilidad del concreto

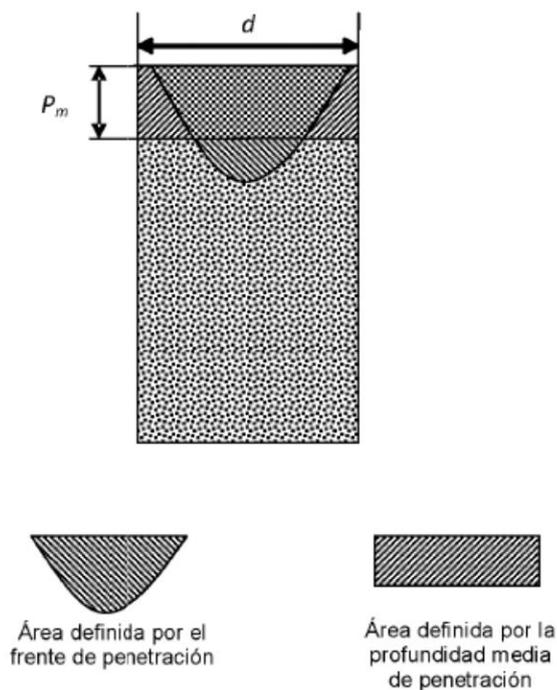
Se realizó mediante el ensayo de profundidad media de penetración del agua bajo presión, cuyo procedimiento se encuentra en la norma española UNE-EN 12390-8. Como se detalla a continuación:

- Frente de penetración: Lugar geométrico de los puntos hasta donde llega el agua al realizar el ensayo.
- Profundidad de penetración: Distancia entre cada uno de los puntos del frente de penetración y la superficie de la probeta sobre la que se aplica la presión de agua.

- Profundidad de penetración máxima: Valor máximo de la profundidad de penetración del agua bajo presión determinada de acuerdo con el procedimiento descrito en el capítulo 6 de la Norma UNE-EN 12390-8.
- Profundidad de penetración media: Profundidad resultante de efectuar el cociente entre el área encerrada por el frente de penetración y el diámetro o la arista de la probeta (véase la figura 5).

Figura 5

Profundidad de penetración media de acuerdo a la norma UNE-EN 12390-8



Fuente: norma UNE-EN 12390-8 (2011)

La profundidad media de penetración se calcula mediante la fórmula (2).

Ecuación 2. Fórmula para calcular la profundidad de penetración media

$$P_m = A_{pf}/d \quad (2)$$



A_{pf} : es el área del frente de penetración en mm^2

d : diámetro nominal o arista de la probeta en mm.

P_m : profundidad media de penetración en mm.

2.2.5 Mucílago de *cactaceae*

2.2.5.1 Definición

El mucílago de *cactaceae* del género *opuntia* se ha estudiado ampliamente en América latina y tiene un uso tradicional, principalmente en México donde se ha empleado para la restauración de edificios históricos en combinación con morteros de cal donde impide el paso de la humedad al interior. (Cardenas et al., 1998)

El mucílago del nopal es un polisacárido complejo, con estructura ramificada y fibrosa. Tiene una composición aproximada de 35% a 40 % de arabinosa, 20% a 25% de xilosa y galactosa, y de 7 a 8% de ramnosa y ácido galacturónico. Esta sustancia puede formar redes moleculares, retener eficazmente cantidades considerables de agua y reducir la tensión superficial. Además, puede cambiar propiedades como, viscosidad, elasticidad, y textura. También funciona como un buen emulsificante, espesante y gelificante (Rodríguez González et al., 2011).

“Los análisis químicos e industriales del líquido del nopal comúnmente llamado mucílago indican que contiene gran cantidad de pectina y varios azúcares” (Cárdenas et al., 1998).



“El mucílago es un hidrocoloide que posee la capacidad de producir redes estructurales, esta propiedad es fundamental para el desarrollo de una película o envoltura, esta goma se puede hallar en diferentes plantas” (Salinas Salazar et al., 2015, pág. 194).

“En lo referente al cactus lo considera a adecuado para construcciones, concretamente en la elaboración de argamasa.” (Ceroni Stuva, et al., 2013 pág. 2)

2.2.5.2 Usos del mucílago de nopal en la industria de la construcción

(Martínez Molina, 2018) menciona que en la región de Morelia se han restaurado dos edificios la Parroquia de San Juan Bautista en Tiripetío y el Templo de San Nicolás Tolentino en Chucándiro, con el nopal se logró crear un material sencillo de trabajar y que no altera el color de la superficie sobre la que se aplica. este exitoso precedente ha llevado a emplear el extracto de nopal en otros edificios históricos, como uno de los palacios de las pirámides arqueológicas de Teotihuacán, cerca de la capital de México, o en el recinto sagrado de Ixtapalapa, al sur de esta ciudad.

Se ha comprobado que estos biomateriales mejoran la durabilidad de los materiales de construcción a base de CP de dos maneras: En primer lugar, reduce la permeabilidad de los materiales porosos (como el mortero, la lechada y el hormigón a base de CP) a la acción del agua, los gases, los iones cloruro y los sulfatos. En segundo lugar, actúa como inhibidor de la corrosión de los metales embebidos en materiales porosos (como el mortero y el hormigón a base de CP), especialmente de las armaduras y el pretensado. Todo ello está relacionado con la reducción de la porosidad de



estos materiales en un intento de hacerlos menos permeables al transporte de sustancias líquidas o gases en su interior (Martínez, 2018. p. 210)

“De igual forma, otros estudios han confirmado que el mucílago de nopal modifica la viscosidad de las pastas de cemento, desarrollando una resistencia a la segregación del concreto autocompactante, asimismo logra aumentar la resistencia a la compresión y reduce la absorción del agua capilar.” (Ramirez-Arellanes et al., 2012). El extracto de nopal aumenta la plasticidad del concreto y mejora la absorción de agua y la resistencia a la congelación. El Ca(OH)_2 producido por la hidratación del cemento portland interactúa con los componentes del nopal, polisacárido o proteínas, y forma complejos, afecta el proceso de cristalización. El recubrimiento del hormigón con este extracto también ha demostrado mejorar la resistencia al agua. (Chandra et al., 1998)

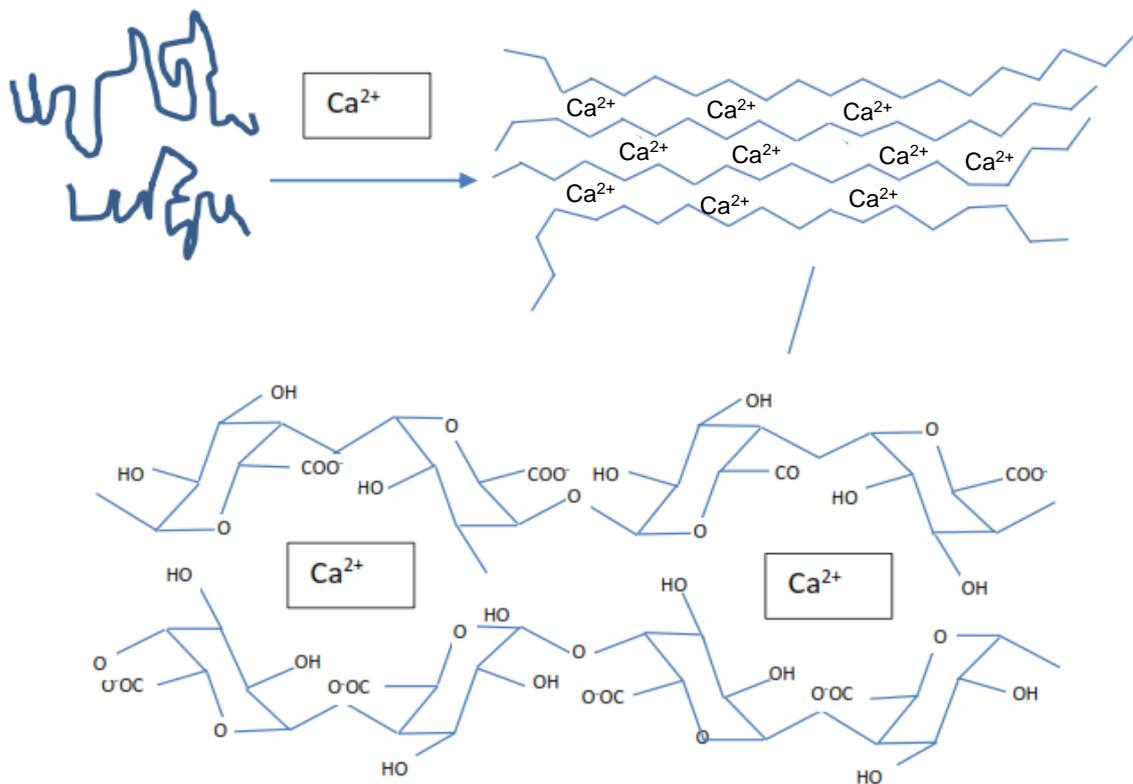
Martínez (2018), “Propone el uso de nopal como aditivo para mejorar la durabilidad de materiales de construcción en base al cemento Portland, en dos tipos: deshidratado (fibra) o coloide (mucílago).” (p. 210)

En México, el mucílago de cactus históricamente fue utilizado para morteros de cal, a causa de que retarda el fraguado, favoreciendo la retención de humedad necesaria para un correcto secado sin cuarteo. Sobre el efecto de la incorporación de diversas cantidades de mucílago en el comportamiento mecánico de pastas de cal y estos estudios sólo han analizado las propiedades, como la tensión máxima y la deformación. Se encontró que incluso las dosis más bajas de mucílago interrumpen la malla tridimensional constituida por el hidróxido de calcio y conducen a una

reducción de las propiedades mecánicas en los ensayos de tensión-deformación en comparación con los controles sin mucílago. Sin embargo, este efecto de fragilidad de la pasta de hidróxido de calcio se atenuó a mayores concentraciones de mucílago (1.65% en peso). Los autores afirman que estas concentraciones del mucílago pueden formar una malla tridimensional (figura 6) que ingresa en la red de hidróxido de calcio y mejorar así las propiedades mecánicas de las muestras (Pérez Castellanos, 2009).

Figura 6

Gelificación de pectina de nopal en presencia de iones calcio



Fuente: Martínez (2018) Pág. 75

El aumento de la concentración de hidróxido de calcio, provoca la constitución de una red uniforme de mucílago en el interior de la base del hidróxido, sin deformar la estructura de los polisacáridos, lo que ayuda a



mejorar las propiedades mecánicas. En 2008, se analizaron propiedades mecánicas de morteros de cal, con la integración de mucílago de cactus y ceniza volcánica, para su empleo en la conservación y restauración de restos coloniales. Este mucílago incorporado fue un ingrediente principal que mejoró la resistencia mecánica, permitió una mejor trabajabilidad del mortero (Martínez Molina, 2008).

a) *Cactaceae columnar*

Ministerio del Ambiente, (2013) menciona con respecto a la planta cactus: “Un gran número de géneros y especies se ubican en México, por otro lado, el segundo lugar de variedad de cactus es el Perú, que existen alrededor de 39 géneros y más de 255 especies”. (pág. 2)

b) *Mucílago de cactaceae columnar (MCC)*

Sustancia viscosa, parecida a la goma, que se obtiene de los tallos de las cactáceas con propiedades fundamentales y constitutivas. (Oloya Pérez et al., 2019, p. 36)

En esta investigación se utilizó como materia prima el cactus clasificado como Cactus columnar, con costillas y espinas rectas de acuerdo con (Ceroni Stuva et al., 2013).

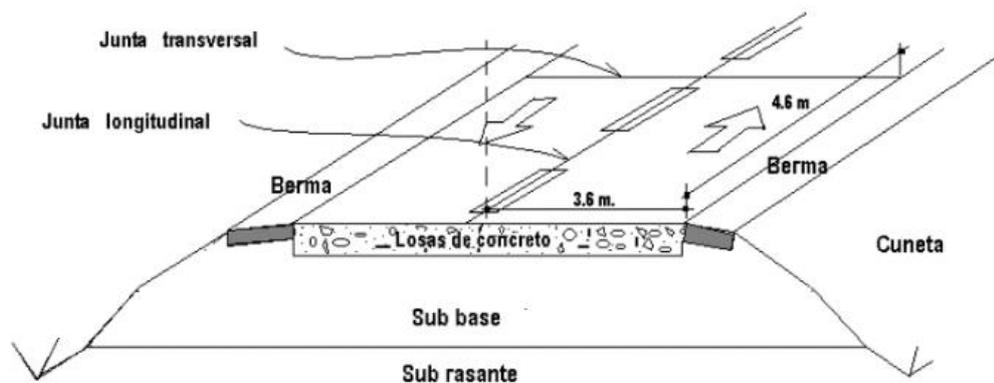
2.2.6 Pavimento rígido

Los pavimentos rígidos están contruidos normalmente por una losa de concreto, apoyado encima de una capa base de material granular (figura 7). A causa de la rigidez del concreto hidráulico y su coeficiente aceptable de elasticidad, los esfuerzos generados por las cargas se distribuyen en un área

extensa. Asimismo, el concreto puede soportar hasta cierto punto esfuerzos de flexión y tensión, el desempeño de un pavimento rígido es aceptable, aunque se encuentren en áreas vulnerables en la subrasante. El comportamiento estructural de pavimentos rígidos depende completamente de la resistencia de la losa y por lo cual, las capas de apoyo ejercen limitado impacto en el diseño de espesor de pavimentos (Monsalve et al., 2012, p. 23)

Figura 7

Estructura de un pavimento rígido



Fuente. Monsalve et al., 2012, p. 23

2.2.6.1 Componentes del pavimento rígido

Se mencionan los elementos que conforman el pavimento rígido y estas son:

a) **Losa:**

“Es la parte superior de la calzada, donde se distribuye la tensión, permitiendo que las capas inferiores base y subrasante tengan que soportar menos esfuerzos.” (Aguilar Gomez, et al, 2021)



b) Base y Subbase:

Son capas que soportan esfuerzos generados por el tránsito, pero en menor medida, puesto que están debajo de la losa de rodadura.

c) Subrasante:

Es la superficie conformada por el terreno natural donde se apoya el pavimento, cumple una función de soportar la estructura de pavimento, y está conformada por suelos seleccionados de calidad aceptables y compactados por capas, para formar un cuerpo estable y de óptimo estado. En ocasiones se requiere mejorar o reemplazar el material, puesto que de aquí parten los diseños de pavimentos. (Manual de Carreteras MTC, 2013, p.23)

2.2.6.2 Diseño de pavimento rígido

Para esta investigación se utilizó la metodología AASHTO 93 para determinar el espesor de pavimento rígido.

El método utiliza un procedimiento de iteración, donde asume un espesor de losa que luego se ingresa en la ecuación fundamental AASHTO, hasta llegar a un equilibrio. El espesor de losa calculado debe resistir las solicitaciones para las que fue diseñado, sin presentar deterioro y manteniendo en nivel de servicio. (fuente: Manual de Carreteras 2013.)

Ecuación 3. Ecuación fundamental AASHTO 93

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_0 + 7.35 \log_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(d+25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_t) \times \log_{10}\left(\frac{M_r C_d x (0.09D^{0.75} - 1.132)}{1.51 x J \left(0.09D^{0.75} - \frac{7.38}{(E_c/k)^{0.25}}\right)}\right) \quad (3)$$

Fuente: Manual de carreteras 2013

Donde:

W18 = Tráfico (Número de ESAL's)

ZR = Desviación Estándar normal

S0 = Error estándar combinado de la predicción de tráfico

D = Espesor de la losa del pavimento en (mm)

Δ PSI = Diferencia de serviciabilidad

Pt = Serviciabilidad final

Mr = Módulo de rotura del concreto en (Mpa)

J = Coeficiente de transferencia de carga

Cd = Coeficiente de drenaje

E c= módulo de elasticidad del concreto (Mpa)

K= módulo de reacción de la subrasante en (Mpa/m)

El espesor de pavimento normalmente se calcula con la fórmula de fundamental AASHTO 93 con hojas de cálculo, monogramas o con softwares computacionales. Los datos que requiere la fórmula son el tráfico tipo de suelo, módulo de resiliencia, etc.



PARÁMETROS:

El tráfico (ESALS)

El (Manual de carreteras MTC, 2013) Indica los procedimientos para diseño de pavimentos de la siguiente manera:

El periodo de diseño varía según el tipo de tráfico que se tiene, en el periodo para el carril de diseño. El periodo de diseño mínimo es de 20 años.

La metodología AASHTO 93 utiliza las diferentes cargas de ejes de todos los tipos de vehículos y los convierte en ejes simples equivalentes a 8.2 Ton. Llamado ESALs. (equivalent single axle load).

El manual de carreteras 2013. Utiliza tres categorías para distinguir el tipo de tráfico de acuerdo al número de ejes equivalente (EE).

- a) ***Camino de bajo volumen de tránsito, de 150,001 hasta 1'000,000 EE (Ejes Equivalentes), en el carril y periodo de diseño. (ver tabla 5)***

Tabla 5

Clasificación de tipo de tránsito según EE de 150,001-1'000,000

Tipos de tránsito pesado en EE	Intervalos de tránsito en EE
T _{P1}	Mayor a 150,000 EE Menor igual a 300,000 EE
T _{P2}	Mayor a 300,000 EE Menor igual a 500,000 EE
T _{P3}	Mayor a 500,000 EE Menor igual a 750,000 EE
T _{P4}	Mayor a 750,000 EE Menor igual a 1'000,000 EE

Fuente. Manual de carreteras 2013

b) *Vías de un tráfico, de 1'000,001 a 30'000,000 ejes equivalentes (EE). (ver tabla 6)*

Tabla 6

Número de repeticiones acumuladas de 1'00,001-30'000,000 EE

Tipos de tránsito pesado en EE	Intervalos de tránsito en EE
T _{P5}	Mayor a 1'000,000 EE Menor igual a 1'500,000 EE
T _{P6}	Mayor a 1'500,000 EE Menor igual a 3'000,000 EE
T _{P7}	Mayor a 3'000,000 EE Menor igual a 5'000,000 EE
T _{P8}	Mayor a 5'000,000 EE Menor igual a 7'500,000 EE
T _{P9}	Mayor a 7'500,000 EE Menor igual a 10'000,000 EE
T _{P10}	Mayor a 10'000,000 EE Menor igual a 12'500,000 EE
T _{P11}	Mayor a 12'500,000 EE Menor igual a 15'000,000 EE
T _{P12}	Mayor a 15'000,000 EE Menor igual a 20'000,000 EE
T _{P13}	Mayor a 20'000,000 EE Menor igual a 25'000,000 EE
T _{P14}	Mayor a 25'000,000 EE Menor igual a 30'000,000 EE

Fuente. Manual de carreteras 2013

Serviciabilidad: Este valor se determina de acuerdo con la metodología AASHTO con dos variables: índice de servicio inicial (Pi) e índice de servicio final (Pt). Donde la serviciabilidad es la variación entre los valores inicial y final (Δ PSI).

Se define como serviciabilidad como la idoneidad del pavimento para facilitar el tráfico que concurre a través de la carretera, su medición se realiza con un nivel de 0 – 5, donde 0 es representa una vía imposible de transitar y 5 es perfecto que representa un valor ideal que no se da en la realidad. (Manual de carreteras, 2013). AASHTO, (1993) utiliza el valor 1.5 como índice de serviciabilidad mínimo. (p.10)

Δ PSI es un valor que está relacionado con la calidad de la construcción de los pavimentos. Los valores que se recomienda se muestran en la tabla 7:

Tabla 7

Índice de serviciabilidad inicial, final y diferencia

Tipo	Tránsito	EE	(Pi)	(Pf)	(Δ Psi)
Caminos de bajo volumen de tránsito	T _{P1}	De 150,001 a 300,000	4.10	2.00	2.10
	T _{P2}	de 300,001 a 500,000	4.10	2.00	2.10
	T _{P3}	de 500,001 a 750,000	4.10	2.00	2.10
	T _{P4}	de 750,001 a 1'000,000	4.10	2.00	2.10
Resto de caminos	T _{P5}	de 1'000,001 a 1'500,000	4.30	2.50	1.80
	T _{P6}	de 1'500,001 a 3'000,000	4.30	2.50	1.80
	T _{P7}	de 3'000,001 a 5'000,000	4.30	2.50	1.80
	T _{P8}	de 5'000,001 a 7'500,000	4.30	2.50	1.80
	T _{P9}	de 7'500,001 a 10'000,000	4.30	2.50	1.80
	T _{P10}	de 10'000,001 a 12'500,000	4.30	2.50	1.80
	T _{P11}	de 12'500,001 a 15'000,000	4.30	2.50	1.80
	T _{P12}	de 15'000,001 a 20'000,000	4.50	3.00	1.50
	T _{P13}	de 20'000,001 a 25'000,000	4.50	3.00	1.50
	T _{P14}	de 25'000,001 a 30'000,000	4.50	3.00	1.50
	T _{P15}	Mayor a 30'000,000	4.50	3.00	1.50

Fuente. Manual de Carreteras 2013

La confiabilidad “R” y la desviación estándar (Zr)

Este parámetro valora el grado de deterioro que presenta una vía a través de la estadística, considerando y midiendo los procesos constructivos, materiales utilizados, supervisión, etc. que se utilizan durante la ejecución de pavimentos. ver tabla 8. (Manual de Carreteras, 2013)

Tabla 8

Valores recomendados nivel de confiabilidad (R) y desviación estándar (Zr)

Tipo	Tránsito	EE	(R)	(Zr)
Caminos de bajo	T _{P0}	de 100,000 a 150,000	0.65	-0.385
	T _{P1}	de 150,001 a 300,000	0.65	-0.524



Tipo	Tránsito	EE	(R)	(Zr)
volumen de tránsito	T _{P2}	de 300,001 a 500,000	0.70	-0.674
	T _{P3}	de 500,001 a 750,000	0.75	-0.842
	T _{P4}	de 750,001 a 1'000,000	0.80	-0.842
Resto de caminos	T _{P5}	de 1'000,001 a 1'500,000	0.85	-1.036
	T _{P6}	de 1'500,001 a 3'000,000	0.85	-1.036
	T _{P7}	de 3'000,001 a 5'000,000	0.85	-1.036
	T _{P8}	de 5'000,001 a 7'500,000	0.90	-1.282
	T _{P9}	de 7'500,001 a 10'000,000	0.90	-1.282
	T _{P10}	de 10'000,001 a 12'500,000	0.90	-1.282
	T _{P11}	de 12'500,001 a 15'000,000	0.90	-1.282
	T _{P12}	de 15'000,001 a 20'000,000	0.90	-1.282
	T _{P13}	de 20'000,001 a 25'000,000	0.90	-1.282
	T _{P14}	de 25'000,001 a 30'000,000	0.90	-1.282
	T _{P15}	Mayor a 30'000,000	0.95	-1.645

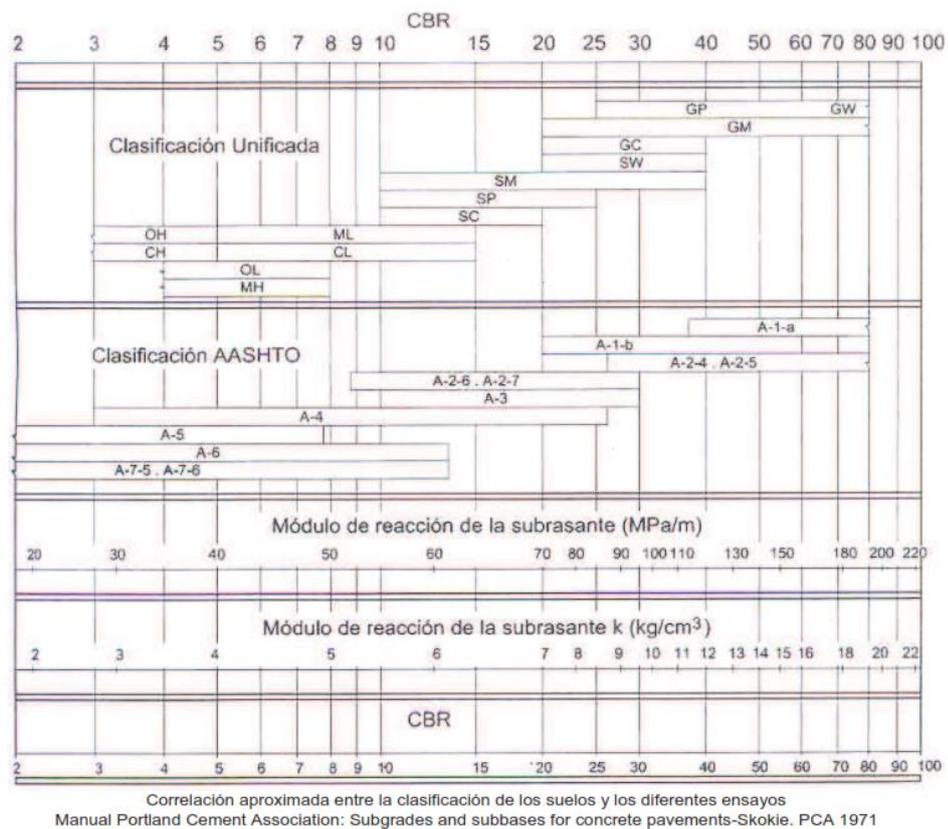
Fuente. Manual de Carreteras, 2013

El suelo y el efecto de las capas de apoyo (Kc)

El módulo de reacción (K) es definido por el tipo de subrasante que se tiene, a la vez se considera el mejoramiento de las capas de apoyo mediante tratamiento que podría influir en la reducción de la altura de la losa del pavimento rígido, esta corrección se denomina módulo de reacción combinado (Kc). (Manual de Carreteras, 2013) para determinar el Kc se recomienda usar el ábaco de la figura 8.

Figura 8

Correlación CBR y módulo de reacción de la subrasante



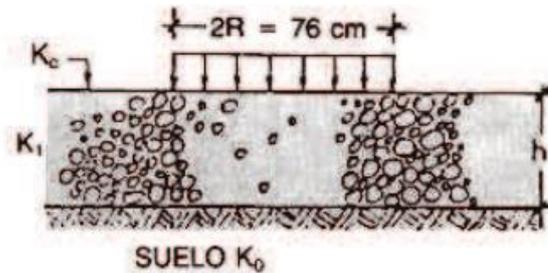
Fuente. Manual de carreteras, 2013, p. 267

El manual de carreteras 2013. Indica como materiales adecuados a capas de subrasante con CBR => a 6%. En el caso de no encontrarse buen material se realizará una estabilización de suelo mediante alternativas como: la estabilización química de suelo, mejoramiento de terreno de fundación, estabilización mecánica, estabilización mediante geo sintéticos u otros aprobados por el MTC, cambio del trazo de la vía, elevación de la vía. Optando por la más adecuada tanto económica como técnicamente.

Cuando se encuentre que la base granular sea de mayor calidad que la subrasante, entonces se utilizara el siguiente coeficiente de reacción del diseño, ver figura 9.

Figura 9

Coefficiente de reacción del diseño K_c



Fuente. Extraído de manual de carreteras, 2013 p. 268

Ecuación 4. Fórmula para determinar el K_c se utiliza la formula (4)

$$K_c = [1 + (h/38)^2 \times (K_1/K_0)^{2/3}]^{0.5} \times K_0 \quad (4)$$

$K_1(\text{kg/cm}^3)$: Coeficiente de reacción de la sub base granular

$K_c(\text{kg/cm}^3)$: Coeficiente de reacción combinado

$K_0(\text{kg/cm}^3)$: Coeficiente de reacción de la subrasante

h : Espesor de la subbase granular

Tabla 9

CBR mínimos recomendados para la subbase granular expresado en EE

Tránsito	Prueba normal	Requerimiento mínimo
Menor a 1.5×10^7 EE	MTC E 132	CBR 40 % (1)
Mayor a 1.5×10^7 EE	MTC E 132	CBR 60 % (1)

Concerniente al 100% de la densidad seca máxima y un ingreso de carga de 0.1" Fuente. Extraído de manual de carreteras, 2013

La tabla 9 muestra los CBR mínimos para la subbase granular expresado en ejes equivalente para diseño de pavimentos rígidos.

Módulo de rotura del concreto (M_r)

El parámetro módulo de rotura (M_r) que es la resistencia a la flexión que se utiliza en la fórmula AASHTO 93, se mide su calidad mediante el ensayo de flexión de vigas normalmente se realiza a los 28 días, es ensayado con la

aplicación de cargas en los tercios, induciendo a la rotura en el tercio céntrico de la viga. (Norma ASTM C-78.)

Tabla 10

Valores sugeridos según los ejes equivalentes de tránsito.

Rangos de tráfico pesados en EE	Resistencia mínima al Flexo tracción del concreto (M_r)	Resistencia mínima Equivalente a la compresión del concreto (f'_c)
Menor a 5×10^6 EE	40.0 kg/cm ²	280.0 kg/cm ²
Mayor a 5×10^6 EE	42.0 kg/cm ²	300.0 kg/cm ²
Mayor igual a 15×10^7 EE	45.0 kg/cm ²	350.0 kg/cm ²

Fuente. Extraído de manual de carreteras, 2013

La tabla 10 muestra los valores recomendados para tráfico \leq a 5'000,000 ejes equivalentes de 40 kg/cm² de resistencia mínima para ensayo de flexión y 280 kg/cm² como resistencia mínima a la compresión del concreto, (Manual de Carreteras 2013, pág. 269)

Por el cual optamos el diseño del concreto de esta investigación con estos valores.

Módulo elástico del concreto

Es un parámetro de la fórmula de AASHTO 93 primordial para el diseño de en concreto.

Ecuación 5. Fórmula para determinar el módulo elástico del concreto AASHTO 93

$$E = 57,000 * (f'_c)^{0.5} \quad (f'_c \text{ en PSI}) \quad (5)$$



Drenaje (Cd)

la estructura de pavimento rígido, es imposible que no esté expuesta al agua o humedad lo cual trae lo siguientes inconvenientes:

- Socavamiento de suelo por movimiento de partículas.
- Debilitamiento de la subrasante por presencia de agua principalmente por congelamiento.
- Desgaste del material de la rasante por presencia de humedad.
- Deflexión y aparición de fisuras en expansión por baja capacidad de resistencia.

El parámetro Drenaje (Cd) equivale a la posibilidad de que la capa base (base granular) de la losa de concreto se conserve exento de humedad por un tiempo. El drenaje de las capas del pavimento depende del tipo de drenaje, tipo y permeabilidad de las capas granulares intermedias, clima, intensidad de lluvias, etc. (Manual de Carreteras 2013)

La variación del coeficiente de drenaje (Cd) se encuentra entre 0.70 a 1.25. de acuerdo con las variables indicadas. Un coeficiente de drenaje alto indica un drenaje adecuado y repercute en la reducción del espesor del pavimento calculado.

Pasos para el cálculo del Cd

Se define la calidad de drenaje mediante el tiempo de saturación, ver tabla 11.

Tabla 11

Recomendaciones de calidad de drenaje según la saturación

Tipo de drenaje	50% de saturación en:	85% de saturación en:
Excelente	2.0 horas	2.0 horas
Bueno	1.0 día	2.0 a 5.0 horas



Tipo de drenaje	50% de saturación en:	85% de saturación en:
Regular	1.0 semana	5.0 a 10.0 horas
Pobre	1.0 mes	Más de 10.0 horas
Muy pobre	no Drena	Mucho más de 10.0 horas

Fuente. Manual de carreteras, 2013 p. 270

Una vez identificado el % de tiempo en que el pavimento está en contacto con la humedad y la calidad del drenaje se determina el Cd por correlación. Mediante la tabla 12.

Tabla 12

Coefficiente de drenaje de las capas granulares

(Cd)	% del Período en que la vía está expuesta a condiciones de humedecimiento cercanos a la saturación			
	Menor a 1%	De 1 a 5%	De 5 a 25%	Mayor a 25%
Excelente	de 1.25 a 1.20	de 1.20 a 1.15	de 1.15 a 1.10	1.10
Bueno	de 1.20 a 1.15	de 1.15 a 1.10	de 1.10 a 1.00	1.00
Regular	de 1.15 a 1.10	de 1.10 a 1.00	de 1.00 a 0.90	0.90
Pobre	de 1.10 a 1.00	de 1.00 a 0.90	de 0.90 a 0.80	0.80
Muy pobre	de 1.00 a 0.90	de 0.90 a 0.80	de 0.80 a 0.70	0.70

Fuente. Manual de carreteras, 2013

Transferencia de cargas (J)

El parámetro de transferencia carga (J) se utiliza en el diseño de pavimentos tiene el propósito de transmitir la carga entre juntas y fisuras, mediante pasadores o dowels. ver tabla 13.

El valor de (J) es correlativo con el espesor de la losa de pavimento.

Tabla 13

Valores de coeficiente de transmisión de carga J

Clase de Vía	J			
	asfalto		Concreto hidráulico	
J	Con dowels	Sin dowels	Con dowels	Sin dowels
	3.2	3.8 – 4.4	2.8	3.8

Fuente. Manual de carreteras, 2013

2.2.7 Obtención del ESAL

Para calcular el ESAL de diseño, para un periodo de 20 años, se realiza conteo de vehículos que transitan por la vía, luego se hace una conversión a ejes equivalentes, para este estudio se utilizó el aforo del Jr. Abraham Valdelomar del distrito de Juliaca, tal como se muestra en la figura 10.

Figura 10

Aforo vehicular para estudio de tráfico

AFORO VEHICULAR PARA ESTUDIO DE TRAFICO																							
PROYECTO DE TESIS		"ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO - ECONÓMICO ENTRE PAVIMENTO FLEXIBLE Y RÍGIDO POR LOS MÉTODOS INSTITUTO DE ASFALTO Y AASHTO-93, EN JR. ABRAHAM VALDELOMAR, URBANIZACIÓN TAMBOPATA, DISTRITO JULIACA, PROVINCIA SAN ROMÁN - PUNO"																					
TRAMO	JR. ABRAHAM VALDELOMAR																ESTACION	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.					
SENTIDO	E ←															S →							
UBICACIÓN	URBANIZACIÓN TAMBOPATA, DISTRITO JULIACA, PROVINCIA SAN ROMÁN																DIA						
	MOTOS		AUTO		CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMION				SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	Vehiclos
DIA	MOTOS	AUTO	PICK UP	PICK UP	O	B2	>=B3	C2	C3	C4	T2S1	T2S2	T2S3	3S1	3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>= 3T3			
DOMINGO	0	149	30	19	12	10	4	26	19	12	5	3	2	0	0	6	0	0	0	0	297	Vehiclos	
LUNES	43	139	16	23	22	6	4	21	12	7	2	2	4	0	0	6	0	0	0	0	307	Vehiclos	
MARTES	41	182	77	17	16	6	4	25	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	371	Vehiclos	
MIÉRCOLES	93	304	155	128	25	3	13	50	6	0	0	2	1	0	0	3	0	0	0	0	783	Vehiclos	
JUEVES	71	275	92	42	25	4	0	28	6	3	0	0	3	0	0	5	0	0	0	0	554	Vehiclos	
VIERNES	197	337	71	61	4	1	1	29	3	2	0	0	1	0	0	6	0	0	0	0	713	Vehiclos	
SÁBADO	152	244	135	0	14	3	0	32	4	1	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	593	Vehiclos	
TOTAL	85	233	82	41	17	5	4	30	7	4	1	1	2	0	0	5	0	0	0	0	517		

Nota: Datos obtenidos de Canahuiri (2021) donde determina el ESAL de diseño en 1'143,333.641 EE. (p.108)

2.2.8 Normas para ensayos de laboratorio

La tabla 14 muestra todas las normas utilizadas para los ensayos ejecutados en esta investigación.

Tabla 14

Normas para los ensayos en laboratorio

Pruebas de laboratorio	Normas				Anexos
	ASTM	NTP	MTC	ACI	
Áridos					
Obtención y disposición de especímenes	C-702	400.010	E-201		04

Pruebas de laboratorio	Normas				Anexos
	ASTM	NTP	MTC	ACI	
Granulometría de los áridos	C-136	400.012	E-204		04
Porcentaje de humedad total valorizable	C-566	339.185	E-215		04
Densidad relativa de agregado finos	C-128	400.022	E-205		04
Densidad relativa de agregado gruesos	C-127	400.021	E-206		04
Diseño de mezcla				211.1	05
Masa por unidad de volumen	C-29	400.017	E-203		06
Concreto					
Asentamiento (revenimiento)	C-143	339.035	E-705		06
Resistencia a la compresión (f _c)	C-642	339.034	E-704		07
Resistencia a la flexión (Mr)	C-39	339.078	E-709		08
Permeabilidad				12390	09

Fuente. Elaboración propia.

2.2.9 Ensayos ejecutados durante la investigación

Los certificados de las pruebas están en los anexos del 05 al 09.

2.2.10 Crecimiento del parque automotor Puno

De acuerdo con MTC, Crecimiento de parque automotor (2022), se tiene datos de crecimiento del parque automotor de la región de Puno, haciendo cálculos se determinar un crecimiento de 37.43% año (2012-2021). ver la tabla 15.

Tabla 15

Crecimiento de parque automotor Puno

Perú – Puno - Parque Automotor Estimado Por Años: 2012 - 2021										
(Unidades Vehiculares)										
Año	2012	2013 ^R	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Puno	40 543	43 477	45 056	46 200	47 696	49 387	51 041	52 689	53 692	55 720

Fuente. (MTC, Crecimiento de parque automotor, 2022).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

La ubicación geográfica de estudio fue en la ciudad de Juliaca. (figura 11)

Figura 11

Ubicación geográfica lugar de estudio ciudad de Juliaca -Puno



Fuente. INEI (2018, p. 16).

3.1.1 Ubicación del laboratorio de concreto

Los ensayos se realizaron en el laboratorio de multiservicios y constructora LH sociedad anónima cerrada, ubicado en el Jirón. Honduras Manzana B-26 Lote. Siete B – Juliaca - Puno.

3.1.2 Ubicación de Cantera

la cantera de agregado fino (arena gruesa) y agregado grueso (piedra chancada) utilizada para esta investigación, se ubica a 25 minutos de la ciudad de Juliaca, a orillas del río Cabanillas en lugar denominado Yocara (figura 12), donde se contactó a la empresa Jeservi, que es una de las empresas que se dedica a la extracción y explotación de agregados, para proveer a las construcciones de la ciudad de Juliaca. La tabla 16, muestra las coordenadas UTM de la ubicación de la cantera de agregados.

Tabla 16

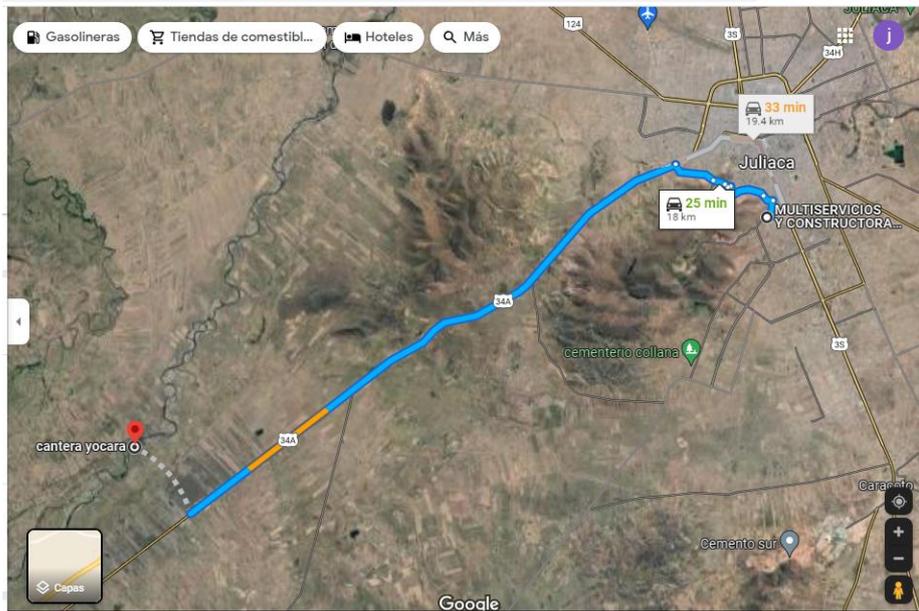
Ubicación de cantera de agregados en coordenadas UTM

UBICACIÓN			COORDENADAS UTM (Sistema WGS - 84)		
Departamento	Provincia	Distrito	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m.s.n.m.)
Puno	San Román	Juliaca	363614.77	8279091.85	3855

Fuente. Elaboración propia.

Figura 12

Ubicación satelital de cantera de agregados



Fuente. Google earth.

3.2 PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO

El estudio se realizó desde el mes de febrero hasta el mes de octubre del año 2022, tiempo en el que se realizó: la ejecución de la investigación en laboratorio de concreto, análisis y procesamiento de datos, ejecución de borrador de tesis y la presentación del proyecto.

3.3 MATERIALES UTILIZADOS EN LA INVESTIGACION

3.3.1 Cemento

El cemento que se utilizó en la investigación fue el Cemento Portland tipo I, clásico, de marca Rumi, procedente de la fábrica Yura – Arequipa, para la elaboración de probetas cilíndricas y prismáticas, con la incorporación de mucílago de cactus. Las características se describen en las tablas 1 y 2. Este tipo es de uso generalizado en todas las obras de concreto en la región, cumpliendo con la norma NTP 334.009.



3.3.2 Agregados

Se realizó la caracterización de los agregados, para lo cual se realizó los ensayos: contenido de humedad evaporable, análisis granulométrico de agregados, peso específico y absorción de agregado fino, gravedad específica y absorción de agregados grueso, determinación del peso unitario suelto y compacto de los agregados. para ver los certificados de dichos ensayos ver el Ver anexo 04: ensayo de agregados.

3.3.3 Agua

El agua utilizada para la fabricación de testigos de concreto, fue agua potable distribuida por la Empresa Prestadora de Servicio SEDA-Juliaca.

3.3.4 Mucílago de *Cactaceae* Columnar

La materia para el mucílago de *cactaceae* columnar, fue ubicado en el centro poblado de Choco, provincia de Azángaro, departamento de Puno. que se encuentra al norte de la ciudad de Juliaca a 1 hora con 25 minutos de recorrido en auto.

La dosificación se realizó de acuerdo con Oloya y Ponce, (2019) quien utilizaron una dosificación de aditivo natural denominado mucílago obtenido de la cactácea *Echinopsis pachanoi* en 0.5%, 1%, 1.5%, según el peso del cemento, donde también recomienda que para futuros estudios de este tipo sería bueno evaluar porcentajes superiores al 1.5% para conocer su desempeño y comprobar que a mayor cuantía de mucílago de cactus el hormigón es más resistente a la permeabilidad, por lo cual en esta investigación se planteó adicionar a un concreto



patrón el aditivo natural MCC en proporciones de 1%, 2%, 3% en peso del cemento.

3.4 EQUIPOS

- Bandeja metálica de laboratorio
- Molde cilíndrico
- Varilla apisonadora
- Balanza electrónica 5gr - 6,200gr (modelo: SJX6201/E, marca OAHUS, número de serie: B835336209, procedencia U.S.A.)
- Balanza electrónica 20gr - 30,000gr (modelo: R31P30, marca OAHUS, número de serie: 8339530197, procedencia U.S.A.)
- Horno eléctrico de 0° - 300°C (modelo: STHX-1A, marca: A&A INSTRUMENTS, número de serie: 190548, procedencia: CHINA)
- Termómetro de indicación digital (modelo: 4353, marca CONTROL COMPANY, número de serie: 181528649, procedencia U.S.A.)
- Olla Washington. (modelo: LA-0316, marca: FORNEY, número de serie: 114, procedencia U.S.A.)
- Canasta para densidad. (Modelo: LA-3035, Marca: FORNEY, número de serie: 531.)
- Tamices o mallas
- Picnómetro 500.00 ml.



3.5 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.5.1 Enfoque de la investigación

(Hernández et al., 2014) mencionan “la investigación adopta un enfoque cuantitativo porque refleja las necesidades de estimar y medir el alcance de un problema o fenómeno de una investigación”.

Este estudio tiene un enfoque cuantitativo ya que se llevaron a cabo mediciones numéricas y pruebas estadísticas, con el fin de identificar patrones de comportamiento y poner a prueba teorías.

3.5.2 Nivel de investigación

la presente investigación es de nivel explicativo.

La finalidad de este tipo de investigación es proporcionar respuesta a causas de sucesos y fenómenos físicos. Se enfoca mayormente en dar explicaciones del porqué de la ocurrencia de un fenómeno y las condiciones en la que ésta se presenta, o los motivos por el cual se relacionan dos o más variables, es decir buscan determinar la causa a los sucesos o fenómenos que se estudian. (Hernández, et al., 2014).

3.5.3 Diseño de la investigación

el presente estudio es cuasi experimental.

En los diseños cuasi experimentales también se manipulan una o más variables independientes para observar su influencia sobre al menos una variable dependiente, la diferencia está en el nivel de seguridad que se pueda alcanzar en la semejanza inicial de los grupos. En estos diseños, los sujetos no se emparejan



ni se asignan al azar, ya que dichos grupos ya están conformados antes del experimento (la razón por la que se forman no es parte del experimento. (Hernández et al., 2014)

Los instrumentos que utilizamos fueron las guías de observación, validados por el jefe del laboratorio y el técnico encargado, a través de la entrega de certificados de los ensayos, y calibración de equipos.

3.5.4 Población y muestra

3.5.4.1 Población.

La población para este estudio fue el concreto estándar $f'c=280\text{kg/cm}^2$ (sin la incorporación de mucílago de *cacataceae* columnar) con relación $a/c=0.45$ y el concreto $f'c=280\text{kg/cm}^2$ con la inclusión de mucílago de *cactaceae* columnar en 1%, 2% y 3% en peso del cemento, con relación $a/c=0.45$.

Para cumplir el objetivo de diseñar un pavimento rígido, capaz de soportar un alto flujo vehicular en el futuro y teniendo en consideración las recomendaciones de manual de carreteras 2013 (tabla 10). se diseñó un concreto de resistencia $f'c=280\text{ kg/cm}^2$. Que, con el refuerzo del mucílago de *cactaceae* columnar, con un procesamiento simple, con el mínimo costo de producción, se puede obtener mejores propiedades físicas y mecánicas del concreto. Para cumplir con el objetivo se diseñó el pavimento rígido del Jr. Abraham Valdelomar de la ciudad de Juliaca, región Puno.



3.5.4.2 Muestra.

La cantidad de muestras se determinó de acuerdo al reglamento ACI 318S/318SR donde indica, que para concreto estructural se realizara dos probetas mínimamente (pág. 70). En ese sentido las muestras que se van elaborar serán de: tres probetas cilíndricas para resistencia a la compresión, para cada tipo de diseño (patrón, patrón + 1%MCC, patrón + 2%MCC, patrón + 3%MCC) y por edad de 7 días, 14 días y 28 días; tres muestras prismáticas para resistencia a la flexión para cada tipo de diseño (patrón, patrón + 1%MCC, patrón + 2%MCC, patrón + 3%MCC) para edad de 28 días; tres ensayos para determinar el asentamiento del concreto fresco por cada diseño (patrón, patrón+1%MCC, patrón + 2%MCC, patrón + 3%MCC); y tres muestras cilíndricas para el ensayo de permeabilidad, para cada tipo de diseño (patrón, patrón+1%MCC, patrón+2%MCC, patrón+3%MCC) para la edad de 28 días. Siendo un total de 60 muestras en total como se observa en la tabla 17.

El tipo de muestreo es no probabilístico intencional.

En un muestreo no probabilístico se deben determinar las características de la población de estudio, es aquel donde el investigador elige según su criterio las muestras representativas sin ningún tipo de regla estadística. (Carrasco, 2006).

En la tabla 17 se muestran la cantidad de testigos de concreto a utilizarse en las diferentes pruebas (resistencia a compresión, flexión y permeabilidad), además se designó con abreviatura a los especímenes de

diseño de concreto patrón (P), las adicionadas con mucílago de cactus columnar (MCC).

Tabla 17

Cantidad de muestras cilíndricas y prismáticas

Dosificación	Propiedades mecánicas del concreto					Cantidad de muestras
	Resistencia a compresión f _c		Resistencia a la flexión Mr		Permeabilidad	
	7 días	14 días	28 días	28 días	28 días	
P+0%MCC	3	3	3	3	3	15
P+1%MCC	3	3	3	3	3	15
P+2%MCC	3	3	3	3	3	15
P+3%MCC	3	3	3	3	3	15
Total	12	12	12	12	12	60

Fuente. Elaboración propia.

3.5.5 Operacionalización de variables

La dosificación de mucílago de *cactáceae* columnar en porcentajes será la variable independiente examinada en esta investigación, y las características físicas y mecánicas del concreto serán la variable dependiente, como se indica en la tabla 18.

Tabla 18

Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Tipo de variable
Variable independiente:		-1%		
		-2%		
		-3%		
Adición de mucílago de <i>cactáceae</i> columnar	Porcentaje en peso del cemento del aditivo natural mucílago de <i>cactáceae</i>		kg	Razón



Variables	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Tipo de variable
Variable dependiente: propiedades mecánicas del concreto $f'c=280$ kg/cm ²	Propiedades físicas y mecánicas del concreto	Resistencia a la compresión	kg/cm ²	Razón
		Resistencia a la flexión	kg/cm ²	
		Trabajabilidad,	cm	
		Permeabilidad del concreto.	mm	
		Espesor de pavimento	cm	

Fuente. Elaboración propia.

3.6 PRUEBA ESTADÍSTICA

3.6.1 Prueba de normalidad

Para nuestro trabajo de investigación realizamos pruebas de normalidad para ver si tenemos datos normales (paramétricos) o no normales (no paramétricos), para lo cual utilizamos la prueba de Shapiro Wilk porque tenemos especímenes menores a 30. Con el resultado de esta prueba se elige el tipo de prueba estadística para comparar dos grupos no relacionados, la prueba que corresponde es ANOVA, para distribución normal o la prueba U de Mann Whitney para distribución no normal. (Bioestadístico.com, 2012)

3.6.1.1 Prueba de hipótesis estadística

Si $p\text{-valor} \leq 0.05$; los datos presentan una distribución normal.

Si $p\text{-valor} > 0.05$; los datos no presentan una distribución normal.

3.6.1.2 Nivel de significancia

El nivel de confianza que utilizamos fue del 95%, por lo tanto, tenemos una significancia del 0.05

3.6.1.3 Análisis paramétrico

La estadística paramétrica puede utilizarse para probar datos de una distribución normal o paramétrica de niveles de medición de razón o intervalo con varianza uniforme entre grupos, Hernández Sampieri et al., (2014). En este estudio se emplearon la prueba de comparación de grupos ANOVA y la prueba de correlación de Pearson.

3.6.2 Coeficiente de correlación de Pearson

La prueba de correlación de Pearson permite determinar el grado de relación de dos variables siempre y cuando ambas sean cuantitativas y continuas.

Ecuación 6. *Coeficiente de correlación de Pearson*

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}} \quad (6)$$

Donde:

- **n** : Número datos muestrales
- **x** : Valores de x
- **y** : Valores de y

El coeficiente de correlación r puede variar en el intervalo de (-1 a 1); para el análisis del valor de r Hernández et. al (2014) indica:

- ± 0.90 a ± 1.00 Correlación perfecta
- ± 0.76 a ± 0.90 Correlación muy fuerte
- ± 0.51 a ± 0.75 Correlación considerable
- ± 0.11 a ± 0.50 Correlación media
- ± 0.01 a ± 0.10 Correlación débil



- 0.00 No existe correlación

El signo (+) revela una correlación positiva y (-) correlación negativa o inversa. Para las pruebas de hipótesis estadística.

Hipótesis estadísticas

H_0 : $\rho = 0$ No existe una correlación

H_1 : $\rho \neq 0$ Existe una correlación

Regla de decisión

Si p-valor ≤ 0.05 , rechace la hipótesis nula.

Si p-valor > 0.05 , no rechace la hipótesis nula.

Por lo tanto, si el p-valor es menor que la significancia $\alpha = 0.05 = 5\%$, quiere decir que si hay una correlación entre las variables.

3.6.3 Prueba ANOVA (análisis de varianzas)

Se trata de una amplificación de la prueba de t para muestras independientes, en el caso de que se quiera comparar más de dos grupos, al tratarse de una prueba estadística paramétrica se aplica cuando la variable a analizar es numérica, previa demostración de normalidad en cada grupo, así como la homogeneidad de varianzas entre los grupos. (Hernández Sampieri et al., 2014, p. 314). Generalmente el investigador se interesa en comparar tratamiento respecto a las medias poblacionales, sin obiar la comparacion de la varianza. De esta manera según la estadística, la hipótesis fundamental a probar es:

H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k = \mu$

H_1 : $\mu_i \neq \mu_j$ para algún $i \neq j$ Al menos un efecto es diferente de cero.

La hipótesis del investigador (H_1) sugiere que de los grupos al menos uno difiere significativamente entre sí, en cambio aceptar la hipótesis nula (H_0) significa que los k tratamientos de acuerdo a la estadística es μ , es decir no hay efecto alguno del tratamiento k en μ . (Gutierrez Pulido & De la Vara Salazar, 2012)

Tabla 19

Tabla del estadístico ANOVA

Variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F_0
Entre grupos	$SC_{Trat} = \sum_{i=1}^k n_i * (\bar{x}_i - \bar{x}_{..})^2$	$k-1$	$CM_{Trat} = \frac{SC_{Trat}}{k-1}$	$F_0 = \frac{CM_{Trat}}{CM_{Error}}$
Dentro de grupos	$SC_{Trat} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (\bar{x}_{ij} - \bar{x}_i)^2$	$N-k$	$CM_{Error} = \frac{SC_{Error}}{N-k}$	
Total	$SC_{Trat} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (\bar{x}_{ij} - \bar{x}_{..})^2$	$N-1$		

Nota. Fuente: Estadística para Ingenieros y Científicos, Navidi (2006).

Donde:

- **Ni** : Número de experimentos
- **k** : Número de grupos
- $\bar{x}_{..}$: Media de pruebas en tratamiento
- \bar{x}_i : Media por grupo

Se puede afirmar que existen diferencias o variaciones entre los grupos de muestra patrón y muestras con tratamiento de MCC cuando:

$$F_0 > F_{\alpha, k-1, N-k}$$

El factor $F_{\alpha, k-1, N-k}$ se determina dividiendo los grados de libertad ($k-1$) entre la cantidad de grupos menos el número de pruebas ($N-k$). y el factor F_0 se determina dividiendo el cuadrado medio de tratamiento entre el cuadrado medio de error. Las fórmulas ahora el cálculo de varianzas (ANOVA) se muestra en la tabla 19.

3.6.4 Confiabilidad y validez

Para este estudio, la confiabilidad de instrumentos contó con el apoyo de expertos de Multiservicios y Constructora LH, el laboratorio de suelos, hormigón y asfalto. La tabla 20 nos muestra las normas y los expertos que ayudaron en la ejecución de los ensayos para este estudio de investigación.

Tabla 20

Confiabilidad del instrumento mediante normas y expertos

Ensayo	Normas	Expertos
Resistencia a la Compresión f'_c	ASTM C-39	Ing. Juan Manuel Frisancho Aguirre CIP. 45130
Resistencia a la Flexión M_r	ASTM C-78	
Asentamiento del concreto	NTP-339.035-12	
Permeabilidad (profundidad de penetración de agua)	UNE EN 12390 – 8	Ing. Raúl Miranda Quintanilla
Cálculo de espesor de pavimento	AASHTO 93	

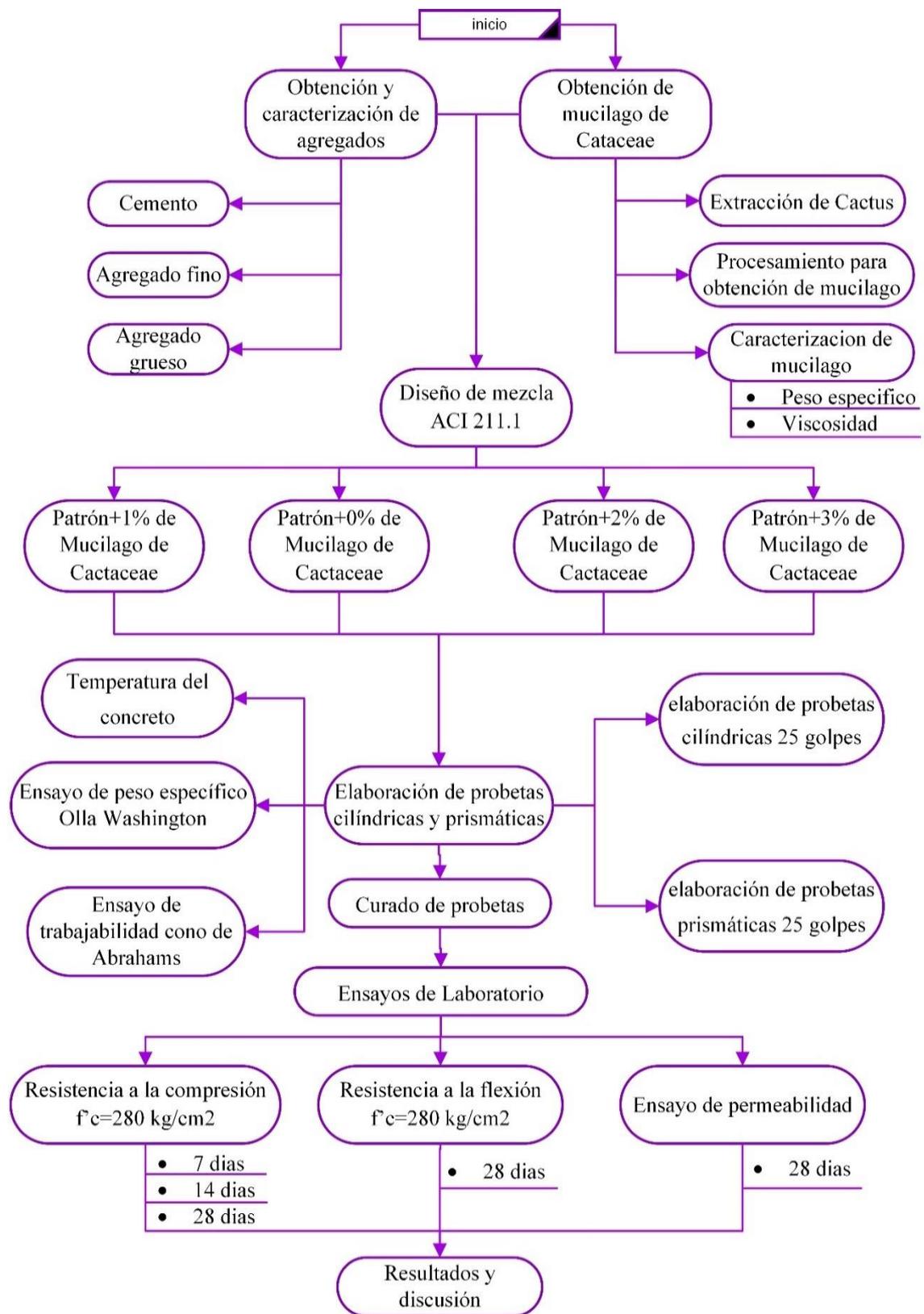
Nota. El experto es el jefe de Laboratorio de Suelos, Concreto y asfalto Multiservicios y Constructora LH y el laboratorio Geo Control Total E.I.R.L.

3.7 PROCEDIMIENTO

En la figura 13 podemos observar el diagrama de flujo del procedimiento de los ensayos y procesamiento de resultados, del estudio de investigación.

Figura 13

Diagrama de flujo del procedimiento de la investigación



Fuente. Elaboración propia.

3.7.1 Extracción de agregados

Para nuestro proyecto requerimos de agregado fino y grueso (piedra chancada). Se utilizaron los equipos y herramienta siguientes para el traslado del material:

- Sacos tejidos de polipropileno
- Celular con cámara para tomar las fotos.
- Transporte de agregados a laboratorio.
- Pala o lampa

Los agregados de la cantera Jeservi (figura 14), fueron transportados al laboratorio para efectuar los experimentos respectivos de caracterización, mediante el análisis granulométrico lo cual demostró que los agregados se encuentran entre los parámetros de la curva granulométrica, lo que indica que se puede trabajar con este material.

Figura 14

Extracción de agregados cantera Jereservi (Cabanillas)



1. Cantera Jeservi de agregado fino



2 Cantera Jeservi de agregado Grueso

Fuente. Elaboración propia.

3.7.2 Ensayo de agregados

La tabla 21 nos muestra los resultados de los ensayos básicos para agregados, y en la figura 15 se puede apreciar los ensayos básicos de agregados

Tabla 21

Caracterización de agregados

Características de los aridos	Agregado fino	Agregado grueso
Análisis granulométrico		
Módulo de finura	3.5	6.98
tamaño máximo nominal (TMN)	3/8"	1"
Contenido de humedad		
contenido de humedad	5.50%	3.93%
Peso específico y absorción		
Peso específico de masa	2.497	2.542
Peso específico de masa S.S.S.	2.551	2.586
Peso específico aparente	2.639	2.666
absorción	2.1	1.8
Pesos unitarios		
Peso unitario suelo	1610	1324
Peso unitario compactado	1746	1481

Nota: Ver anexo 03 para ver los certificados de laboratorio de la caracterización de agregados. *Fuente.* Elaboración propia.

Figura 15

Ensayos de laboratorio para caracterización de agregados



1. Cuarteo de agregado fino ASTM C29 / C29M – 17a



2. Cuarteo de agregado grueso ASTM C29 / C29M – 17a



3. Peso unitario compacto de agregado fino
ASTM C29 / C29M – 17a



6. Cuarteo de agregado grueso ASTM C29 / C29M
– 17a



4. Peso unitario suelto de agregado grueso
ASTM C29 / C29M – 17a



7. Determinación del peso específico de agregado
fino ASTM C128-15



5. Prueba de absorción de agregados gruesos
ASMT C127-15



8. Determinación de la absorción de agregado fino
ASTM C128-15

Fuente. Elaboración propia.

3.7.2.1 Contenido de humedad – agregado fino

La tabla 22 nos muestra los resultados del ensayo de contenido de humedad del agregado fino.

Tabla 22*Porcentaje de humedad del agregado fino*

N°	Descripción	Unidad	Resultados	Cantera
1	Peso de la cazuela	g	36.80	
2	Peso de la cazuela + espécimen húmedo	g	263.20	Jeservi
3	Peso del recipiente + espécimen seco	g	251.40	Cabanillas
4	Porcentaje de humedad	%	5.50	

Fuente. Elaboración propia

3.7.2.2 Contenido de humedad – agregado Grueso

La tabla 23 nos muestra los resultados del ensayo de contenido de humedad del agregado grueso.

Tabla 23*Contenido de humedad del agregado grueso*

N°	Descripción	Unidad	Resultados	Cantera
1	Peso de la cazuela	g	45.30	
2	Peso de la cazuela + espécimen húmedo	g	328.60	Jeservi
3	Peso del recipiente + espécimen seco	g	317.90	Cabanillas
4	Porcentaje de humedad	%	3.93	

Fuente. Elaboración propia

3.7.2.3 Equipos utilizados para realizar ensayos con agregados

La tabla 24 podemos observar los equipos utilizados para los ensayos de agregados.

Tabla 24*Equipos utilizados para realizar ensayos con agregados*

N°	Nombre de equipo	Marca	Serie	Identificación
1	Juego de tamices N° 1	Forney	---	BS8F
2	Balanza electrónica	Ohaus	B835336209	MT-LM-300-2021
3	Horno de laboratorio	A&a instrument	1905548	MT-LT-115-2021
4	Tamiz de lavado N° 200	Forney	---	BS8F

Fuente. Elaboración propia

3.7.2.4 Análisis granulométrico de los agregados grueso

En la figura 16 se muestra la curva de la granulometría del agregado grueso y la tabla 25 se podemos ver las mallas pasantes y retenidos. De acuerdo a la norma NTP 400.011 y ASTM C-33.

Tabla 25

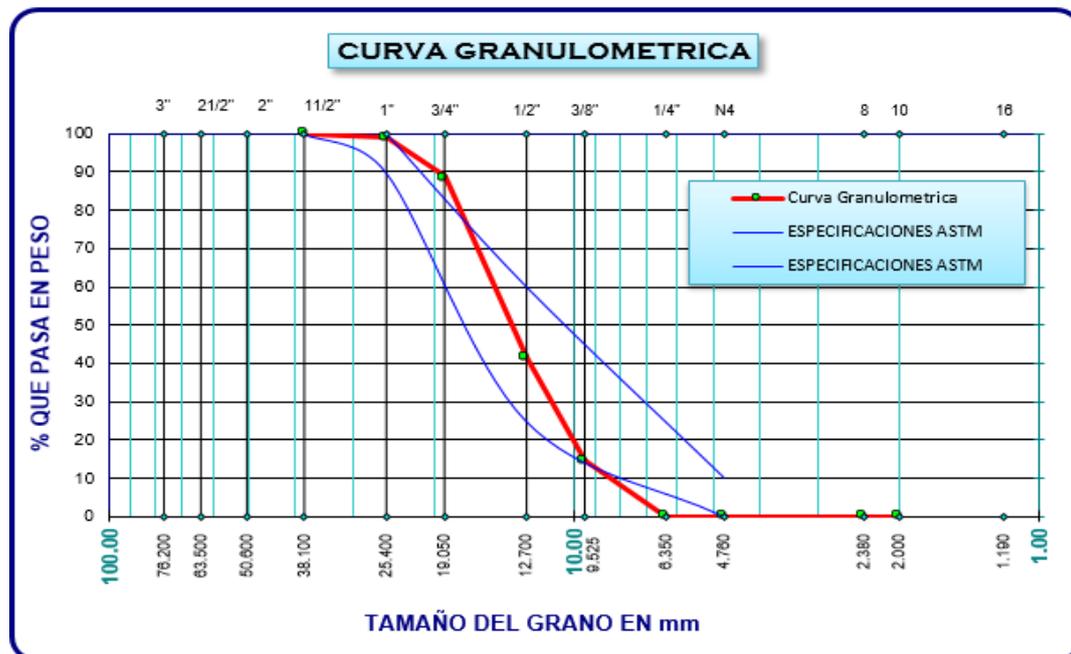
Análisis granulométrico del agregado grueso

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso retenido (gr.)	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa	Especificación ASTM C-33 (%)	
1 1/2"	38.1	0	0	0	100	100	100
1"	25.4	32.50	1.08	1.08	98.92	90	100
3/4"	19.05	299.60	9.99	11.07	88.93		
1/2"	12.7	1421.20	47.37	58.44	41.56	25	60
3/8"	9.525	806.20	26.87	85.31	14.69		
1/4"	6.35						
No4	4.76	444.40	14.81	100.13	-0.13	0	10
No8	2.38	4.80	0.16	100.29	-0.29		
No10	2	0.70	0.02	100.31	-0.31		
Base		-9.30	-0.31	100.00	0.00		
Total		3000.10	100.00				
% pérdida		0.29	< 0.30%	Aceptable			

Nota: En la tabla 25 se puede observar que el tamaño máximo es el inmediato superior al primer tamiz retenido, por ende, nuestro TM es igual a 1" de acuerdo con la norma (NTP 400.011, 2020). Fuente: Elaboración propia

Figura 16

Curva granulométrica del agregado grueso



Nota: Se refiere a la distribución en volumen de los tamaños de las partículas de agregado en representar de manera numérica. De acuerdo a la NTP 400.012 y ASTM C 136. Fuente. Elaboración propia

3.7.2.5 Análisis granulométrico de los agregados fino

En las figura 17 se muestra la curva granulométrica del agregado fino y la tabla 26 se muestra las mallas pasantes y retenidos. De acuerdo a la norma acuerdo a la NTP 400.012 y ASTM C 136.

Tabla 26

Análisis granulométrico de agregado fino

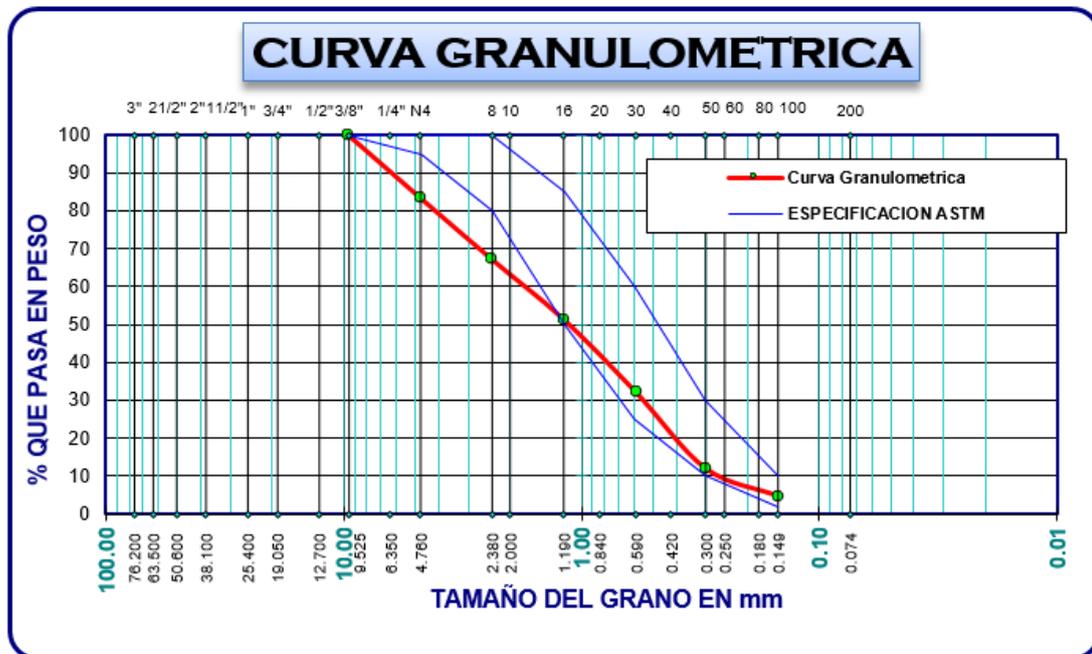
Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso retenido (gr.)	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa	Especificación ASTM C-33 (%)
1/2"	12.7	0.00	0	0	100	
3/8"	9.525	5.80	1.15	1.15	98.85	100
No4	4.76	77.80	15.38	16.53	83.47	95
No8	2.38	82.30	16.27	32.80	67.20	80
No16	1.19	79.90	15.80	48.60	51.40	50
No30	0.59	97.70	19.32	67.91	32.09	25
No50	0.3	102.10	20.19	88.10	11.90	10
No100	0.149	36.90	7.30	95.39	4.61	2

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso retenido (gr.)	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa	Especificación ASTM C-33 (%)
No200	0.074	7.10	1.40	96.80	3.20	
Base		16.20	3.20	100.00	0.00	
Total		505.80	100.00			
%		-0.01				
Pérdida						

Nota: En la tabla 25 se puede observar que el tamaño máximo es el primer tamiz retenido entre 5% al 10%, por ende, nuestro TM es igual a 3/8" de acuerdo con la norma (NTP 400.011, 2020). Fuente. Elaboración propia

Figura 17

Curva granulometría del agregado fino.



Fuente. Elaboración propia.

3.7.2.6 Cálculo del Módulo de finura

Normas técnicas.

- NTP 400.01
- ASTM C 125

Ecuación 7. Módulo de finura del agregado grueso

$$MF = \frac{-\sum \% \text{ Reten. acumulados}(3", 1\ 1/2, 3/4, 3/8, N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100}$$

$$MF = \frac{11.07+85.31+100*5}{100} = 6.98 \quad (7)$$

Ecuación 8. Módulo de finura del agregado fino

$$MF = \frac{-\sum \% Reten. acumulados(3", 1 1/2, 3/4, 3/8, N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}16, N30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100}$$
$$MF = \frac{1.15+16.53+32.80+48.60+67.91+88.10+95.39}{100} = 3.50 \quad (8)$$

3.7.2.7 Cálculo del peso específico y absorción de agregado fino

Se utiliza las normas NTP 400.022 y ASTM C128-15. También denominado densidad relativa, se calcula la densidad media de una determinada cantidad de partículas de agregado sin tener en cuenta la cantidad de espacio. básicamente se trata de determinar la relación peso/volumen de una muestra con el fin de determinar el espacio que llena el agregado fino (figura 18). A continuación se muestra el desprendimiento del agregado fino en estado saturado superficialmente seco (figura 19). Y en la tabla 27, indica el valor de la absorción en porcentaje del agregado fino.

Figura 18

Incorporación de agregado fino a la fiola



Fuente. Elaboración propia.

Figura 19

Desprendimiento de agregado fino en SSS



Fuente. Elaboración propia.

Tabla 27

Determinación del peso específico y absorción del agregado fino

	Identificación	1	2	promedio
A	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (SSS)	500.00	495.00	
B	Peso Frasco + agua	688.90	688.90	
C	Peso Frasco + agua+ muestra SSS	992.90	989.90	
D	Peso de Mat Seco	489.50	484.60	
	Pe Bulk (base seca) o peso específico de masa = $D/(B+A-C)$	2.50	2.50	2.497
	Pe Bulk (base saturada) o peso específico SSS = $A/(B+A-C)$	2.55	2.55	2.551
	Pe Aparente (Base seca) o peso específico aparente = $D/(B+D-C)$	2.64	2.64	2.639
	% Absorción = $100*((A-D)/D)$	2.1	2.1	2.1

Nota. Fuente: Norma ASTM C128-15.

3.7.2.8 Cálculo del peso específico y absorción de agregado grueso

También denominado densidad relativa, se calcula la densidad media de una determinada cantidad de partículas de agregado sin tener en cuenta la cantidad de espacio. básicamente se trata de determinar la relación peso/volumen de una muestra con el fin de determinar el espacio que llena en una mezcla de concreto estandar (figura 20). Y en la tabla 28, indica el valor de la absorción en porcentaje del agregado grueso.

Figura 20

Ensayo de absorción de agregado grueso



Fuente. Elaboración propia.

Tabla 28

Datos y resultados del ensayo de absorción de agregado grueso

Datos		A	B	
1	Peso de la muestra SSS	2036.4	1657.2	
2	Peso de la muestra SSS sumergida	1249.0	1016.4	
3	Peso de la muestra secada al horno	2001.2	1628.6	
Resultados		1	2	promedio
	Peso específico de masa	2.542	2.542	2.542
	Peso específico de masa	2.586	2.586	2.586
	Peso específico aparente	2.660	2.660	2.660
	Porcentaje de absorción (%)	1.8	1.8	1.8

Nota: Fuente. Certificado ensayo absorción. Anexo 04 Ensayo de agregados.

3.7.2.9 Peso unitario suelto y compacto del agregado fino.

También denominado gravedad específica, Se trata del ensayo para determinar los espacios vacíos entre partículas del agregado grueso en la relación peso/volumen. La figura 21 y las tablas 29 y 30 muestran los ensayos de peso unitario suelto y compacto respectivamente. Para llevar a cabo este ensayo se siguieron las pautas de las normas NTP 400.017 y ASTM C 29.

Figura 21

Ensayo de densidad relativa de agregado fino



Fuente. Elaboración propia.

Tabla 29

Peso unitario suelto del agregado fino

Identificación	1	2	promedio
Peso de molde (g)	8000	8000	
Volumen de molde (cm ³)	3048	3048	
Peso de molde + muestra suelta (g)	12909	12906	
Peso de muestra suelta (g)	4909	4906	
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1.611	1.610	1.610

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 30

Peso unitario compacto del agregado fino

Identificación	1	2	promedio
Peso de molde (g)	8000	8000	
Volumen de molde (cm ³)	3048	3048	
Peso de molde + muestra consolidada (g)	13340	13304	
Peso de muestra suelta (g)	5340	5304	
Peso unitario compacto (kg/m ³)	1.752	1.740	1.746

Fuente. Elaboración propia.

3.7.2.10 Peso unitario suelto y compacto del agregado grueso

También denominado gravedad específica, Se trata del ensayo para determinar los espacios vacíos entre partículas del agregado grueso en la relación peso/volumen. La figura 22 y tablas 31 y 32 muestran el ensayo

de peso unitario suelto y compacto respectivamente. Para llevar a cabo este ensayo se siguieron las pautas de las normas NTP 400.017 y ASTM C 29

Figura 22

Ensayo de densidad relativa de agregado grueso



Fuente. Elaboración propia.

Tabla 31

Peso unitario suelto del agregado grueso

identificación	1	2	promedio
Peso de molde (g)	8000	8000	
Volumen de molde (cm ³)	3048	3048	
Peso de molde + muestra suelta (g)	12071	12003	
Peso de muestra suelta (g)	4071	4003	
Peso unitario suelto (kg/m³)	1.336	1.313	1.324

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 32

Peso unitario compactado del agregado grueso

identificación	1	2	promedio
Peso de molde (g)	8000	8000	
Volumen de molde (cm ³)	3048	3048	
Peso de molde + muestra consolidada (g)	12525	12501	
Peso de muestra suelta (g)	4525	4501	
Peso unitario compacto (kg/m³)	1.485	1.477	1.481

Fuente. Elaboración propia.



3.7.3 Extracción de mucílago de *cactaceae* columnar

Procedimiento:

- Se identificó las plantas *cactaceae* columnar de mayor volumen para que tengan más cantidad de mucílago al momento de la extracción. (ver figura 23.2)
- Luego se realizó pelado y el picado con un cuchillo de cocina para que entre en la maquina extractora la medida de los trozos cúbicos recomiendan que sea de 0.5 -1 Plg. de lado (ver figura 23.3)
- Se puso al equipo extractor todos los trozos con de fin de obtener la parte viscosa (mucílago). (ver figura 23.4)
- Se puso en un recipiente durante 20 min para luego separar el residuo fibroso (bagazo) el mucílago del tallo. (ver figura 23.5)
- Luego se eliminó el residuo fibroso por cernido en una tela fina para finalmente obtener el mucílago de *cactaceae*. (ver figura 23.5)
- Finalmente, de peso en laboratorio para determinar el peso específico del mucílago puro (ver figura 23.5) y se envió muestras al laboratorio de ingeniería química de la UNAP para determinar las características físico-químicas y la viscosidad.

Herramientas y equipos:

- Extractora
- Guantes de cuero
- Machete
- Bolsas.

Figura 23

Extracción y caracterización de mucílago de cactaceae.



1. Lugar de extracción de cactaceae



4. Maquina extractor



2. Cactaceae columnar en su habitad



5. Cernido para obtener el mucílago más puro.



3. Picado para extracción de mucílago de cactaceae



6. Pesado del mucílago de cactaceae para determinar el peso específico

Fuente. Equipo de trabajo.

Para determinar las propiedades del mucílago de *cactaceae*, se realizó de acuerdo a Durán Herrera et al., (2012), primeramente, se retira las espinas junto con la capa exterior verdosa que cubre al cactus, luego se procede con el picado

en forma cúbica de aproximadamente $\frac{1}{2}$ " - 1" de lado para luego extraer el jugo en una máquina extractora y finalmente el tamizado en una tela para obtener el mucílago de *cactaceae* columnar (p. 4).

3.7.4 Caracterización del mucílago de *cactaceae* columnar

Luego se realizan los ensayos de caracterización de mucílago de *cactaceae*, cuyos resultados se detallan a continuación: En la tabla 33, se puede ver los parámetros físico químicos del MCC, donde el contenido más resaltante es el óxido de Calcio (Cao) 8.24% el cual de acuerdo a Martínez (2018 p. 75), al añadirle a una mezcla de concreto podría formar mallas tridimensionales de hidróxido de calcio y mejorar las propiedades, como se ve en la figura 1. En la tabla 34 se puede apreciar la densidad del mucílago de *cactaceae*, lo que puede interpretarse que tiene una densidad similar a la del agua y no podría influir en el peso del concreto. Por último, en la tabla 35 se puede ver los resultados del ensayo de viscosidad, el cual puede influir en la consistencia homogeneidad del concreto fresco.

Tabla 33

Caracterización de mucílago de cactaceae

Parámetros Físico Químicos	Resultado		Método de Análisis
	PPM	%	
Potencial de Hidrógeno PH	4.29		Electrométrico
Calcio (Cao)	82.41	8.24%	ASTM C25-96
Hierro (Fe ₂ O ₃)	0.91	0.000091	Volumétrico
Iones de Magnesio	53.01	0.0053	Volumétrico
Iones de Cloruro	631.9	0.0631	Volumétrico
Iones de Sulfatos	154.8	0.0154	Espectrofotometría

Nota. Ver Anexo 03 Caracterización del mucílago de *cactaceae*, certificado de análisis emitido por el laboratorio de Ingeniería Química UNAP

a) Densidad**Tabla 34***Densidad del mucílago de cactaceae columnar*

Descripción	Und	Densidad
Gravedad específica de MCC	gr/cm ³	1.01
T° del agua destilada en el transcurso de la prueba	°C	18.5
Factor de temperatura (k)	-	1.0003
Gravedad específica de sólidos corregido por T°	gr/cm ³	1.011

Nota. Ver Anexo 03 Caracterización del Mucílago de *cactaceae*, Certificado de análisis emitido por el Laboratorio de Ingeniería Química UNAP

b) Viscosidad**Tabla 35***Viscosidad del mucílago de cactaceae columnar*

Viscosidad (Cp)	Velocidad (RPM)	% Par (%)	Esf.Cortante (D/cm ²)	G. Velocidad (1/seg)
49	7	5	4	8
25	25	9	7	30
20	42	13	10	52
17	60	16	13	74
16	78	20	15	95
16	96	24	19	117
16	114	28	22	139
15	131	31	24	161
15	149	36	28	183
15	167	39	31	204

Nota. Ver Anexo 03 Caracterización del mucílago de *cactaceae*, certificado de análisis emitido por el laboratorio de Ingeniería Química UNAP.

3.7.5 Diseño de mezclas del concreto ACI 211.1

Se realizó de conforme a la norma internacional ACI 211.1 siguiendo los pasos para una resistencia requerida $f'c=280$ kg/cm², (Ver tabla 10, pág. 76) valores recomendados de resistencia del concreto según tráfico. la cantidad de material a usar se determinó para 36 muestras cilíndricas para el ensayo de resistencia a la compresión, 12 muestras prismáticas para ensayo de resistencia a flexión y 12 muestras cilíndricas para ensayo de permeabilidad. (Ver Anexo N° 05)

El diseño de mezcla se inicia seleccionando la cuantía de materiales, para luego elaborar los testigos de concreto, se definen la relación agua-cemento, asentamiento y finalmente se determina las cantidades en proporciones de volumen y peso de todos los materiales: agregados, cemento, agua, y aditivo mucílago de *cactaceae* columnar.

Materiales:

- Cemento rumi tipo IP
- Agregado grueso tiene un tamaño máximo nominal (TMN)
- Agregado fino (MF) de 3.5 cantera Jeservi
- Aditivo mucílago de cactus columnar
- Agua

3.7.6 Materiales para la muestra patrón + 0% de MCC

La cuantificación para materiales se dio para una tanda de prueba mínima de 0.105 M3 Ver anexo 03.

a) *Parámetros de diseño de mezcla*

En la tabla 36 se puede visualizar los datos utilizados para el diseño de mezcla de la muestra patrón.

Tabla 36

Valores del diseño de mezcla (muestra patrón + 0% de MCC.)

$f^{\circ}c$ kg/cm ²	a/c	Slump pulg
280	0.45	3 - 4

Fuente. Elaboración propia.

b) Cuantificación de materiales (concreto estándar + 0% de MCC)

En la tabla 37 podemos apreciar la cantidad de materiales para preparar la mezcla de concreto de la muestra patrón.

Tabla 37*Cuantificación de materiales (concreto estándar + 0% de MCC)*

Dosificación en peso C:AF:AG: Agua: MC	Cantidad de Materiales			
	Cemento (kg)	Agregado fino (kg)	Agregado grueso (kg)	Agua (L)
1:1.7:2.5:14.8:0	44.696	82.916	97.208	15.549

Fuente. Elaboración propia.

3.7.7 Materiales para la muestra patrón + 1% de MCC

La cuantificación para materiales se dio para una tanda de prueba mínima de 0.105 M3 Ver anexo 03.

a) Parámetros de diseño de mezcla

En la tabla 38 se puede ver los datos utilizados para el diseño de mezcla de la muestra patrón + 1% de mucílago de *cactaceae* columnar.

Tabla 38*Valores del diseño de mezcla (muestra patrón + 1% de MCC)*

$f'c$ kg/cm ²	a/c	Slump Pulg
280	0.45	3 - 4

Fuente. Elaboración propia.

b) Cuantificación de materiales (concreto estándar + 1% de MCC)

En la tabla 39 podemos apreciar la cantidad de materiales para preparar la mezcla de concreto de la muestra patrón+ 1% de mucílago de *cactaceae* columnar.

Tabla 39*Cuantificación de materiales (concreto estándar + 1% de MCC)*

Dosificación en Peso C:AF:AG: Agua: MC	Cantidad de Materiales				Mucílago de <i>cactaceae</i> (kg)
	Cemento (kg)	Agregado fino (kg)	Agregado grueso (kg)	Agua (L)	
1: 1.8: 2.3: 14.8L: 0.425 kg	44.696	87.741	91.202	15.521	0.447

Elaboración propia.

3.7.8 Materiales para la muestra patrón + 2% de MCC

La cuantificación para materiales se dio para una tanda de prueba mínima de 0.105 M3 Ver anexo 03.

a) Parámetros de diseño de mezcla

En la tabla 40 podemos ver los datos utilizados para el diseño de mezcla de la muestra patrón + 1% de mucílago de *cactaceae* columnar

Tabla 40*Valores de diseño de mezcla (muestra patrón + 2% de MCC)*

F'c kg/cm ²	a/c	Slump Pulg
280	0.45	3 - 4

Fuente. Elaboración propia.

b) Cuantificación de materiales (concreto estándar + 2% de MCC)

En la tabla 41 podemos apreciar la cantidad de materiales para preparar la mezcla de concreto de la muestra patrón+ 2% de mucílago de *cactaceae* columnar.

Tabla 41*Cuantificación de materiales (concreto estándar + 2% de MCC)*

Dosificación en Peso C:AF:AG: Agua: MC	Cantidad de Materiales				Mucílago de <i>cactaceae</i> (kg)
	Cemento (kg)	Agregado fino (kg)	Agregado grueso (kg)	Agua (L)	
1: 1.8: 2.3: 14.8L: 0.850 kg	44.696	87.158	90.596	15.552	0.894

Fuente. Elaboración propia.

3.7.9 Materiales para la muestra patrón + 3% de MCC

a) *Valores del diseño de mezcla*

En la tabla 42 podemos ver los valores de los datos utilizados para el diseño de mezcla de la muestra patrón + 3% de mucílago de *cactaceae* columnar

Tabla 42

Parámetros de diseño de mezcla (muestra patrón + 3% de MCC)

F'c kg/cm ²	a/c	Slump Pulg
280	0.45	3 - 4

Fuente. Elaboración propia.

b) *Cuantificación de materiales (concreto estándar + 3% de MCC)*

En la tabla 43 podemos apreciar la cantidad de materiales para preparar la mezcla de concreto de la muestra patrón+ 3% de mucílago de *cactaceae* columnar.

Tabla 43

Cantidad de materiales (concreto estándar + 3% de MCC)

Dosificación en peso C:AF:AG: Agua: MC	Cantidad de Materiales				
	Cemento (kg)	Agregado fino (kg)	Agregado grueso (kg)	Agua (L)	Mucílago de <i>cactaceae</i> (kg)
1: 1.8: 2.3: 14.8L: 1.275 kg	44.696	89.99	89.575	15.552	1.341

Fuente. Elaboración propia.

3.7.10 Ensayos de control de concreto en estado fresco Ver el anexo 06

En la figura 24.5 se muestra el ensayo de asentamiento de concreto fresco.

Figura 24

Elaboración de testigos cilíndricos y prismáticos



1. Pesado de cemento



4. MCC natural a la mezcla



2. Pesado de mucílago de cactaceae



5. Slump patrón+1% MCC



3. Pesado de agregado grueso



6. Slump patrón+2% MCC

3.7.11 Prueba de resistencia a la compresión

La prueba se efectuó de acuerdo con la normativa ASTM - C39/C39M – 20, se utilizó los siguientes Equipos.

Equipos:

- Prensa de rotura de briqueta

Procedimiento:

- Colocar la muestra cilíndrica en la prensa hidráulica.
- Comprobar el indicador de carga que debe estar en cero.
- En el momento que el espécimen llegue al punto de falla, se anota la carga final y el tipo de rotura.

El número de muestras para ensayo de Resistencia a compresión del concreto sin aditivos y adicionados con mucílago de *cactaceae* fue de 36 especímenes cilíndricos de medidas aproximadas de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura. tal como se muestra en la tabla 44.

Tabla 44

Cantidad de muestras cilíndricas elaboradas para resistencia a compresión

% de Mucílago de <i>cactaceae</i>	Cantidad de especímenes		
	Resistencia a la compresión f ^c		
	7 días	14 días	28 días
0%	3	3	3
1%	3	3	3
2%	3	3	3
3%	3	3	3
Total	12	12	12

Fuente. Elaboración propia.

Figura 25

Ensayo de resistencia a la compresión norma ASTM - C39/C39M - 20



1. Muestras para ensayo a compresión



3. Ensayo de resistencia a compresión.



2. Prensa para ensayo a compresión.



4. Verificación de tipo de rotura según la norma ASTM C39.

Fuente. Elaboración propia.

Procedimientos:

- Las muestras se rompen a los 7, 14 y 28 días.
- Se miden las dimensiones de la muestra.
- Se inspecciona las placas que deben estar limpias y que la muestra este centrada perfectamente entre estas, antes de la aplicación de la carga.
- Seguidamente se aplica un esfuerzo continuo para evitar fallas tempranas
- Registrar el esfuerzo máximo P alcanzado por la muestra.

La figura 25 muestra imágenes del ensayo de resistencia a la compresión donde se puede verificar el tipo de rotura en el espécimen (figura 25.4).

3.7.12 Prueba de resistencia a la flexión norma ASTM C 3

La tabla 45 muestra el número de testigos para la prueba de resistencia a la flexión.

Tabla 45

Número de muestras prismáticas para la prueba de resistencia a flexión.

% de Mucílago de <i>cactaceae</i>	Cantidad de Muestras Resistencia a la Flexión Mr	
	28 días	
0%	3	
1%	3	
2%	3	
3%	3	
Total	12	

Fuente. Elaboración propia.

Figura 26

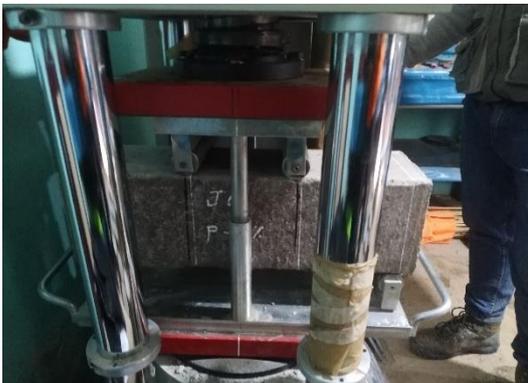
Prueba de resistencia a la flexión ASTM C-78



1. Marcado de punto de apoyo donde se aplicarán las cargas en flexión de vigas



3. Rotura por flexión de muestra prismática de concreto



2. Colocado de muestras a la prensa



4. Verificación de rotura en tercio central de viga prismática

Fuente. Elaboración propia

La figura 26 muestra imágenes del ensayo de resistencia a la flexión donde se puede verificar la rotura en el tercio central de la viga prismática (figura 25.4).

Procedimiento:

- La probeta prismática se coloca sobre una placa metálica con varillas, que a su vez tiene dos varillas en el tercio central, como se puede apreciar en la figura 3.
- La carga a aplicar antes de la prueba debe ser cero.
- Deberá tenerse una velocidad de carga constante de 0.90 MPa/min. Hasta llegar a la rotura.
- Se registró la carga en el punto de fractura.
- Comprobar y registrar la posición de la ranura del quiebre, que se relaciona con la resistencia a la flexión calculada según el punto 8 de las normas NTP 339.078 y la ASTM C78.

3.7.13 Ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión

Norma: UNE - EN 12390 - 8

- Los testigos elaborados fueron cilíndricos de 6"x12"
- Luego del desencofrado los testigos fueron curados en agua a temperatura ambiente durante 28 días.
- Se realizó el desbaste para quitar la capa superficial para facilitar la penetración del agua de acuerdo con la norma UNE-EN 1390 - 8.
- Se colocó las muestras en el equipo de ensayo con empaques de neopreno para evitar filtraciones al exterior y mantener la presión de acuerdo a la norma española de 500 ± 50 Kpa durante 72 ± 2 h.

- Se observó periódicamente la presión del manómetro con el fin de mantener la presión constante. Si es que hubiere aparición de filtraciones se tendría que reconsiderar el resultado. En nuestro caso no hubo filtraciones que comprometieran a la validez del resultado.
- Luego de la aplicación de presión durante el tiempo indicado, se retira la muestra y se limpia la superficie para realizar la rotura.
- Los testigos se parten a la mitad en sentido perpendicular a la aplicación de carga de agua, donde se nota claramente la penetración del agua
- Se mide la profundidad de penetración de agua bajo presión máximo y medio el cual se redondea al mm más próximo.

Figura 27

Prueba de profundidad penetración de agua bajo presión



1. Ensayo de profundidad penetración de agua bajo presión.



2. Equipo para ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión.

Fuente. Elaboración propia.

La figura 27 muestra imágenes profundidad penetración de agua bajo presión, donde se puede verificar la carga de presión de agua en la muestra cilíndrica.

3.8 DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO RÍGIDO

3.8.1 Obtención del ESAL

Para calcular el ESAL, se utilizó los datos obtenidos de Canahui (2021) donde determina un ESAL de diseño en 1'143,333.641 EE. (p.108), tal como se describe en la figura 10 pág. 79, de este documento.

Ecuación 9. Ecuación fundamental AASHTO

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_0 + 7.35 \log_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(d+25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_t) \times \log_{10}\left(\frac{M_r C_{dx}(0.09D^{0.75}-1.132)}{1.51XJ\left(0.09D^{0.75}-\frac{7.38}{(E_c/k)^{0.25}}\right)}\right) \quad (9)$$

Donde:

- Cargas de tráfico vehicular impuestos al pavimento, ESAL (W18)= 1,143 334
- CBR de la subrasante (%), CBR=7.2%
- Resistencia al concreto (kg/cm²), F'c=285.26, 288.57, 293.08 y 296.05
- Módulo elástico del concreto (PSI) Ec = 3,597,112.7 97
- Resistencia del concreto flexión a los (kg/cm²), Mr=42.91, 43.57, 44.19 y 44.89
- Módulo de reacción de la subrasante (Mpa/m), Ko=47.00
- CBR mínimo de la Sub base (%), CBR (subB.)=40%
- CBR mínimo de la Sub base definido (%), CBR.def.=50%
- Módulo de reacción de la Sub base granular, (Mpa/m)K1(subB.)=140.00
- Espesor de la Sub base granular (cm), H = 40
- Coeficiente de reacción combinado (mpa), Kc = 85.30
- Tipo de tráfico, tipo=TP5

- Índice de serviciabilidad inicial según Rango de tráfico, $P_i = 4.3$
- Índice de serviciabilidad final según Rango de tráfico, $P_{to} = 2.5$
- Diferencia de serviciabilidad según Rango de tráfico, $\Delta PSI = 1.8$
- Desviación estándar combinado, $S_o = 0.35$
- Nivel de confiabilidad, $Conf. = 85\%$
- Coeficiente estadístico de desviación estándar normal, $Z_r = -1.036$
- Condiciones de drenaje, $C_d = 1.0$
- Coeficiente de transmisión de carga en juntas, $J = 3.8$
- Considerando un concreto hidráulico son pasadores

La tabla 46 muestra los resultados del cálculo del espesor de pavimento realizado con el método AASHTO 93. las hojas de cálculo de encuentran en el ANEXO 10.

Tabla 46

Resultados de espesor de pavimento calculado por método AASHTO 93

% de Mucílago de cactácea	Espesor de pavimento calculado	Variación
	cm	cm
0%	18.95	
1%	18.76	-0.19
2%	18.61	-0.34
3%	18.41	-0.54

Fuente. Elaboración propia. ver anexo 10 para ver hoja de calculo

3.8.2 Análisis de costos de concreto patrón y modificado con MCC

El Análisis de costo unitario de concreto para pavimentos rígidos se pueden visualizar en el Anexo 13, los mismos que se realizaron tomando en cuenta el diseño de mezclas para un concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ (Anexo 05). y CAPECO. En la tabla 47 se muestra el costo unitario estimado para la extracción y

procesamiento del mucílago de *cactaceae*, con base en la ejecución de esta investigación.

Tabla 47

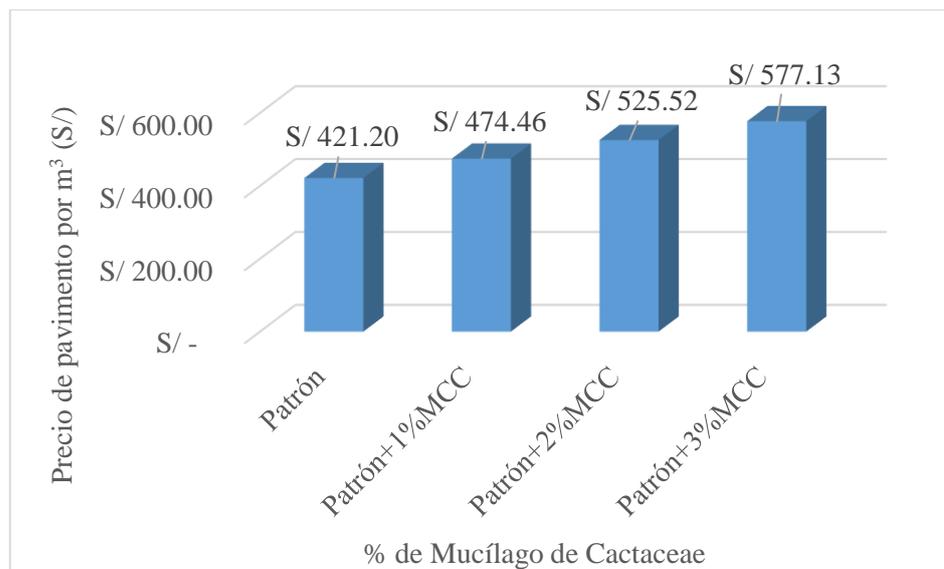
Determinación del costo de losa por metro cúbico de concreto

Muestra	Precio/m ³ (S/)	Precio/m ² (S/)
Patrón (P)	S/ 421.20	
P+1%MCC	S/ 474.46	S/ 53.26
P+2%MCC	S/ 525.52	S/ 104.32
P+3%MCC	S/ 577.13	S/ 155.93

Fuente. Elaboración propia.

Figura 28

Costo de losa por metro cúbico de concreto $f'c=280$ kg/cm²



Fuente. Elaboración propia.

La figura 28 muestra los costos unitarios en soles (S/), por metro cúbico de pavimento rígido de concreto 280 kg/cm², para el concreto patrón, el aumento del precio por cada adición de mucílago de *cactaceae*.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS

4.1.1 Resultado del ensayo de resistencia a la compresión del concreto

Norma ASTM C 39. Ver certificados de laboratorio en el Anexo 07

Tabla 48

Resultados resistencia a la compresión $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ a la edad de 7 días

Elemento	Diámetro	Altura	Área	Tipo de Falla	Fuerza Máxima	Esfuerzo	Esfuerzo (medio)
	\emptyset	H					
	mm	mm	mm^2		kN	kg/cm^2	kg/cm^2
P+0% MCC	152.5	305.0	18265.4	5	382.78	213.70	
P+0% MCC	152.4	307.0	18241.5	5	377.47	211.01	212.59
P+0% MCC	152.5	305.0	18265.4	5	381.62	213.05	
P+1% MCC	152.4	305.0	18241.5	5	381.42	213.22	
P+1% MCC	152.3	305.0	18217.5	5	386.78	216.50	214.86
P+1% MCC	152.4	305.0	18241.5	5	384.38	214.87	
P+2% MCC	152.4	308.0	18241.5	3	386.98	216.33	
P+2% MCC	152.6	310.0	18289.4	5	386.79	215.65	216.18
P+2% MCC	152.4	308.0	18241.5	5	387.38	216.55	
P+3% MCC	152.5	308.0	18265.4	3	394.56	220.27	
P+3% MCC	152.6	308.5	18289.4	5	396.69	221.17	219.43
P+3% MCC	152.4	308.0	18241.5	3	387.93	216.86	

Fuente. Datos pertenecen a las pruebas de laboratorio (ver Anexo 06).

Tabla 49

Resultados resistencia a la compresión $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ a los 14 días

Elemento	Diámetro	Altura	Área	Tipo de Falla	Fuerza Máxima	Esfuerzo	Esfuerzo (medio)
	\emptyset	H					
	mm	mm	mm^2		kN	kg/cm^2	kg/cm^2
P+0% MCC	152.5	308.0	18265.4	5	458.16	255.78	
P+0% MCC	152.5	307.5	18265.4	5	455.30	254.18	255.74
P+0% MCC	152.5	305.0	18265.4	5	460.82	257.27	
P+1% MCC	152.5	306.5	18265.4	5	461.32	257.55	257.40



Elemento	Diámetro Ø	Altura H	Área	Tipo de Falla	Fuerza Máxima	Esfuerzo	Esfuerzo (medio)
	mm	mm	mm ²		kN	kg/cm ²	kg/cm ²
P+1% MCC	152.0	307.5	18265.8	5	457.30	256.98	
P+1% MCC	152.3	307.5	18217.5	5	460.36	257.68	
P+2% MCC	152.5	308.0	18265.4	5	464.63	259.39	
P+2% MCC	152.5	307.5	18265.4	5	462.07	257.96	259.31
P+2% MCC	152.5	306.5	18265.4	5	466.73	260.57	
P+3% MCC	153.5	308.0	18505.7	5	472.47	260.34	
P+3% MCC	152.8	308.5	18337.4	5	468.98	260.79	260.90
P+3% MCC	152.6	308.5	18289.4	5	469.15	261.57	

Fuente. Datos pertenecen a las pruebas de laboratorio (ver Anexo 06).

Tabla 50

Resultados resistencia a la compresión $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días

Elemento	Diámetro Ø	Altura H	Área	Tipo de Falla	Fuerza Máxima	Esfuerzo	Esfuerzo (medio)
	mm	mm	mm ²		kN	kg/cm ²	kg/cm ²
P+0% MCC	152.6	308.0	18289.4	5	514.00	286.58	
P+0% MCC	153.7	308.1	18554.0	5	517.31	284.31	285.26
P+0% MCC	152.4	305.0	18241.5	5	509.65	284.90	
P+1% MCC	152.2	298.7	18193.6	5	515.61	288.99	
P+1% MCC	151.7	305.0	18074.3	5	510.09	287.78	288.57
P+1% MCC	152.4	305.0	18241.5	5	516.86	288.93	
P+2% MCC	151.1	308.5	17931.6	5	516.94	293.97	
P+2% MCC	152.6	308.5	18289.4	3	524.10	292.21	293.08
P+2% MCC	152.5	308.0	18265.4	3	524.96	293.07	
P+3% MCC	152.0	302.0	18145.8	5	525.41	295.26	
P+3% MCC	152.6	305.0	18289.4	5	532.23	296.74	296.05
P+3% MCC	152.4	308.0	18241.5	5	529.78	296.15	

Fuente. Datos pertenecen a las pruebas de laboratorio (ver Anexo 06).

Tabla 51

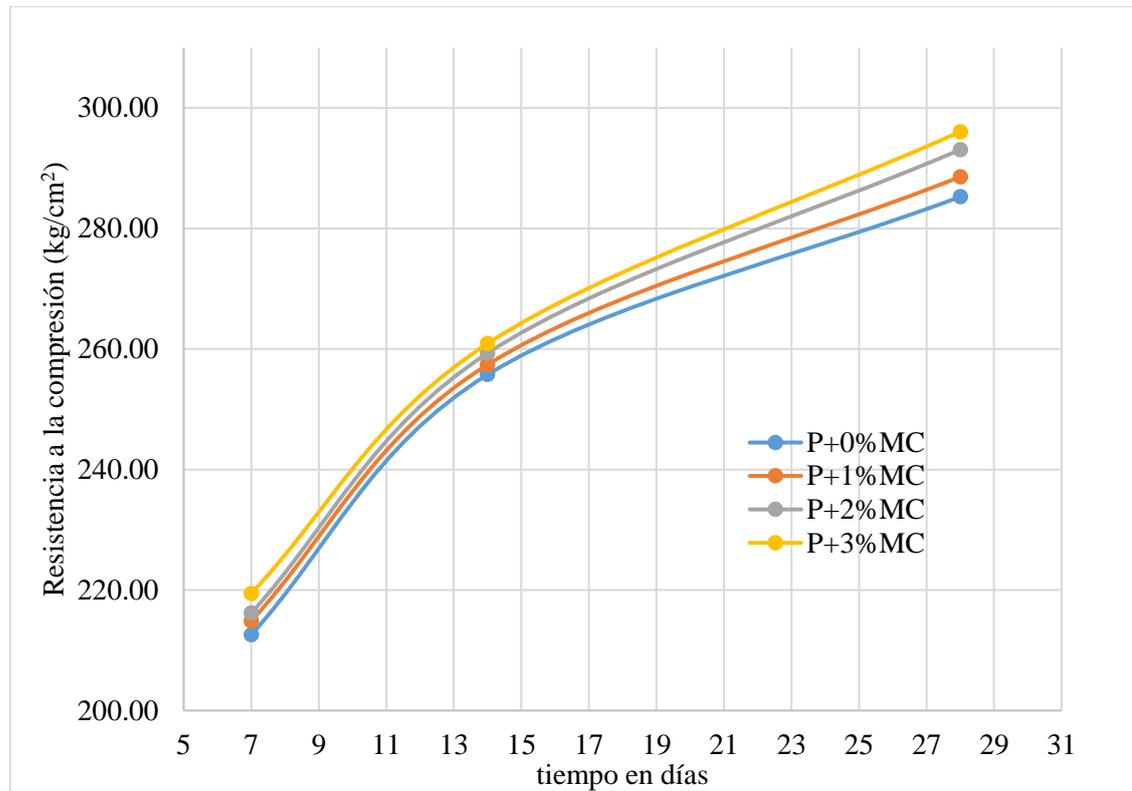
Resumen de resultados resistencia a la compresión $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$

% de mucílago de <i>cactaceae</i> columnar	$f'c$ kg/cm ²	Esfuerzo (medio)			Incremento
		kg/cm ²			%
		7	14	28	
0%	280	212.59	255.74	285.26	
1%	280	214.86	257.40	288.57	1.16%
2%	280	216.18	259.31	293.08	2.74%
3%	280	219.43	260.90	296.05	3.78%

Fuente. Se realiza en base a las tablas 48, 49 y 50.

Figura 29

Comparación de resultados del ensayo de resistencia a compresión.

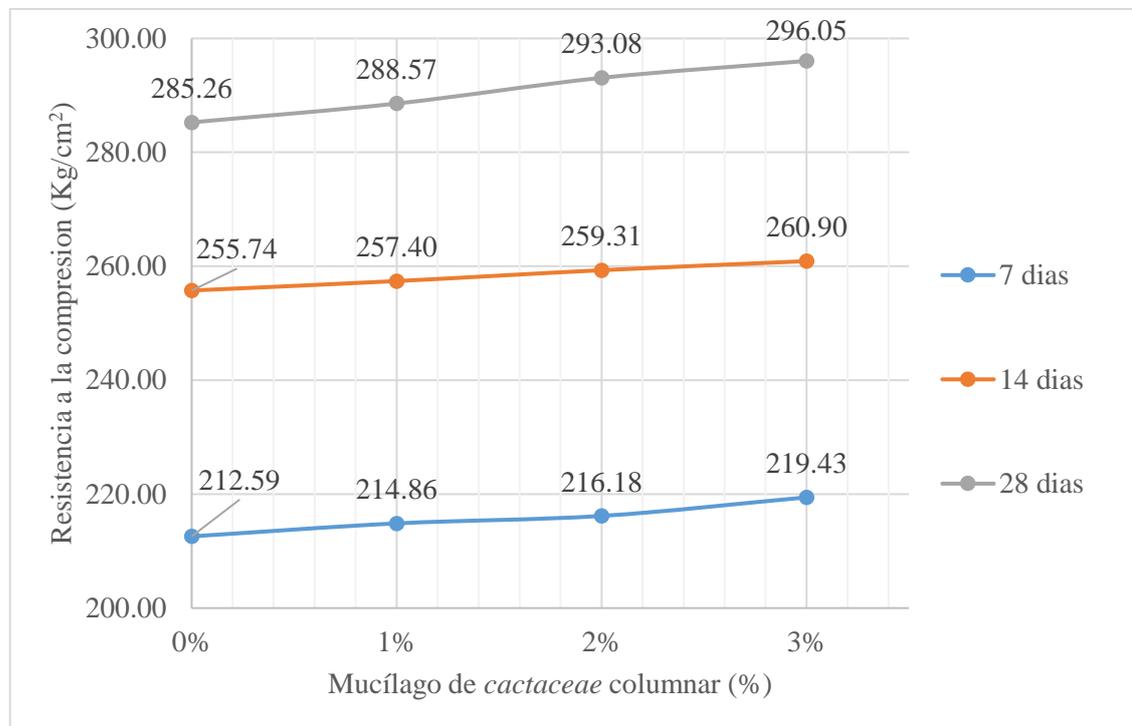


Fuente. Elaboración propia.

Nota: Verificación de la resistencia para la edad de 7 días, 14 días y 28 días para los distintos porcentajes de adición en la muestra patrón (P) de mucílago de *cactaceae* columnar.

Figura 30

Resultados de resistencia a la compresión a los 07, 14 y 28 días



Fuente. Elaboración propia.

La resistencia a la compresión ($f'c$) alcanzada con la incorporación del 1% en peso del cemento de MCC a los 28 días fue de 288.57 kg/cm², que es 101.16 % en comparación con el concreto patrón (285.26 kg/cm²). Incrementando su resistencia en 1.16%. (tabla 51).

La resistencia a la compresión ($f'c$) alcanzada con la incorporación del 2% en peso del cemento de MCC a los 28 días fue de 293.08 kg/cm², que es 102.74 % en comparación con el concreto patrón (285.26 kg/cm²). Incrementando su resistencia en 2.74%. (tabla 50).

La resistencia a la compresión ($f'c$) alcanzada con la incorporación del 3% en peso del cemento de MCC a los 28 días fue de 296.05 kg/cm², que es 103.78 % en comparación con el concreto patrón (285.26 kg/cm²). Incrementando su

resistencia en 3.78%, podríamos proponer como cantidad optima, puesto que es la resistencia máxima alcanzada en nuestro grupo de estudio. (tabla 50).

4.1.2 Resultado del ensayo de resistencia a la flexión

ASTM C78/C78M-21 Ver certificados de laboratorio en el anexo 08.

Tabla 52

Resultados resistencia a la flexión $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ a la edad de 28 días

Elemento	Ancho	Altura	Longitud	Ubicación de falla (Tercio)	Fuerza máxima	Módulo de rotura	
	A	H	L		kN	kg/cm ²	kg/cm ²
	mm	mm	mm ²				
P+0% MCC	150.0	150.0	450	central	31616.77	42.99	
P+0% MCC	150.0	150.0	450	central	31502.47	42.83	42.91
P+0% MCC	150.0	150.0	450	central	31554.99	42.90	
P+1% MCC	150.0	150.0	450	central	32120.29	43.67	
P+1% MCC	150.0	150.0	450	central	31956.57	43.45	43.60
P+1% MCC	150.0	150.0	450	central	32120.29	43.61	
P+2% MCC	150.0	150.0	450	central	32577.47	44.68	
P+2% MCC	150.0	150.0	450	central	32401.39	44.55	44.19
P+2% MCC	150.0	150.0	450	central	32534.23	44.63	
P+3% MCC	150.0	150.0	450	central	33047.01	44.93	
P+3% MCC	150.0	150.0	450	central	32975.96	44.84	44.89
P+3% MCC	150.0	150.0	450	central	33025.39	44.90	

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 53

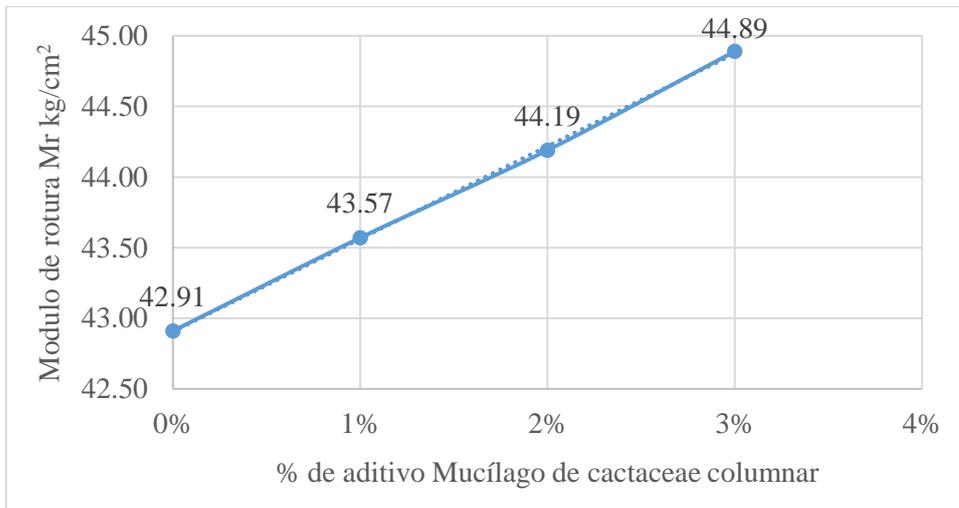
Resumen de resultados resistencia a flexión

% de mucílago de cactaceae columnar	Mr.	Módulo de rotura (promedio)	Incremento
		kg/cm ²	
	kg/cm ²	28	
0%	42	42.91	
1%	42	43.57	1.54%
2%	42	44.19	2.98%
3%	42	44.89	4.61%

Fuente. Se realiza en base a la tabla 52.

Figura 31

Resultado de resistencia a la flexión a la edad de 28 días



Fuente. Elaboración propia.

La resistencia a la flexión (M_r) alcanzada con la inclusión del 1% en peso del cemento de MCC a los 28 días fue de 43.57 kg/cm², que es el 101.54 % en comparación con el concreto patrón (42.91 kg/cm²). Incrementando su resistencia en 1.54%. (tabla 53 y figura 31).

La resistencia a la flexión (M_r) alcanzada con la inclusión del 2% en peso del cemento de MCC a los 28 días fue de 44.19 kg/cm², que es el 102.98 % en comparación con el concreto patrón (42.91 kg/cm²). Incrementando su resistencia en 2.98%. (tabla 53 y figura 31).

La resistencia a la flexión (M_r) alcanzada con la inclusión del 3% en peso del cemento de MCC a los 28 días fue de 44.89 kg/cm², que es el 104.61 % en comparación con el concreto patrón (42.91 kg/cm²). Incrementando su resistencia en 4.61%. (tabla 53 y figura 30). podríamos proponer como cantidad optima, puesto que es la resistencia máxima alcanzada en nuestro grupo de estudio.

4.1.3 Resultado del ensayo de asentamiento del concreto

Ver anexo 06. Para ver los certificados de laboratorio.

Tabla 54

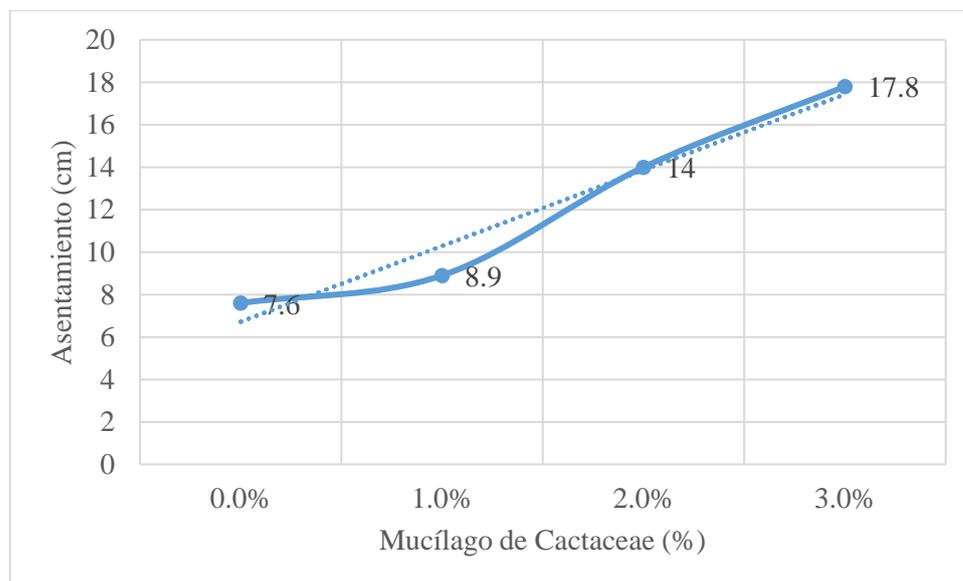
Datos del ensayo de asentamiento del concreto

Muestra	Fecha de moldeo	Mediciones tomadas			Asentamiento con cono de abrahams		
					promedio		variacion
		1°	2°	3°	cm	(")	%
Patron (P)	27/04/2022	8.50	7.30	7.00	7.60	3.0	
P+1%MCC	27/04/2022	9.40	9.20	8.10	8.90	3.5	17%
P+2%MCC	27/04/2022	15.00	14.50	12.50	14.00	5.5	84%
P+3%MCC	27/04/2022	18.40	17.70	17.30	17.80	7.0	134%

Fuente. Elaboración propia.

Figura 32

Resultado del ensayo de asentamiento del concreto



Fuente. Elaboración propia.

La trabajabilidad alcanzada con la adición del 1% en peso del cemento de MCC fue de 8.90 cm, que es el 117.00 % en comparación con el concreto patrón (7.6 cm). Incrementando su trabajabilidad en 17.00 %. (tabla 54 y figura 32).

La trabajabilidad alcanzada con la adición del 2% en peso del cemento de MCC fue de 14.00 cm, que es el 184.00 % en comparación con el concreto patrón (7.6 cm). Incrementando su trabajabilidad en 84.00 %. (tabla 54 y figura 32).

La trabajabilidad alcanzada con la adición del 3% en peso del cemento de MCC fue de 17.80 cm, que es el 234.00 % en comparación con el concreto patrón (7.6 cm). Incrementando su trabajabilidad en 134.00 %. (tabla 54 y figura 32). podríamos proponer como cantidad optima, puesto que es la trabajabilidad máxima alcanzada en nuestro grupo de estudio.

4.1.4 Resultado del ensayo de permeabilidad.

Tabla 55

Resultados del ensayo de permeabilidad del concreto

N°	Probeta	Datos del ensayo				Resultados	
		Altura H	Diámetro Ø	Masa seca	Masa final	Profundidad de penetración media	Profundidad de penetración máxima
		(cm)	(cm)	(kg)	(kg)	(mm)	(mm)
1	P+0%MCC	30.08	15.22	11.612	11.745	40.30	80.60
2	P+0%MCC	30.04	15.17	11.416	11.537	40.10	80.20
3	P+0%MCC	30.10	15.24	11.540	11.675	39.80	79.60
4	P+1%MCC	30.02	15.09	11.270	11.384	29.45	58.90
5	P+1%MCC	30.13	15.09	11.316	11.412	30.15	60.30
6	P+1%MCC	30.12	15.12	11.346	11.451	30.05	60.10
7	P+2%MCC	30.26	15.20	11.256	11.337	25.85	51.70
8	P+2%MCC	30.05	15.17	11.106	11.220	28.20	56.40
9	P+2%MCC	30.08	15.21	11.190	11.274	33.10	66.20
10	P+3%MCC	30.11	15.21	11.031	11.129	29.80	59.60
11	P+3%MCC	30.11	15.21	11.088	11.189	26.05	52.10
12	P+3%MCC	30.13	15.06	11.024	11.138	27.10	54.20

Fuente. Ensayo de penetración de agua bajo presión

Tabla 56

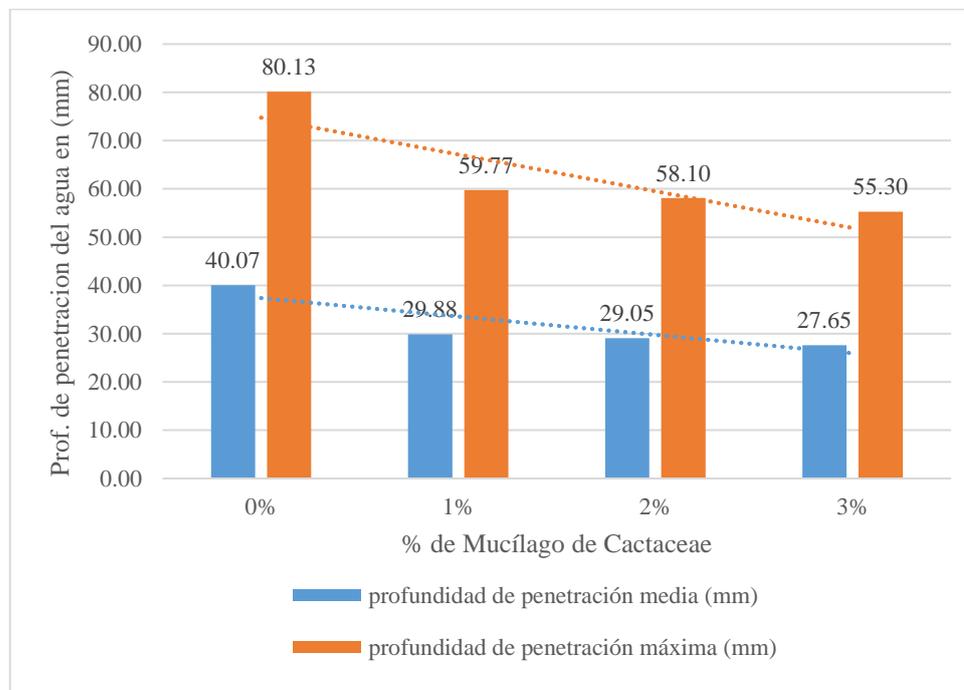
Resumen de resultados del ensayo de permeabilidad del concreto

% de mucílago de cactaceae	profundidad de penetración media (mm)	profundidad de penetración máxima (mm)	% de reducción
	Edad=28 días		
0%	40.07	80.13	0.00%
1%	29.88	59.77	-25.42%
2%	29.05	58.10	-27.50%
3%	27.65	55.30	-30.99%

Fuente. Se realiza en base a las tablas 55.

Figura 33

Resultados de ensayo de permeabilidad de concreto a los 28 días.



Fuente. Elaboración propia.

La permeabilidad con la adición del 1% en peso del cemento de MCC a los 28 días fue de 29.88 mm, que es el 74.58 % en comparación con el concreto patrón (40.07 mm). Disminuyendo la permeabilidad en 25.42 %. (tabla 56 y figura 33).

La permeabilidad con la adición del 2% en peso del cemento de MCC a los 28 días fue de 29.05, que es el 72.50 % en comparación con el concreto patrón (40.07 mm). Disminuyendo la permeabilidad en 27.50 %. (tabla 56 y figura 33).

La permeabilidad con la adición del 3% en peso del cemento de MCC a los 28 días fue de 30.99 cm/s, que es el 69.01 % en comparación con el concreto patrón (40.07 mm). Disminuyendo la permeabilidad en 30.99 %. (tabla 56 y figura 33).

4.1.5 Resultados de pavimento rígido

Tabla 57

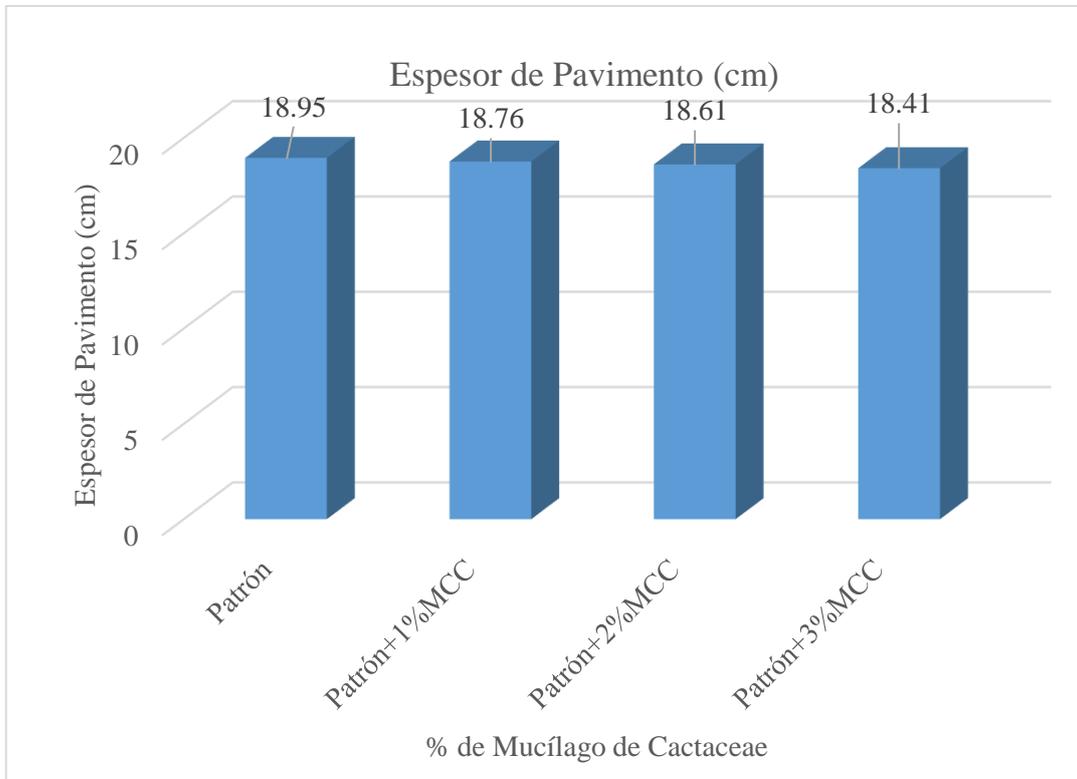
Tabla de resultados de propiedades mecánicas y espesor de pavimento

% de Mucílago de Cactácea	Resistencia a la Compresión $f'c$	Resistencia a la Flexión M_r	Espesor de Pavimento	Espesor de Pavimento	Variación
	kg/cm ²	kg/cm ²	mm	cm	cm
0%	285.26	42.91	189.53	18.95	
1%	288.57	43.57	187.64	18.76	-0.19
2%	293.08	44.19	186.09	18.61	-0.34
3%	292.82	44.89	184.10	18.41	-0.54

Fuente. Elaboración propia.

Figura 34

Resultado del espesor de pavimento



Fuente. Elaboración propia.

Tabla 58

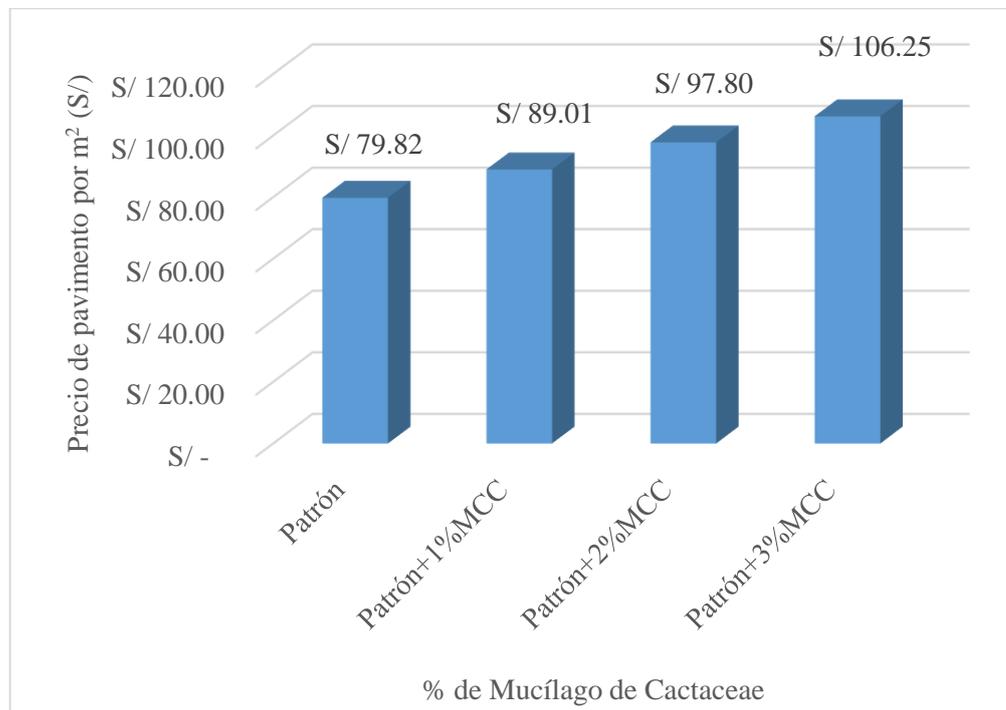
Determinación del costo de losa por metro cuadrado

Descripción muestra	Precio /m ³ (S/)	Espesor de pavimento (cm)	Espesor de pavimento (m)	Precio/m ² (S/)
Patrón	421.20	18.95	0.1895	79.82
Patrón+1%MCC	474.46	18.76	0.1876	89.01
Patrón+2%MCC	525.52	18.61	0.1861	97.80
Patrón+3%MCC	577.13	18.41	0.1841	106.25

Fuente. Elaboración propia.

Figura 35

Costo por metro cuadrado de losa de pavimento $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$



Fuente. Elaboración propia.

El espesor de pavimento calculado con la metodología AASHTO 93, con la adición del 1% en peso del cemento de MCC fue de 18.61 cm, que es el 99.00 % en comparación con el concreto patrón (18.95 cm). Reduciendo el espesor de pavimento en 1.00 %. (tabla 57 y figura 34). Con respecto a los costos de pavimento por metro cuadrado, la adición del 1% de MCC representa un costo de S/.89.01, que es un 111.51% en comparación con el costo del concreto patrón (S/.79.82). Incrementando los costos en un 11.51%. (tabla 58 y figura 35).

El espesor de pavimento calculado con la metodología AASHTO 93, con la adición del 2% en peso del cemento de MCC fue de 18.76 cm, que es el 98.21 % en comparación con el concreto patrón (18.95 cm). Reduciendo el espesor de pavimento en 1.79 %. (tabla 57 y figura 34). Con respecto a los costos de pavimento por metro cuadrado, la adición del 2% de MCC representa un costo de



S/.97.80, que es un 122.53% en comparanza con el costo del concreto patrón (S/.79.82). Incrementando los costos en un 22.53%. (tabla 58 y figura 35).

El espesor de pavimento calculado con la metodología AASHTO 93, con la adición del 3% en peso del cemento de MCC fue de 18.41 cm, que es el 97.15 % en comparación con el concreto patrón (18.95 cm). Reduciendo el espesor de pavimento en 2.85 %. (tabla 57 y figura 34). Con respecto a los costos de pavimento por metro cuadrado, la adición del 3% de MCC representa un costo de S/.106.25, que es un 133.11% en comparanza con el costo del concreto patrón (S/.79.82). Incrementando los costos en un 33.11%. (tabla 58 y figura 35).

4.2 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

4.2.1 Resistencia a la compresión

Para dar validez a nuestra hipótesis se tomó los datos adquiridos en las pruebas de laboratorio de resistencia a la compresión, de los testigos sin ningún tipo de adición y de las muestras modificadas con MCC.

4.2.1.1 Prueba de normalidad

Para la comprobación de la distribución normal de los datos de la prueba de resistencia a la compresión se utilizó la prueba de Shapiro – Wilk. Que es para una cantidad de muestras menores a 30 (ver tabla 59).

a) *Demostración de distribución normal o paramétrica*

h_0 : Los resultados de la resistencia a compresión presentan una distribución paramétrica (p -valor > 0.05).

h_1 : Los resultados de la resistencia a compresión no presentan una distribución paramétrica (p -valor < 0.05).

b) Nivel de significancia

El nivel de confianza que utilizamos fue del 95%, en consecuencia, tenemos una significancia del 0.05.

c) Regla de decisión

Si p -valor < 0.05 ; admitimos la hipótesis alterna.

Si p -valor > 0.05 ; admitimos la hipótesis nula.

Tabla 59

Pruebas de normalidad Shapiro-Wilk, de resistencia a la compresión.

% de Mucílago de <i>cactaceae</i> columnar	Shapiro-Wilk		
	Estadística	gl	Sig.
V1=Patrón +0% MCC	0.929	3	0.484
V2=Patrón +1% MCC	0.787	3	0.084
V3=Patrón +2% MCC	1.000	3	0.975
V4=Patrón +3% MCC	0.986	3	0.778

Nota. Los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio se encuentran en el ANEXO 07. Fuente: Elaboración propia. determinado con el programa SPSS versión 27.

d) Toma de decisión.

- Para la variable de resistencia a la compresión con 0% de MCC:

El p -valor o significancia es mayor a 0.05 (p -valor: $0.484 > 0.05$), en consecuencia, se rechaza H_1 y se acepta H_0 , lo que significa que los datos presentan una distribución normal.

- Para la variable de resistencia a la compresión con 1% de MCC:



El p-valor o significancia es mayor a 0.05 (p-valor: $0.084 > 0.05$), en consecuencia, se rechaza H_1 y se acepta H_0 , lo que significa que los datos presentan una distribución normal.

- Para la variable de resistencia a la compresión con 2% de MCC:

El p-valor o significancia es mayor a 0.05 (p-valor: $0.975 > 0.05$), en consecuencia, se rechaza H_1 y se acepta H_0 , lo que significa que los datos presentan una distribución normal.

- Para la variable de resistencia a la compresión con 3% de MCC:

El p-valor o significancia es mayor a 0.05 (p-valor: $0.778 > 0.05$), entonces se rechaza H_1 y se acepta H_0 , lo que significa que los datos presentan una distribución normal.

En la tabla 59. Podemos ver el p valor para todos los casos es (Sig) > 0.05 , por consiguiente, se admite la hipótesis nula H_0 , los resultados de la resistencia a compresión presentan una distribución paramétrica. En consecuencia, para la validación de la hipótesis aplicamos la prueba ANOVA de un factor.

4.2.1.2 Prueba de correlación entre variables

Por medio del programa IBM SPSS V27 se comprobó el nivel de relación entre las variables, adición de MCC y la resistencia a la compresión del concreto utilizando la prueba “correlacionar”

a) **Hipótesis estadística**

H_0 : No existe correlación entre variables añadidas con MCC y la resistencia a compresión del concreto.

H_1 : Existe correlación entre variables añadidas con MCC y la resistencia a compresión del concreto.

b) **Regla de decisión**

Si **p-valor** ≤ 0.05 , se rechaza la hipótesis nula.

Si **p-valor** >0.05 , no se rechaza la hipótesis nula.

Tabla 60

Correlación entre la adición de MCC y la resistencia a compresión.

N	Correlación	Sig.(p-valor)	Decisión
12	0.982	<0.001	Se rechaza H_0

Nota. Los resultados de las pruebas de laboratorio se encuentran en el ANEXO 07. Fuente: Calculado con el Programa SPSS versión 27.

c) **Interpretación y decisión**

Se aprecia en la tabla 60, una correlación alta de (0.982), lo que significa que existe una fuerte correlación entre las variables en estudio. En términos más simples, cuando la variable mucílago de *cactaceae* aumenta, la variable resistencia a la compresión tiende a aumentar en la mayoría de los casos, con un p-valor o significancia menor a 0.05. Por lo cual la hipótesis nula H_0 se rechaza y se acepta la hipótesis alterna H_1 .

4.2.1.3 Contraste de hipótesis

La prueba de ANOVA, es una prueba que compara las medias de dos o más grupos de casos aleatorios e independientes, se utiliza para saber si los valores medios de dos grupos difieren significativamente entre sí.

a) Hipótesis estadística

H_0 : El MCC no tiene efectos considerables en la resistencia a compresión de concreto.

H_1 : El MCC tiene efectos considerables en la resistencia a compresión de concreto.

b) Estadístico ANOVA

$$H_0: \mu_0 = 285.26$$

$$H_1: \mu_1 \neq 285.26$$

Tabla 61

Análisis de la prueba ANOVA para la resistencia a la compresión

MCC (%)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)			(\bar{X}_i)	n_i	$n_i * (\bar{x}_i - \bar{x}_{..})^2$	$\sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2$
	1°	2°	3°				
0	286.58	284.31	284.90	285.26	3.00	65.40	68.18
1	288.99	287.78	288.93	288.57	3.00	5.60	6.53
2	293.97	292.21	293.07	293.08	3.00	29.78	31.33
3	293.76	292.74	291.95	292.82	3.00	24.96	26.60
				Σ	12.00	125.74	132.64

Nota: Los datos pertenecen al ensayo de laboratorio (Ver ANEXO 07). Fuente: Equipo de trabajo.

$$n_i = 12, \quad k = 4$$

$$\bar{x}_{..} = 289.93$$

$$SC_{Trat} = \sum_{i=1}^k n_i * (\bar{x}_i - \bar{x}_{..})^2 = 125.74$$

$$SC_{Total} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2 = 132.64$$

$$SC_{Error} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 = 6.90$$

La tabla 61 muestra calculo estadístico ANOVA con los datos adquiridos de laboratorio de la prueba resistencia a compresión del concreto, el cual nos muestra si existen variaciones considerables en el comportamiento de la resistencia del concreto con la incorporación de 0%, 1%, 2% y 3% de MCC. Lo que es determinante para conocer el comportamiento de la inclusión del aditivo natural MCC en el concreto.

Tabla 62

Resumen de la prueba ANOVA para resistencia a compresión.

Variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F _o	Sig.
Entre grupos	205.214	3	68.405	85.992	0
Dentro de grupos	6.364	8	0.795		
Total	211.577	11			

Fuente: Equipo de trabajo

El F crítico es:

(Valor crítico) F_{α,k-1,N-k} = 4.066

p-valor = 1.99 x 10⁻⁶

F_o > F_{crítico} = 85.992 > 4.066

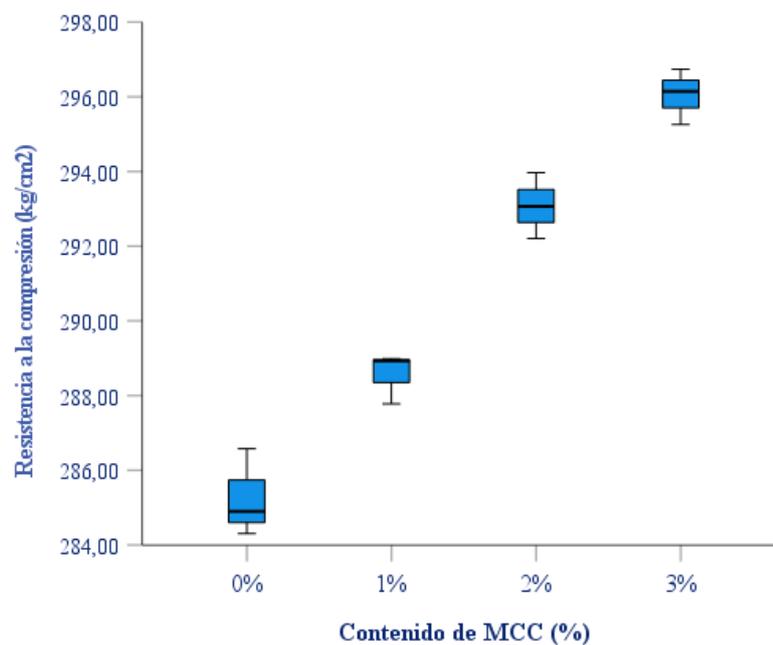
Según la tabla 62, se rechaza la hipótesis nula **H₀**, y se admite la hipótesis alterna **H₁**; en consecuencia, se comprueba estadísticamente que la adición de

MCC tiene efectos considerables en la resistencia a compresión de concreto endurecido para su aplicación en pavimentos rígidos.

El diagrama de cajas representa una gráfica que muestra el rango de datos, la mediana y ayuda en detectar valores distintos, la caja representa el rango intercuartil, mientras que los bigotes indican la variabilidad de los datos. Este tipo de gráfico resume grandes cantidades de datos y compara distribuciones. la figura 36 muestra la tendencia de los datos del ensayo de resistencia a compresión del concreto.

Figura 36

Diagrama de cajas de las pruebas de resistencia a compresión.



Nota. Se muestra el diagrama de cajas, con los datos de resistencia a la compresión y las dosis de adición de MCC. Los datos de las pruebas de laboratorio están disponibles en el ANEXO 07.

Fuente: Equipo de trabajo.

Interpretación.

Con el análisis estadístico podemos diferir que, en todos los especímenes incorporados con mucílago de *cactaceae* columnar, se verificó un incremento en



la resistencia a la compresión del concreto, comparado con el concreto patrón. Por ende, se cumple con la hipótesis y se determina que la adición de mucílago de *cactaceae* columnar, tiene efectos considerables en la resistencia a la compresión del concreto.

4.2.2 Resistencia a la flexión

Para dar validez a nuestra hipótesis se tomó los datos adquiridos en las pruebas de laboratorio de resistencia a la flexión, tanto de las muestras patrón y de las muestras modificadas con MCC.

4.2.2.1 Prueba de normalidad

Para la comprobación de la distribución normal de los datos de la prueba de resistencia a la compresión se utilizó la prueba de Shapiro – Wilk. Que es para una cantidad de muestras menores a 30 (ver tabla 63).

a) *Demostración de distribución normal o paramétrica.*

ho: Los resultados de la resistencia a flexión presentan una distribución paramétrica (p-valor > 0.05).

h1: Los resultados de la resistencia a flexión no presentan una distribución paramétrica (p-valor < 0.05)

b) *Nivel de significancia*

El nivel de confianza que utilizamos fue del 95%, por lo tanto, tenemos una significancia del 0.05

Tabla 63

Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para ensayo de resistencia a la flexión

% de mucílago de <i>Cactaceae</i>	Pruebas de normalidad		
	Shapiro - Wilk		
	Estadística	gl	Sig.
V1=Patrón + 0% MCC	0.995	3	0.862
V2=Patrón + 1% MCC	0.936	3	0.510
V3=Patrón + 2% MCC	0.983	3	0.747
V4=Patrón + 3% MCC	0.964	3	0.637

Fuente. Elaboración propia. determinado con el software SPSS

c) Regla de decisión

Si $p\text{-valor} < 0.05$; aceptamos la hipótesis alterna.

Si $p\text{-valor} > 0.05$; aceptamos la hipótesis nula.

d) Toma de decisión.

- Para la variable de resistencia a la flexión con 0% de MCC:

El p-valor o significancia es mayor a 0.05 (p-valor: $0.862 > 0.05$), en consecuencia, se rechaza H_1 y se acepta H_0 , lo que significa que los datos presentan una distribución normal.

- Para la variable de resistencia a la flexión con 1% de MCC:

El p-valor o significancia es mayor a 0.05 (p-valor: $0.510 > 0.05$), en consecuencia, se rechaza H_1 y se acepta H_0 , lo que significa que los datos presentan una distribución normal.

- Para la variable de resistencia a la flexión con 2% de MCC:

El p-valor o significancia es mayor a 0.05 (p-valor: $0.747 > 0.05$), en consecuencia, se rechaza H_1 y se acepta H_0 , lo que significa que los datos presentan una distribución normal.

- Para la variable de resistencia a la flexión con 3% de MCC:

El p-valor o significancia es mayor a 0.05 (p-valor: $0.637 > 0.05$), en consecuencia, se rechaza H_1 y se acepta H_0 , lo que significa que los datos presentan una distribución normal.

En la tabla 63. Podemos ver el p valor para todos los casos es (Sig) > 0.05 , por lo tanto, se admite la hipótesis nula H_0 , los resultados de la resistencia a flexión presentan una distribución normal. En consecuencia, para la validación de la hipótesis aplicamos la prueba ANOVA de un factor

4.2.2.2 Prueba de correlación entre variables

Por medio del software IBM SPSS V27 se comprobó la fuerza de asociación entre las variables adición de MCC y la resistencia a la flexión del concreto utilizando la prueba “correlacionar”

a) *Hipótesis estadística*

H_0 : No existe correlación entre variables añadidas con MCC y la resistencia a flexión del concreto.

H_1 : Existe correlación entre variables añadidas con MCC y la resistencia a flexión del concreto.

b) *Regla de decisión*

Si **p-valor** ≤ 0.05 , se rechaza la hipótesis nula.

Si **p-valor** > 0.05 , no se rechaza la hipótesis nula.

Tabla 64

Correlación entre la adición de MCC y la resistencia a la flexión.

N	Correlación	Sig.(p-valor)	Decisión
12	0.976	<0.001	Se rechaza H_0

Nota. Los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio se encuentran en el ANEXO 08. Fuente: Calculado con el Programa SPSS V27.

c) Interpretación y decisión

Se puede apreciar en la tabla 64 que las variables de adición de MCC y la resistencia a la flexión del concreto presentan un índice de correlación fuerte y positiva (0.976), con un índice de significancia menor a 0.05. por lo cual la hipótesis nula H_0 se rechaza y se acepta la hipótesis alterna H_1 . Por lo tanto, se demuestra la correlación entre las variables.

4.2.2.3 Contraste de hipótesis

Para contrastar la hipótesis del ensayo de resistencia a la flexión del concreto adicionada con MCC se efectuó con el estadístico de prueba ANOVA, el cual permite comparar los valores medios de dos grupos o más y determinar si éstos difieren significativamente entre sí.

a) Hipótesis estadística

H_0 : El MCC no tiene efectos considerables en la resistencia a flexión de concreto.

H_1 : El MCC tiene efectos considerables en la resistencia a flexión de concreto.

b) *Estadístico ANOVA*

$$H_0 : \mu_0 = 42.91$$

$$H_1 : \mu_1 \neq 42.91$$

Tabla 65

Análisis de la prueba ANOVA para el ensayo de resistencia a la flexión.

MCC (%)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)			(\bar{X}_i)	n_i	$n_i * (\bar{x}_i - \bar{x}_{..})^2$	$\sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2$
	1°	2°	3°				
0	42.99	42.83	42.90	42.91	3	3.58	3.59
1	43.67	43.45	43.61	43.58	3	0.53	0.56
2	44.68	44.55	44.63	44.62	3	1.16	1.17
3	44.93	44.84	44.90	44.89	3	2.39	2.39
				Σ	12.00	7.65	7.70

Nota: Los datos pertenecen al ensayo de laboratorio (Ver ANEXO 08). Fuente: Equipo de trabajo.

$$n_i = 12, \quad k = 4$$

$$\bar{x}_{..} = 289.93$$

$$SC_{Trat} = \sum_{i=1}^k n_i * (\bar{x}_i - \bar{x}_{..})^2 = 7.65$$

$$SC_{Total} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2 = 7.60$$

$$SC_{Error} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 = 0.05$$

La tabla 65 muestra calculo estadístico ANOVA con los datos de laboratorio de la prueba resistencia a flexión del concreto, el cual nos muestra si existen variaciones considerables en el comportamiento de la resistencia del concreto con la incorporación de 0%, 1%, 2% y 3% de MCC. Lo que es

determinante para conocer el comportamiento de la inclusión del aditivo natural MCC en el concreto.

Tabla 66

Resumen de la prueba ANOVA para resistencia a flexión.

Variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F _o	Sig.
Entre grupos	7.653	3	2.551	396.028	0.000
Dentro de grupos	0.052	8	0.006		
Total	7.705	11			

Fuente: Equipo de trabajo

El F crítico es:

$$(Valor\ crítico)\ F_{\alpha, k-1, N-k} = 4.066$$

$$p\text{-valor} = 4.91 \times 10^{-9}$$

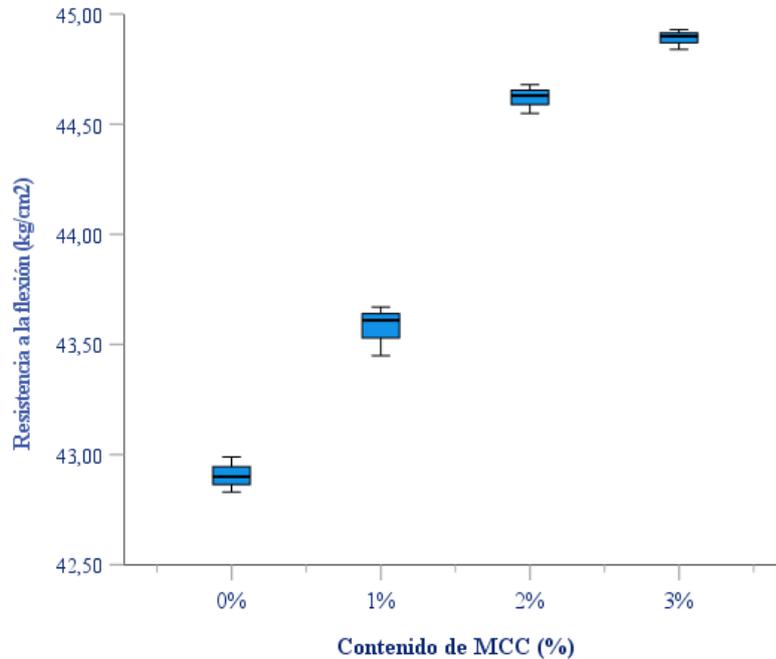
$$F_o > F_{crítico} = 396.028 > 4.066$$

Según la tabla 66, se rechaza la hipótesis nula **H₀**, y se acepta la hipótesis alterna **H₁**; en consecuencia, se comprueba estadísticamente que la adición de MCC tiene efectos considerables en la resistencia a flexión de concreto endurecido para su aplicación en pavimentos rígidos.

El diagrama de cajas representa una gráfica que muestra el rango de datos, la mediana y ayuda en detectar valores distintos, la caja representa el rango intercuartil, mientras que los bigotes indican la variabilidad de los datos. Este tipo de gráfico resume grandes cantidades de datos y compara distribuciones. En la figura 37 se puede apreciar la tendencia de los datos del ensayo de resistencia a flexión.

Figura 37

Diagrama de cajas en resistencia a flexión.



Se muestra el diagrama de cajas, con los datos de resistencia a la flexión y las dosis de adición de MCC. Los datos de las pruebas de laboratorio están disponibles en el ANEXO 08. Fuente: Equipo de trabajo.

Interpretación.

Con el análisis estadístico podemos diferir que, en todos los especímenes incorporados con mucílago de *cactaceae* columnar, se verificó un incremento en la resistencia a la flexión del concreto, comparado con el concreto estándar. Por lo cual se cumple con la hipótesis y se determina que la adición de mucílago de *cactaceae* columnar, influye en la resistencia a la flexión del concreto.

4.2.3 Ensayo de asentamiento del concreto

Para dar validez a nuestra hipótesis se tomó los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio de asentamiento del concreto fresco, tanto de las muestras patrón y de las muestras modificadas con MCC.

4.2.3.1 Prueba de normalidad

Para la comprobación de la distribución normal de los datos de la prueba de resistencia a la compresión se utilizó la prueba de Shapiro – Wilk. Que es para una cantidad de muestras menores a 30 (ver tabla 67).

a) *Demostración de distribución normal o paramétrica*

ho: Los resultados del ensayo de asentamiento de concreto presentan una distribución paramétrica (p-valor > 0.05).

h1: Los resultados del ensayo de asentamiento de concreto no presentan una distribución paramétrica (p-valor < 0.05).

b) *Nivel de significancia*

El nivel de confianza que utilizamos fue del 95%, por lo tanto, tenemos una significancia del 0.05.

c) *Regla de decisión*

Si p-valor<0.05; aceptamos la hipótesis alterna.

Si p-valor>0.05; aceptamos la hipótesis nula.

Tabla 67

Pruebas de normalidad Shapiro-Wilk, ensayo de asentamiento

% de Mucílago de <i>cactaceae</i> columnar	Shapiro - Wilk		
	Estadística	gl	Sig.
V1=Patrón +0% MCC	0.893	3	0.363
V2=Patrón +1% MCC	0.862	3	0.274
V3=Patrón +2% MCC	0.893	3	0.363
V4=Patrón +3% MCC	0.976	3	0.702

Fuente. Los datos del ensayo de laboratorio (Véase en el ANEXO 06) Fuente: Elaboración propia. determinado con el software IBM SPSS V27.



d) Toma de decisión.

- Para la variable asentamiento del concreto con 0% de MCC:

El p-valor o significancia es mayor a 0.05 (p-valor: $0.363 > 0.05$), en consecuencia, se rechaza H_1 y se acepta H_0 , lo que significa que los datos presentan una distribución normal.

- Para la variable asentamiento del concreto con 1% de MCC:

El p-valor o significancia es mayor a 0.05 (p-valor: $0.274 > 0.05$), en consecuencia, se rechaza H_1 y se acepta H_0 , lo que significa que los datos presentan una distribución normal.

- Para la variable asentamiento del concreto con 2% de MCC:

El p-valor o significancia es mayor a 0.05 (p-valor: $0.363 > 0.05$), en consecuencia, se rechaza H_1 y se acepta H_0 , lo que significa que los datos presentan una distribución normal.

- Para la variable asentamiento del concreto con 3% de MCC:

El p-valor o significancia es mayor a 0.05 (p-valor: $0.702 > 0.05$), en consecuencia, se rechaza H_1 y se acepta H_0 , lo que significa que los datos presentan una distribución normal.

En la tabla 67. Podemos ver que el p-valor para todos los casos es ($\text{sig} > 0.05$), por consiguiente, se admite la hipótesis nula H_0 , los resultados del ensayo asentamiento del concreto presentan una distribución paramétrica. En consecuencia, para la validación de la hipótesis aplicamos la prueba ANOVA de un factor.

4.2.3.2 Prueba de correlación entre variables

Por medio del programa IBM SPSS V27 se comprobó el nivel de relación entre las variables, adición de MCC y el asentamiento del concreto utilizando la prueba “correlacionar”

a) ***Hipótesis estadística***

H_0 : No existe correlación entre variables añadidas con MCC y el asentamiento del concreto.

H_1 : Existe correlación entre variables añadidas con MCC y el asentamiento del concreto.

b) ***Regla de decisión***

Si **p-valor** ≤ 0.05 , se rechaza la hipótesis nula.

Si **p-valor** >0.05 , no se rechaza la hipótesis nula.

Tabla 68

Correlación entre la adición de MCC y el asentamiento.

N	Correlación	Sig.(p-valor)	Decisión
12	0.963	<0.001	Se rechaza H_0

Nota. Los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio se encuentran en el ANEXO 06. Fuente: Calculado con el programa SPSS versión 27.

c) ***Interpretación y decisión***

Se aprecia en la tabla 68, una correlación muy fuerte de (0.963), lo que significa que existe una alta correlación entre las variables en estudio. En términos más simples, cuando la variable mucílago de *cactaceae* aumenta, la variable asentamiento del concreto tiende a aumentar en la

mayoría de los casos, con un p-valor o significancia menor a 0.05. Por lo cual la hipótesis nula H_0 se rechaza y se acepta la hipótesis alterna H_1 .

4.2.3.3 Contraste de hipótesis

La prueba de ANOVA, es una prueba que compara las medias de dos o más grupos de casos aleatorios e independientes, se utiliza para saber si los valores medios de dos grupos difieren significativamente entre sí.

a) *Hipótesis estadística*

H_0 : El MCC no tiene efectos considerables en el asentamiento del concreto.

H_1 : El MCC tiene efectos considerables en el asentamiento del concreto.

b) *Estadístico ANOVA*

$$H_0: \mu_0 = 7.60$$

$$H_1: \mu_1 \neq 7.60$$

Tabla 69

Análisis de la prueba ANOVA para el ensayo de asentamiento

MCC (%)	Asentamiento del concreto (kg/cm ²)			(\bar{X}_i)	n_i	$n_i * (\bar{x}_i - \bar{x}_{..})^2$	$\sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2$
	1°	2°	3°				
0	8.50	7.30	7.00	7.60	3	60.08	61.34
1	9.40	9.20	8.10	8.90	3	30.24	31.22
2	15.00	14.50	12.50	14.00	3	11.12	14.62
3	18.40	17.70	17.30	17.80	3	98.33	98.95
				Σ	12	199.76	206.12

Nota: Los datos pertenecen al ensayo de laboratorio (Ver ANEXO 06). Fuente: Equipo de trabajo.

$$n_i = 12, \quad k = 4$$

$$\bar{x}_{..} = 12.08$$

$$SC_{Trat} = \sum_{i=1}^k n_i * (\bar{x}_i - \bar{x}_{..})^2 = 199.76$$

$$SC_{Total} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2 = 206.12$$

$$SC_{Error} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 = 6.36$$

La tabla 69 muestra el análisis ANOVA para los resultados del ensayo asentamiento del concreto el cual nos muestra si existen variaciones considerables en el comportamiento de asentamiento del concreto bajo diferentes condiciones con 0%, 1%, 2% y 3% de MCC, lo que es decisivo conocer en los ensayos de control de calidad.

Tabla 70

Resumen de la prueba ANOVA para el ensayo de asentamiento.

Variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F _o	Sig.
Entre grupos	199.762	3	66.587	83.758	<.001
Dentro de grupos	6.360	8	0.795		
Total	206.122	11			

Fuente: Equipo de trabajo

El F crítico es:

(Valor crítico) F_{α,k-1,N-k} = 4.066

p-valor = 4.91 x 10⁻⁹

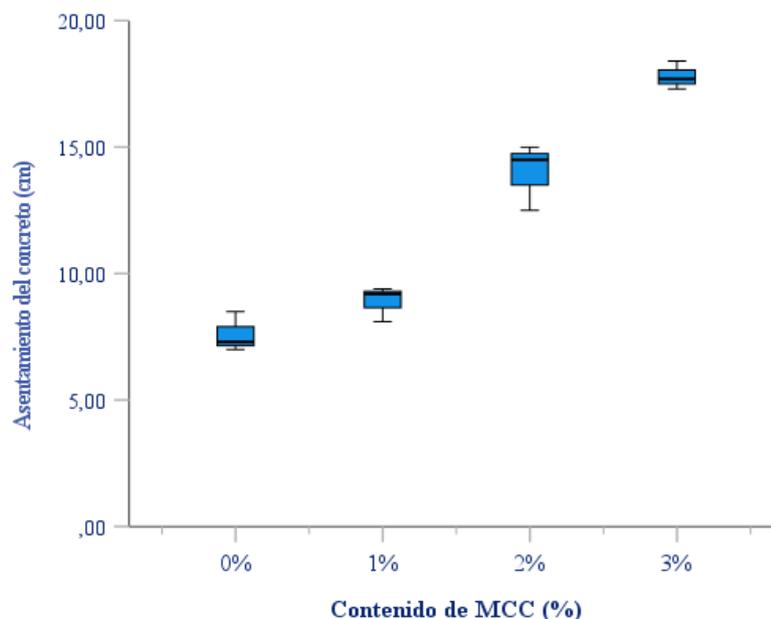
F_o > F_{crítico} = 83.758 > 4.066

De la tabla 70 se puede interpretar que, se rechaza la hipótesis nula H_0 , y se admite la hipótesis alterna H_1 ; en consecuencia, se comprueba estadísticamente que la adición de MCC tiene efectos considerables en el asentamiento del concreto endurecido para su aplicación en pavimentos de concreto.

El diagrama de cajas representa una gráfica que muestra el rango de datos, la mediana y ayuda en detectar valores distintos, la caja representa el rango intercuartil, mientras que los bigotes indican la variabilidad de los datos. Este tipo de gráfico resume grandes cantidades de datos y compara distribuciones. En la figura 38 se logra apreciar la tendencia de los datos del ensayo de asentamiento del concreto.

Figura 38

Diagrama de cajas en ensayo de asentamiento



Se muestra el diagrama de cajas, con los datos de asentamiento del concreto y las dosis de adición de MCC. Los datos de las pruebas de laboratorio están disponibles en el ANEXO 06.
Fuente: Equipo de trabajo.

Interpretación.

Con el análisis estadístico podemos diferir que, en todos los especímenes incorporados con mucílago de *cactaceae* columnar, se verificó un incremento en la prueba de asentamiento del concreto, comparado con el concreto estándar. Por lo cual se cumple con la hipótesis y se determina que la adición de mucílago de *cactaceae* columnar, influye en el asentamiento del concreto.

4.2.4 Ensayo de permeabilidad

Para dar validez a nuestra hipótesis se tomó los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio de permeabilidad del concreto, tanto de las muestras patrón y de las muestras modificadas con MCC.

4.2.4.1 Prueba de normalidad

Para la comprobación de la distribución normal de los datos de la prueba de permeabilidad se utilizó la prueba de Shapiro – Wilk. Que es para una cantidad de muestras menores a 30 (ver tabla 71).

a) *Demostración de distribución normal o paramétrica.*

H₀: Los resultados de las mediciones de permeabilidad del concreto presentan una distribución paramétrica (p-valor > 0.05).

H₁: Los resultados de la medición de permeabilidad del concreto no presentan una distribución paramétrica (p-valor < 0.05).

b) *Nivel de significancia*

El nivel de confianza que utilizamos fue del 95%, por lo tanto, tenemos una significancia del 0.05

Tabla 71*Prueba de normalidad del ensayo de la permeabilidad*

% de mucílago de <i>Cactaceae</i>	Pruebas de normalidad		
	Estadística	Shapiro - Wilk	
		gl	Sig.
V1=Patrón +0% MCC	0.987	3	0.780
V2=Patrón +1% MCC	0.855	3	0.253
V3=Patrón +2% MCC	0.960	3	0.617
V4=Patrón +3% MCC	0.939	3	0.525

Fuente. Elaboración propia. determinado con el software SPSS versión 27

c) Lectura del p-valor

Si $p\text{-valor} < 0.05$; admitimos la hipótesis alterna.

Si $p\text{-valor} > 0.05$; admitimos la hipótesis nula.

d) Toma de decisión.

- Para la variable permeabilidad del concreto con 0% de MCC:

El p-valor o significancia es mayor a 0.05 (p-valor: $0.780 > 0.05$), en consecuencia, se rechaza H_1 y se acepta H_0 , lo que significa que los datos presentan una distribución normal.

- Para la variable permeabilidad del concreto con 1% de MCC:

El p-valor o significancia es mayor a 0.05 (p-valor: $0.253 > 0.05$), en consecuencia, se rechaza H_1 y se acepta H_0 , lo que significa que los datos presentan una distribución normal.

- Para la variable de permeabilidad del concreto con 2% de MCC:



El p-valor o significancia es mayor a 0.05 (p-valor: $0.617 > 0.05$), en consecuencia, se rechaza H_1 y se acepta H_0 , lo que significa que los datos presentan una distribución normal.

- Para la variable de permeabilidad del concreto con 3% de MCC:

El p-valor o significancia es mayor a 0.05 (p-valor: $0.525 > 0.05$), en consecuencia, se rechaza H_1 y se acepta H_0 , lo que significa que los datos presentan una distribución normal.

En la tabla 71. Podemos ver el p valor para todos los casos es (Sig) > 0.05 , por consiguiente, se admite la hipótesis nula H_0 , los resultados del ensayo de permeabilidad presentan una distribución paramétrica. En consecuencia, para la validación de la hipótesis aplicamos la prueba ANOVA de un factor.

4.2.4.2 Prueba de correlación entre variables

Por medio del programa IBM SPSS V27 se comprobó el nivel de relación entre las variables, adición de MCC y la permeabilidad del concreto utilizando la prueba “correlacionar”

a) *Hipótesis estadística*

H_0 : No existe correlación entre variables añadidas con MCC y la permeabilidad del concreto.

H_1 : Existe correlación entre variables añadidas con MCC y la permeabilidad del concreto.

b) Regla de decisión

Si **p-valor** ≤ 0.05 , se rechaza la hipótesis nula.

Si **p-valor** >0.05 , no se rechaza la hipótesis nula.

Tabla 72

Correlación entre la adición de MCC y la permeabilidad.

N	Correlación	Sig.(p-valor)	Decisión
12	-0.818	<0.001	Se rechaza H_0

Nota. Los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio se encuentran en el ANEXO 09. Fuente: Calculado con el Programa SPSS V27.

c) Interpretación y decisión

Se puede apreciar que las variables de adición de MCC y la permeabilidad del concreto presentan un índice de correlación fuerte y negativa (-0.818) es decir, cuando la variable mucílago de *cactaceae* aumenta, la variable coeficiente de permeabilidad, tiende a disminuir en la mayoría de los casos, según se muestra en la tabla 72, con un p-valor (significancia) menor a 0.05. por lo cual la hipótesis nula H_0 se rechaza y se acepta la hipótesis alterna H_1 .

4.2.4.3 Contraste de hipótesis

La prueba de ANOVA, es una prueba que compara las medias de dos o más grupos de casos aleatorios e independientes, se utiliza para saber si los valores medios de dos grupos difieren significativamente entre sí.

a) Hipótesis estadística

H_0 : El MCC no tiene efectos considerables en la permeabilidad del concreto.

H_1 : El MCC tiene efectos considerables en la permeabilidad del concreto.

b) *Estadístico ANOVA*

$$H_0: \mu_0 = 7.60$$

$$H_1: \mu_1 \neq 7.60$$

Tabla 73

Análisis de la prueba ANOVA para el ensayo de permeabilidad.

MCC (%)	Profundidad de penetración (mm)			(\bar{X}_i)	n_i	$n_i * (\bar{x}_i - \bar{x}_{..})^2$	$\sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2$
	1°	2°	3°				
0	40.30	40.10	39.80	40.07	3	211.89	212.02
1	29.45	30.15	30.05	29.88	3	9.50	9.78
2	25.85	28.20	33.10	29.05	3	20.48	47.84
3	29.80	26.05	27.10	27.65	3	48.30	55.79
				Σ	12	290.16	325.43

Nota: Los datos pertenecen al ensayo de laboratorio (Ver ANEXO 09). Fuente: Equipo de trabajo.

$$n_i = 12, \quad k = 4$$

$$\bar{x}_{..} = 31.66$$

$$SC_{Trat} = \sum_{i=1}^k n_i * (\bar{x}_i - \bar{x}_{..})^2 = 290.16$$

$$SC_{Total} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (\bar{x}_{ij} - \bar{x}_{..})^2 = 325.43$$

$$SC_{Error} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (\bar{x}_{ij} - \bar{x}_i)^2 = 35.26$$

La tabla 73 muestra cálculo estadístico ANOVA con los datos obtenidos de laboratorio de la prueba resistencia a compresión del concreto, el cual nos muestra si existen variaciones considerables en la permeabilidad del concreto con

la incorporación de 0%, 1%, 2% y 3% de MCC. Lo que es determinante para conocer el comportamiento de la inclusión de aditivos naturales como el MCC en el concreto para pavimentos.

Tabla 74

Resumen de la prueba ANOVA para el ensayo de permeabilidad

Variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F _o	Sig.
Entre grupos	290.162	3	96.721	21.943	<.001
Dentro de grupos	35.263	8	4.408		
Total	325.426	11			

Fuente: Equipo de trabajo

El F crítico es:

(Valor crítico) $F_{\alpha, k-1, N-k} = 4.066$

$p\text{-valor} = 4.91 \times 10^{-9}$

$F_o > F_{\text{crítico}} = 21.943 > 4.066$

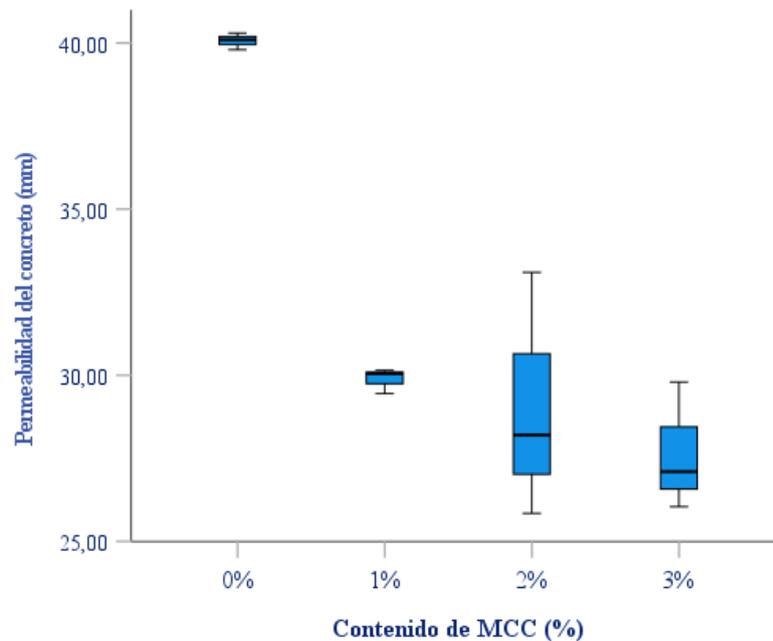
Según la tabla 74, se rechaza la hipótesis nula **H₀**, y se admite la hipótesis alterna **H₁**; en consecuencia, se comprueba estadísticamente que la adición de MCC tiene efectos considerables en la permeabilidad del concreto endurecido para su aplicación en pavimentos rígidos.

El diagrama de cajas representa una gráfica que muestra la dispersión de datos, la mediana y ayuda en detectar valores distintos, la caja representa el rango intercuartil, mientras que los bigotes indican la variabilidad de los datos. Este tipo de gráfico resume grandes cantidades de datos y compara distribuciones. En la

figura 39 se puede apreciar la tendencia de los datos del ensayo de permeabilidad del concreto.

Figura 39

Diagrama de cajas en ensayo de permeabilidad del concreto



Se muestra el diagrama de cajas, con los datos de permeabilidad del concreto y las dosis de adición de MCC. Los datos de las pruebas de laboratorio están disponibles en el ANEXO 09. Fuente: Equipo de trabajo.

Interpretación

El análisis estadístico muestra que, en todos los especímenes incorporados con mucílago de *cactaceae* columnar, se verificó una reducción en la permeabilidad del concreto, comparado con el estándar. Por lo cual se cumple con la hipótesis y se determina que la adición de mucílago de *cactaceae* columnar, reduce la permeabilidad del concreto $f^c=280\text{kg/cm}^2$.

4.3 DISCUSIÓN

4.3.1 Resistencia a la compresión.

La intención de conocer la resistencia del concreto incorporado con mucílago de *cactaceae* columnar en la región de Puno, demostró que la resistencia a compresión a la edad de 28 días incrementó en 1.16% 2.74% y 3.78% con una adición de 1%, 2% y 3% de MCC respectivamente, en comparación con el concreto patrón.

Estos resultados guardan relación con lo hallado por Oloya & Ponce (2019) en su estudio ubicado en la Ciudad de Trujillo, determina que con relación $a/c=0.56$, el diseño de concreto con adición de 0.5% y 1% de mucílago de cactus incrementa la resistencia en 0.79%; y el diseño con adición de 1.5% de mucílago incrementa su resistencia en 1.32% con respecto del concreto patrón; del mismo modo las investigaciones de Huerto (2018) ubicado en Huaraz Perú, Analiza la resistencia del concreto incorporando el aditivo mucílago de tuna en un concreto $f'c=450 \text{ kg/cm}^2$. En sus resultados, se obtuvo mejores resistencias mecánicas en concretos modificados, respecto a los concretos estándar; con una adición del 4% del mucílago tuvo un aumento de 2.47% a los 28 días con la incorporación de mucílago de nopal, mientras que con un 6%, la resistencia a la compresión incrementó en 4.87% con la incorporación del mucílago de nopal. a los 28 días; por otro lado, tenemos a Ramos (2017) ubicado en la ciudad de Chimbote-Ancash evalúa la resistencia de un concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, donde aumenta la resistencia a compresión en +4.31% al 1% de adición del mencionado mucílago, incrementa la resistencia a compresión en +18.05% al 1.5% de adición del aditivo

mencionado, y aumenta la resistencia a compresión en +25.46% al 2% de adición del aditivo natural en estudio.

Así también se tiene a Andrade (2022) en su investigación ubicado en el distrito de Salcedo, departamento de Ayacucho, donde en el ensayo de resistencia a la compresión para un concreto con $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, obtiene un aumento del 13.16% (de $f'c=157.80 \text{ kg/cm}^2$ a $f'c=185.40 \text{ kg/cm}^2$), respecto del concreto patrón, al añadirle mucílago de Nopal en dosis de 2.5% el cual sería la dosis óptima, estos resultados guardan relación con nuestra investigación puesto que se tiene un resultado óptimo al añadirle el 3% de MCC.

Así mismo, en la investigación de Chávez y Aguirre (2022) en su estudio realizado en el caserío Melgas, Sayapullo, departamento de La Libertad. Donde utilizado la adición de mucílago de tuna en dosis de 0.5%, 1.0%, 2.0%, 3.0% y 5.0%, En sus resultados obtuvieron una dosis optima de 0.5%, con un revenimiento de 4", obtuvo un aumento de la resistencia a compresión del concreto de 9.35%. Estos resultados no guardan relación con nuestra investigación donde la dosis más cercana sería del 1% de MCC el cual es el menor el menor resultado que obtuvimos, puesto que nuestro mayor resultado es al añadir un 3% de MCC.

Además, Valverde (2023) señala que en sus investigaciones realizado en la ciudad de Abancay donde al añadir mucílago de penca de tuna en una mezcla de concreto, con integraciones de 1.5%, 2%, 2.5% y 3%, obtuvo como resultado una resistencia a la compresión axial máxima alcanzada fue a la dosis de 2% de mucílago de penca de tuna, con una resistencia de 326.65 kg/cm^2 que es el 106.27% respecto del concreto sin aditivos. Estos resultados guardan cierta

relación con nuestra investigación donde nuestro mayor resultado en el ensayo de resistencia a la compresión es al añadir un 3% de MCC.

4.3.2 Resistencia a la flexión

La intención de conocer la resistencia a flexión del concreto adicionado con el mucílago de *cactaceae* columnar en la región de Puno, demostró que la resistencia a flexión a los 28 días aumento en 1.54%, 2.98%, 4.61%, con una adición de 1%, 2% y 3% de MCC respectivamente, en comparación con el concreto patrón.

Estos resultados guardan relación con lo determinado por Ramos (2017), citado como antecedente nacional, realizado en Chimbote – Ancash. Para un concreto 210 kg/cm² y una relación a/c=0.558. En las pruebas de resistencia a la flexión obtuvo un incremento de +2.51%, +3.29%, y 4% para adiciones de 1%, 1.5%, y 2% de mucílago de tuna. De igual forma tenemos a Pacco (2021). Obtuvo una resistencia a la flexión del hormigón de 49.68 kg/cm², 54.25 kg/cm² y 51.97 kg/cm², con la incorporación de 1%, 2% y 3% de mucílago de waraco respectivamente a los 28 días, de acuerdo a la tendencia para incorporaciones mayores al 3% de mucílago de waraco la resistencia tiende a decrecer, siendo inadecuado para el hormigón. por otro lado, tenemos a Martínez (2018) estudio realizado en México, “La incorporación de fibra y mucílago de opuntia ficus indica, puede favorecer con la creación de biominerales como Weddellita y Wewhellita (cristales de oxalato de calcio).” Que contribuiría en la compactación de la matriz del concreto.

En la investigación de Andrade (2022) en su investigación ubicado en el distrito de Salcedo, departamento de Ayacucho, donde en el ensayo de resistencia



a la flexión para un concreto con $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, obtiene un aumento del 36.40 kg/cm^2 a 42.80 kg/cm^2 , respecto del concreto patrón, al añadirle mucílago de Nopal en dosis de 2.5% el cual sería la dosis óptima, estos resultados guardan relación con nuestra investigación que tenemos un resultado de 42.91 kg/cm^2 para el concreto patrón y 44.89 kg/cm^2 al añadirle el 3% de MCC.

Se puede inducir que los resultados son parecidos y permanentes con los resultados de las investigaciones anteriores, por consiguiente, el objetivo se cumple.

Por otro lado, tenemos a Falcón (2022) realizó una investigación teniendo como propósito de adicionar el mucílago de huaraco o Huanguro en la zona, en su fase nativa, libre de químicos que pudieran alterar sus componentes, el autor adiciono el mucílago de Huaraco en dosis de 0.5%, 1.0% y 1.5% del peso del cemento. Su resultado en el ensayo de resistencia a la flexión indican un aumento de 19.84% al añadir 0.5% de mucílago de Huaraco. Estos resultados no guardan relación con nuestra investigación donde la dosis más cercana sería del 1% de MCC el cual es el menor el menor resultado que obtuvimos, puesto que nuestro mayor resultado es al añadir un 3% de MCC.

4.3.3 Trabajabilidad del concreto.

La intención de conocer la trabajabilidad del concreto adicionado con mucílago de *cactaceae* columnar en la región de Puno, demostró el asentamiento aumento en 17%, 84% y 134%, con una adición de 1%, 2% y 3% de MCC respectivamente, en comparación con el concreto patrón. se obtuvo una mezcla suave y homogénea haciendo fácil el vaciado de las muestras de concreto.



De acuerdo con el artículo científico de León Martínez (2014) “estudio el aditivo natural mucílago de nopal mejora la viscosidad, obteniendo una mezcla estable y homogénea concluyendo que tiene las características adecuadas para ser utilizadas para concretos autocompactantes;” Paredes (2022) afirma que la adición del mucílago de nopal al 2% presentaba una mejor trabajabilidad, haciéndolo más suave y fácil de manejar y no causando ningún inconveniente durante el proceso de colocación, aumentando la trabajabilidad en un 25% respecto a la muestra estándar, también tenemos a Oloya & Ponce (2019), menciona “en la prueba de asentamiento, varía desde los valores de 15.875 cm, 17.78 cm y 19.05 cm con adición de 0.50%, 1% y 1.50% de mucílago de cactus respectivamente.”

De estos 4 estudios se obtuvo resultados similares, podemos inferir que la adición del mucílago de las cactáceas mejora la trabajabilidad del concreto obteniéndose una mezcla suave y homogénea.

“En 2008 se realizó una investigación donde se estudió el comportamiento mecánico de morteros de cal apagada artesanalmente, adicionados con mucílago de cactácea y ceniza volcánica. Donde el mucílago fue un factor que tuvo efecto sobre la trabajabilidad de la mezcla fresca de mortero, permitiendo mayor manejabilidad para el llenado de los especímenes” (Martínez et al., 2008)

4.3.4 Permeabilidad

La permeabilidad del concreto se obtuvo valores de penetración de profundidad media de 40.07mm, 29.880mm y 29.05mm y 27.65mm para adiciones de adiciones de mucílago de *cactaceae* columnar de 1%, 2%, y 3%. sin perder otras propiedades como la resistencia a la compresión y resistencia a la flexión del concreto.



De acuerdo con Cervantes C. & Espinoza D. (2021) citado como antecedente nacional. donde utilizaron el mucílago de nopal en incorporaciones del 0.5%, 1.0% y 3.0%, con el objetivo principal de reducir de la permeabilidad del concreto, sin disminuir la resistencia a compresión del concreto. Logrando su objetivo y reduciendo la permeabilidad; para el 1% de adición de mucílago de nopal, se redujeron en un 16.40%; y para el 3 % de adición de mucílago de nopal, lograron reducir en un 33.2%. Acorde con los valores obtenidos para este objetivo son similares parecidos, cuyo valor de permeabilidad se reduce a conforme se aumente el porcentaje del mucílago de *cactaceae*, obteniendo resultados favorables según estos antecedes. También tenemos a Oloya y Ponce (2019), “determinó la permeabilidad, de un concreto patrón $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, obteniendo valores de 3.22mm, 12.90mm y 27.61mm y 0mm, para incorporación de 0.0%, 0.50%, 1% y 1.50% de mucílago de cactus respectivamente.” Con estos estudios podemos inferir que los valores encontrados son similares y que se tiene una influencia considerable en la reducción de permeabilidad del concreto.

Martínez (2018), menciona: Se ha encontrado que el mucílago coloidal de cactus aumenta la durabilidad de los materiales construidos a base de cemento portland (CP) y reduce la permeabilidad de los materiales porosos, como la lechada, el mortero y el hormigón a base de CP, al agua, los gases, los iones cloruro y los sulfatos, junto con la reducción de su porosidad, con lo que se intenta reducir la permeabilidad al transporte de sustancias líquidas o gases dentro de estos materiales. (p. 210).

Además, se tiene a Bermudez (2022) donde en su investigación añadió, cascara de huevo y el cactus denominado *echinopsis pachanoi*. los resultados indican que el mucílago de cactus reduce la permeabilidad de 0.952mm a

0.742mm, con el diseño de mezcla de 8% de ceniza de cascara de huevo y 1% de mucílago de nopal, en el ensayo de absorción capilar lo que reflejaría una reducción de 22.05%, el cual guarda relación con nuestra investigación en el ensayo de permeabilidad mediante la profundidad de penetración del agua que se tiene una reducción de la permeabilidad optima del 30.99% para la adición del 3% de MCC.

Como contribución final se puede inferir que el concreto $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ incorporado con MCC, mejora las propiedades mecánicas y físicas, también influye en la permeabilidad de concreto, sin embargo, esta adición resulta en un costo adicional que puede ser una limitación para su uso.

4.4 CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

4.4.1 Cumplimiento de objetivos específicos

1: Determinar los efectos de adicionar el mucílago de *cactaceae* columnar en la resistencia a la compresión axial del concreto.

Se resalta que al añadir las dosis de 1%, 2% y 3% del aditivo natural MCC al concreto, se tiene un aumento de la resistencia a la compresión de 1.16%, 2.74% y 3.78% (tabla 51, pág. 127) con respecto al concreto patrón respectivamente. la resistencia a la compresión ($f'c$) alcanzada con porcentaje de 3% en peso del cemento de MCC a los 28 días fue de 296.05 kg/cm^2 , que es 103.78 % fue la mejor de nuestro grupo de estudio en comparación con la muestra patrón sin aditivos. Así mismo en la tabla 60 (pág. 141) se pudo apreciar que existe una correlación fuerte y positiva ($R=0.982$) para las muestras de 28 días de edad, es decir que cuando la variable MCC aumenta, la variable resistencia a la compresión, tiende a aumentar en la mayoría de los casos. Además, en la prueba estadística ANOVA



tabla 62 (pag. 143) se verificó un incremento en la resistencia a compresión ($f'c$), comparado con el concreto patrón, por lo cual se cumple con la hipótesis y se determina que la incorporación de mucílago de *cactaceae* columnar, influye en la resistencia a la compresión axial del concreto.

2: Determinar los efectos de la incorporación de mucílago de *cactaceae* columnar en la resistencia a la flexión.

Según los datos obtenido del ensayo de resistencia a la flexión (M_r) la máxima alcanzada fue con la adición del 3% de MCC, a la edad de 28 días se consiguió una resistencia de 44.89 kg/cm^2 que es el 104.61% en comparación con la muestra patrón (42.91 kg/cm^2), aumentando su resistencia en 4.61% tabla 53, (pág. 130). Así mismo en la tabla 64 (pág. 148), se pudo apreciar que existe una correlación fuerte y positiva ($R=0.976$) es decir, cuando la variable mucílago de *cactaceae* aumenta, la variable resistencia a la flexión, tiende a aumentar en la mayoría de los casos. Además, en la prueba estadística ANOVA tabla 66 (pág. 150). se verificó un incremento en la resistencia a la flexión (M_r), comparado con la muestra estandar, por lo cual se cumple con la hipótesis y se determina que la incorporación de mucílago de *cactaceae* columnar, tiene efectos significativos en la resistencia a la flexión del concreto.

3: Determinar los efectos de la incorporación de mucílago de *cactaceae* columnar en la trabajabilidad del concreto hidráulico.

De acuerdo con los datos obtenido del ensayo de asentamiento o trabajabilidad tabla 54 (pág. 132) se tiene: con la inclusión del 1% de MCC, se adquirió un asentamiento de: (8.9cm) que es el 117.0% en comparación con la muestra patrón (7.60cm) aumentando su revenimiento en 17.0%; con la adición



del 2% de MCC, se obtuvo un revenimiento de 14.0cm que es el 184.0% en comparación con la muestra patrón (7.60cm), aumentando su revenimiento en 84.0%; con la adición del 3% de MCC, se obtuvo un revenimiento de 17.80cm que es el 234.0% en comparación con la muestra patrón (7.60cm); aumentando su revenimiento en 134.0%. Así mismo en la tabla 68, (pág.154) se puede apreciar que existe una correlación fuerte y positiva ($R=0.963$) es decir, cuando la variable mucílago de *cactaceae* aumenta, la variable trabajabilidad tiende a aumentar en la mayoría de los casos. Además, en la prueba estadística ANOVA tabla 70 (pág. 157). se verificó un incremento en el asentamiento del concreto fresco, comparado con el concreto patrón.

4: Determinar los efectos de la incorporación de mucílago de *cactaceae* columnar en la permeabilidad del concreto.

De acuerdo con los datos obtenido del ensayo de permeabilidad mediante el ensayo de profundidad de penetración media, con la adición del 3% en peso del cemento de MCC a los 28 días fue de 27.65 mm, que es el 69.01 % la mínima de nuestro grupo de estudio, en comparación con el concreto patrón (40.07 mm). Disminuyendo la permeabilidad en 30.99 % (tabla 56, Pág. 134). Así mismo en la tabla 72, (pág. 161) se pudo apreciar que existe una correlación negativa de ($R=-0.818$), lo que indica que hay una relación inversa, es decir, cuando la variable mucílago de *cactaceae* aumenta la variable coeficiente de permeabilidad, tiende a disminuir en la mayoría de los casos. Además, en tabla 74, (pág. 163) se puede ver la prueba estadística ANOVA donde se afirma con seguridad que la adición del MCC en el concreto tiene efectos significativos en la reducción de la permeabilidad del concreto, comparado con el concreto patrón. Por lo tanto, se cumple con la hipótesis.



5: Determinar el espesor de losa de pavimento óptimo mediante la metodología AASHTO-93 a partir de los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio, del concreto patrón y del concreto modificado con la adición de mucílago de *cactaceae* columnar.

De acuerdo con los datos obtenidos en los cálculos realizados según AASHTO 1993 en la tabla 57 (p. 135). se puede apreciar que existen un efecto de la variable independiente en la variable dependiente, mejor dicho, mientras se le añade el MCC en el espesor de pavimento disminuye, respecto al costo del pavimento rígido por metro cuadrado, en la tabla 58 y figura 35, se observa que el costo del metro cuadrado de pavimento rígido aumenta a medida que se le añade el aditivo MCC (pp. 136-137).

4.4.2 Cumplimiento de objetivo general

Para determinar la influencia del aditivo natural utilizado, se ejecutó ensayos de compresión, flexión y permeabilidad del concreto en laboratorio, para muestras patrón y muestras modificadas con MCC y curados a temperatura ambiente.

Los resultados muestran que si existe una influencia directa de la variable independiente (Mucílago de *cactaceae* columnar) sobre la variable dependiente (resistencia a la compresión, flexión, permeabilidad y trabajabilidad), mejor dicho, a medida que se aumenta la dosis de MCC, las propiedades del concreto también aumentan.



V. CONCLUSIONES

- Se concluye que la adición del 1%, 2% y 3% del aditivo natural MCC tiene efectos considerables en la resistencia a compresión, flexión, trabajabilidad y permeabilidad del concreto, según los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio, se observó que a medida que se le añade el MCC a la mezcla de concreto la resistencia tienden a aumentar, para el caso de la permeabilidad tiende a disminuir, además se incrementa el costo/m², el espesor de pavimento de acuerdo con el diseño AASHTO 93 se reduce según la cantidad de MCC añadido. Además, el efecto más significativo se obtuvo al añadir 3% de MCC. De la investigación se llegaron las siguientes conclusiones específicas:
- Se concluye que al añadir las dosis de 1%, 2% y 3% del aditivo natural MCC al concreto, se tiene un efecto en el incremento de la resistencia a la compresión de 1.16%, 2.74% y 3.78% (tabla 51, pág. 127) con respecto al concreto patrón respectivamente. Con una tendencia a la mejora a medida que se aumenta el aditivo MCC comparadas con las muestras patrón sin aditivos, especialmente al añadir el 3% de MCC. Además, la prueba estadística afirma con seguridad que el mencionado material tiene efectos significativos en la resistencia a compresión axial.
- Se concluye que la incorporación del aditivo natural MCC en dosis de 1%, 2% y 3%, tiene un efecto directo en el incremento de la resistencia a la flexión (M_r) del concreto, con una tendencia a la mejora a medida que se aumenta el aditivo MCC comparadas con las muestras patrón sin aditivos, especialmente al añadir el 3% de MCC, donde la resistencia a la flexión aumenta en un 4.61% respecto del concreto



patrón (tabla 53, pág. 130). Además, la prueba estadística asevera con certeza que el mencionado material tiene efectos significativos en la resistencia a flexión.

- Se concluye que la incorporación del aditivo natural MCC en dosis de 1%, 2% y 3%, tiene un efecto significativo en el incremento de la trabajabilidad del concreto, comparado con las muestras patrón sin aditivos, cabe indicar que se logró aumentar la trabajabilidad, obteniéndose una mezcla suave y homogénea, a causa de la presencia de agua y sustancia viscosa del mucílago de *cactaceae* columnar, sin perder resistencia mecánica del concreto, sobre todo al añadir el 3% de MCC, donde el asentamiento aumenta en un 134% (de 7.60cm a 17.80cm) respecto del concreto patrón (tabla 54, pág. 132). Además, la prueba estadística corrobora que existe una influencia significativa en la muestra modificada con MCC respecto del concreto patrón.
- Se concluye que la incorporación del aditivo natural MCC en dosis de 1%, 2% y 3%, tiene un efecto significativo en la reducción de la permeabilidad del concreto, comparado con las muestras patrón sin aditivos, principalmente al añadir el 3% en peso del cemento del aditivo natural MCC, donde la permeabilidad disminuye en un 30.99% respecto del concreto patrón (tabla 56, pág. 134). Además, se confirma estadísticamente que se tiene una correlación inversa, y una influencia significativa de las muestras modificadas con MCC respecto del concreto patrón, lo que indica que a medida que se aumenta el MCC la permeabilidad tiende a disminuir en la mayoría de casos.



- Se concluye que la incorporación del aditivo natural MCC en dosis de 1%, 2% y 3%, tiene efectos en el cálculo en el espesor del pavimento principalmente al añadir el 3% del aditivo natural MCC, reduciéndose en 0.54cm (de 18.95 cm a 18.41 cm), (tabla 57, pág. 135). Con respecto a los costos de pavimento por metro cuadrado, la adición del 3% de MCC representa un costo de S/.106.25, que es un 133.11% en comparación con el costo del concreto patrón (S/.79.82). Incrementando los costos en un 33.11%. como indica en la tabla 58 y figura 35, (pp. 136-137).



VI. RECOMENDACIONES

- En este estudio de investigación se utilizó el tipo de *cactaceae* columnar, disponible en la zona procesado en su forma coloidal, para otras investigaciones se recomienda utilizar la forma fibra o solida con el fin de ampliar el conocimiento en esta rama de investigación.
- Para estudios de investigaciones a futuro, relacionado con este trabajo, se recomienda utilizar dosis superiores al 3% sin sobrepasar el 5% de acuerdo a recomendaciones de otros investigadores.
- Se recomienda que se realicen investigaciones en el concreto autocompactante, puesto que se obtuvo un concreto fluido al añadir el 3% del aditivo natural MCC, por lo que conseguirían mejores resultados técnicos y ambientales.
- Para futuros estudios se recomienda realizar comparaciones con aditivos retardantes de fragua y su influencia en la resistencia de concreto, la resistencia frente al hielo y deshielo, con diferentes relaciones agua/cemento.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (1993). *Diseño Estructural de Pavimentos*. (Instituto para el desarrollo de los pavimentos, Trad.) Perú.
- Abanto Castillo, F. (2009). *Tecnología Del Concreto*. Lima-Peru: San Marcos.
- Acha Palomares, A. (2009). Efecto Del Mucílago De Cactus Opuntia Adicionando En Morteros De Cal, En La Absorción Capilar Por El Método Fagerlund. *Tesis de Licenciatura*. Universidad Michoacana De San Nicolás De Hidalgo. doi:http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/7098
- ACI 318S-05. (2005). *Requisitos de Reglamento para el Concreto Estructural*. (C. A. 318, Trad.)
- Aguilar Gomez, D. A., & Dipaz Gamboa, Y. J. (2021). Efecto de la incorporación de fibras de acero reciclado de neumaticos y microsilice en el concreto para el uso en pavimentos rígido en la av. Javier Pérez de Cuéllar, ayacucho, 2021. *Tesis de licenciatura*. Universidad Continental. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/11468>
- Alvarez Pabón, J., & Londoño Naranjo, C. (2008). *Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto para Vías con bajos, medios y altos Volúmenes de Tránsito*. Medellín, Colombia.
- Andrade Huayapa, A. A. (2022). *Aplicación del nopal para modificar las propiedades del pavimento rígido en jirón Lima, distrito de Carmen Salcedo, Ayacucho - 2022*. Universidad César Vallejo, Perú. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/87702>



- Aquilina, A., Borg, R. P., & Buhagiar, J. (2018). The application of Natural Organic Additives in Concrete: *Opuntia ficus-indica*. [Aplicacion de aditivos orgánicos naturales en el hormigon: *Opuntia ficus-indica*]. *OP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 10. Obtenido de <https://www.um.edu.mt/library/oar/handle/123456789/84698>
- ASTM - C39/C39M. (2020). *American Society of Testing Materials-C39/C39M*; Specimens, Standar Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete.
- ASTM 178/C78M. (2021). *Standar Test Method for Flexural Strenght of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*.
- ASTM C-150. (2007). *Especificación Normalizada para Cemento Portland*.
- Bermudez Mauricio, W. R. (2022). *Efecto del mucílago de cactus (Echinopsis Pachanoi) y ceniza de cascara de huevo en la permeabilidad y resistencia del concreto $f'c$ 210kg/cm²*. Universidad César Vallejo, Trujillo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/119034>
- Betancurt Chávez, J. R., Cortés Martínez, F., Rentería Soto, J., Díaz Sierra, A., & Vaquera Celaya, M. (2019). Comportamiento de mezclas de mortero con residuos de mármol (polvo), cáscara de nuez y mucílago de nopal. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 13(1), 17. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/1939/193958877005/193958877005.pdf>
- Bioestadístico.com. (2012). Pincipales pruebas estadísticas. Youtube. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=tCb7Mpcvj6c&list=RDLVtCb7Mpcvj6c&st_art_radio=1&rv=tCb7Mpcvj6c&t=261



- Burga Delgado, C. F., & Hurtado Carrero, W. B. (2023). *Comprtamiento Mecánico del Concreto Adicionando Mucílago de Tuna y Fibra de Cáscara de Maíz*. Universidad Señor de Sipan, Pimentel. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12802/11884>
- Canahui Mollo, R. R. (2021). Análisis comparativo técnico – económico entre pavimento flexible y rígido por los métodos instituto de asfalto y AASHTO-93, en Jr Abraham Valdelomar, urbanización Tambopata, distrito Juliaca, provincia San Román - Puno. *Tesis de Pregrado*. Universidad Peruana Union, Juliaca. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12840/4771>
- Cárdenas, A., Arguelles-Monal, W. M., & Goycolea, F. M. (1998). On the Possible of Opuntia ficus-indica Mucilage in Lime Mortar Performance in the Protection of Historical Buildings. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 9. doi:<https://www.researchgate.net/publication/237810266>
- Celis Avellaneda, J. A., & Requejo Cardozo, G. E. (2023). *Estudio de las Propiedades Mecánicas de un Concreto Incorporando Fibras de Cobre Reciclado y Mucílago de Nopal como Aditivo Natural*. Universidad Señor de Sipan, Pimentel-Peru. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12802/11878>
- Ceroni Stuva, A. H., & Castro Cepero, V. (2013). *MANUAL DE CACTUS Identificación y Origen*. Lima, Perú.
- Cervantes Choquehuayta, C. M., & Espinoza Cuadra, D. (2021). Propuesta De Impermeabilización En Cimentaciones, Realizando Un Diseño De Mezcla Con Tecnología De Bajo Costo Adicionando Mucílago Obtenido Del Nopal Opuntia Ficus-Indica En Lara - Arequipa-Perú. *Tesis de grado*. Universidad Católica De



Santa Maria, Arequipa, Perú. Obtenido de
<https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/11298>

Chandra, S., Eklund, L., & Villareal, R. (1998). Use Of Cactus In Mortars And Concrete. *Cement and Concrete Research*, 28, N°1, 41-51.
doi:[https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(97\)00254-8](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(97)00254-8)

Chavez Pizan, V. N., & Aguirre Mendieta, R. K. (2022). *Comportamiento del Mucílago de Tuna en el Congelamiento - Deshielo del Concreto $f_c=280$ kg/cm² Caserío Melgas, Sayapullo - La Libertad 2022*. Universidad César Vallejo, La libertad.
Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/111617>

Durán Herrera, A., De Leon, R., Juárez, C., & Valdez, P. (8-10 de Octubre de 2012). Mucílago de nopal como reductor de retracción en concreto auto-consolidable. *I Siumposio Latino Americano sobre Concreto Autoadensavel*, 18. Obtenido de https://www.ibracon.org.br/eventos/54CBC/I_SILAMCAA/ART-Alejandro_SILAMCAA.pdf

Ecoasfalt. (15 de Marzo de 2022). www.Ecoasfalt.es. Obtenido de <https://www.ecoasfalt.es/consecuencias-del-asfalto-en-mal-estado-de-conservacion/>

EHE-08. (2011). *Instrucción de Hormigon Estructural*. Centro de Publicaciones, Secretaria General Técnica, Ministerio de Fomento. Obtenido de <http://www.ponderosa.es/docs/Norma-EHE-08.pdf>

Falcon Nestares, L. L. (2022). *Propiedades físicas y mecánicas del concreto hidráulico modificados con mucílago de huaraco en zonas altoandinas, Huancayo, Junín*



2021. Universidad Continental, Huancayo, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/11791>

Forigua Martin, M. D., & Florez Zarta, L. A. (2019). *Evaluación de daños en pavimentos de concreto hidráulico mediante metodología PCI 2016. Caso de estudio: calles 1,2,4 y 5 con carreras 11, 12,13 en el Municipio de Tocaima - Cundinamarca* 2019. Universidad Piloto de Colombia, Colombia. Obtenido de <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/5533>

Francisco Hernández, E. (2012). Permeabilidad a cloruros y carbonatación en concreto conteniendo mucílago de nopal y alginato. *Tesis de Maestría*. INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, Oaxaca, Santa Cruz, México. Obtenido de http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/handle/LITER_CIIDIROAX/179

González, D. E., & Alloza, M. A. (2012). *Materiales de Construcción - Sesiones Prácticas*. La Laguna, España.

Gutierrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos*. México: Mc Graw Hill.

Hernández Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta ed.). Mexico: Mc Graw Hill.

Huamán Contreras, A. K., Murga Tirado, C. E., Massa Palacios, L. A., & Olivera Chura, A. (2023). Ciclo de vida del pavimento orientado a su agrietamiento y mantenimiento. *Lamkasun*, 4, 7. doi:<https://doi.org/10.47797/llamkasun.v4i1.117>

Huerta Maza, M. A. (2020). Uso Del Extracto Del Mucílago Del Cactus Como Aditivo Y Su Influencia En La Consistncia Y En Las Resistencia A La Compresion Del



Concreto. *Tesis de Doctorado*. Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12990/6905>

Huerto Espinoza, W. M. (2018). Comparacion De La Resistencia A Compresion De Un Concreto $F'C=450\text{kg/Cm}^2$ Adicionando El 4% Y 6% De Mucílago De Tuna Y Superplastificante Sika N290 Al Cemento. *Tesis de Grado*. Universidad San Pedro, Huaraz, Perú. Obtenido de <http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/USANPEDRO/8040>

INEI - PUNO. (2018). *Instituto Nacional de Estadística e Informática*. Lima. Obtenido de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1563/21TOMO_01.pdf

Irigoin Barboza, I. (2020). *Evaluación del Deterioro Prematuro del Pavimento Rígido de la Av. Micaela Bastidas, Chota, 2019*. Universidad Nacional Autónoma De Chota, Chota, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14142/157>

Jara Arzapalo, J. F. (2020). *Influencia de la escoria de cobre en la resistencia mecánica del concreto $F'c=210\text{ Kg/cm}^2$ para pavimento rígido, La Oroya – Junín 2020*. Universidad Cesar Vallejo, Lima. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/56143/Jara_AJF-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Julián Caballero, F. (2008). Secado, absorción de agua y difusión de cloruros en concreto conteniendo extracto de nopal. *Tesis de Maestría*. INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, Oaxaca, Santa Cruz, Mexico. Obtenido de http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/handle/LITER_CIIDIROAX/66



- León Martínez, F., Cano-Barrita, P., Lagunez-Rivera, L., & Medina-Torres, L. (2014). Study of nopal mucilage and marine brown algae extract as viscosity-enhancing admixtures for cement based materials. *Construction and Building Materials*, 13. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.068>
- León, M., & Ramirez, F. (2010). Caracterización Morfológica de agregados para concreto mediante el análisis de imágenes. *Revista Ingeniería de Construcción*, 215-240. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732010000200003>
- Manual de Carreteras MTC. (2013). *Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos - Sección suelos y Pavimentos*. Lima, Peru.
- Martínez Molina, W. (2018). Adiciones Verdes a Materiales base cemento Portland, para aumentar la durabilidad en obras civiles. *Doctorado En Ingeniería*. Universidad Autónoma De Querétaro, Querétaro, MEXICO. doi:<https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/1051>
- Martínez, W., Alonso, E., Rubio, J., Bedolla, J., Velasco, F., & Torres, A. (2008). Comportamiento Mecánico de Morteros de Cal Apagada Artesanalmente, Adicionados con Mucílago de Cactácea y Ceniza Volcánica, para su uso en Restauración y Conservación de Monumentos Coloniales. *Revista de la Construcción*, 10. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=127612584009>
- Monsalve Escobar, L. M., Giraldo Vasquez, L. C., & Maya Gaviria, J. (2012). *DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE Y RIGIDO*. Armenia, Colombia.
- MTC, Crecimiento de parque automotor. (2022). *Parque Automotor Nacional Estimado por Clase Vehicular, según Departamento: 2011 - 2022*. Obtenido de Ministerio



de Transportes y Comunicaciones: <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/344892-estadistica-servicios-de-transporte-terrestre-por-carretera-parque-automotor>

Norma Técnica Peruana 339.035. (2009). *Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland* (3 ed.). Lima.

Norma Técnica Peruana NTP 334.009. (2020). *Dirección de Normalización - INACAL*. Lima, Peru: 7° Edición.

NTP 339.088. (2006). *NORMA TÉCNICA PERUANA*.

NTP 400.011. (2020). *NORMA TÉCNICA PERUANA, AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso de morteros y concretos*. Lima, Perú: Dirección de Normalización INACAL.

NTP 400.017. (2020). *NORMA TECNICA PERUANA, Agregados. Método para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("peso unitario") y los vacíos de los agregados*. Lima, Perú: Dirección de normalización INACAL.

Oloya Pérez, R. A., & Ponce Mendoza, G. (2019). Influencia del uso del Mucílago de Cactus Echinopsis Pachanoi como Aditivo Natural para Evaluar la resistencia a compresión, consistencia y permeabilidad del concreto en la ciudad de Trujillo. *Universidad Privada Antenor Orrego*, 144. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12759/4774>

Pacco Chua, J. J. (2021). *Propiedades Físico Mecánica Del Concreto Hidráulico Modificado Con Mucílago De Waraco Para Pavimentos Rígidos, Macusani, Puno 2021. Tesis de Grado*. Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/74871>



- Paredes Castro, K. (2022). Influencia De La Incorporacion Del Mucílago De Nopal En Las Propiedades Del Concreto En Estado Fresco Y Endurecido. *Tesis de Grado*. Universidad Católica santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, Perú. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12423/4922>
- Pasquel Carbajal, E. (1998). *Temas De Tecnologia Del Concreto En El Peru*. Lima Peru.
- Pérez Castellanos, N. A. (2009). Formulacion de un mortero de inyeccion con mucílago de nopal para restauracion de Pintura Mural. *Restauracion y Museografia*, 5. Obtenido de <https://revistas.inah.gob.mx/index.php/foro/article/view/4611/4652>
- Quispe Tito, G. A. (2022). *Plan de mantenimiento vial en función del PCI para pavimentos rígidos del Jirón Puno de la ciudad de Juliaca, 2022*. Universidad Cesar Vallejo, Callao, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/97898>
- Ramirez-Arellanes, S., Cano-Barrita, P. d., Julian-Caballero, F., & Gómez-Yáñez, C. (2012). Propiedades de durabilidad en hormigon y analisis microestructural en pastas de cemento con adiccion de mucílago de nopal como aditivo natural. *Fundacion Dialnet*, 327-341. Obtenido de <https://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/818/873>
- Ramos Vásquez, J. C. (2017). Influencia De Las Propiedades De Un Concreto F'C=210kg/Cm2 Con La Adiccion De Mucílago De Tuna, Chimbote, Ancash - 2017. *Tesis de Grado*. Universidad Cesar Vallejo, Nuevo Chimbote, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/12231>
- Rivva López, E. (2000). *Naturaleza y Materiales del Concreto*. Lima-Perú.



Rivva López, E. (2002). *Concreto de Alta Resistencia*. Lima-Peru: Fondo Editorial ICG.

Rivva López, E. (2004). *Control del Concreto en Obra*. Fondo Editorial ICG.

Rodriguez-Gonzales, Sarahi; Martinez-Flores, H. E.; Omelas-Nuñez, J. L.; Garnica-Romo, M. G.; (2011). Optimización De La Extracción Del Mucílago De Nopal (Opuntia Ficus-Indica). *XIV Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería*. Obtenido de <https://smbb.mx/congresos%20smbb/queretaro11/TRABAJOS/trabajos/III/carteles/CIII-71.pdf>

Salinas Salazar, V. M., Trejo Marquez Ma, A., & Lira Vargas, A. (2015). Propiedades Físicas, Mecánicas Y De Barrera De Películas Comestibles A Base De Mucílago De Nopal Como Alternativa Para La Aplicación De Frutos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. doi:<https://www.redalyc.org/pdf/813/81343176007.pdf>

Sanchez Sabogal, F. (2014). *ESFUERZOS EN PAVIMENTOS RIGIDOS*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/castilloaroni/mdulo-3-esfuerzos-en-pavimentos-rigidos-fernando-snchez-sabogal>

Solís Carcaño, R., Moreno, E., & Arcudia abad, C. (2008). Estudio de la resistencia del concreto por el efecto combinado de la relación agua-cemento, la relación grava-arena y el origen de los agregados. Obtenido de https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0254-07702008000300002&script=sci_arttext

Torre Carrilo, A. (2004). *Curso Básico de Tecnología del Concreto para Ingenieros Civiles*. Lima, Perú.



Torres Acosta, A., & Días Cruz, L. (2020). Mejora de la Durabilidad del concreto a partir de adiciones de nopal (opuntia ficus indica). doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118170>

UNE - EN 12390 - 8. (2009). *Ensayo de Hormigon Endurecido. Parte 8: Profundidad de penetracion de agua bajo presion*. España.

Valverde cortez, A. A. (2023). *Determinación de la resistencia a compresión axial del concreto estructural $f'c=210$ kg/cm integrando a la mezcla como aditivo natural el mucílago de penca de tuna en la ciudad de Abancay, 2022*. Universidad Tecnológica De Los Andes, Abancay. Obtenido de <https://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/492>

Vásquez A., R. (2012). *Cemento y sus aplicaciones*. Perú: Cementos Pacasmayo S.A.A. Obtenido de 100611_Cemento_y_sus_aplicaciones-libre.pdf

Vilca Blanco, R. O. (2021). Aporte estructural del adobe aplicando mucílago líquido vegetal de Cactus, Moho, Puno, 2021. *Tesis de Grado*. Universidad Cesar Vallejo, Callao, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/72138>

www.jardineriaon.com. (13 de Agosto de 2020). *cactus resistentes al frío*. Obtenido de <https://www.jardineriaon.com/cactus-resistentes-al-frio.html>



VIII. ANEXOS

Anexo N.º 01: Matriz de consistencia.

Anexo N.º 02: Operacionalización de variables

Anexo N.º 03: Caracterización del mucílago de *cactaceae*

Anexo N.º 04: Ensayo de agregados

Anexo N.º 05: Diseño de mezcla

Anexo N.º 06: Ensayo de control de concreto fresco

Anexo N.º 07: Resultados de resistencia a la compresión

Anexo N.º 08: Resultados de resistencia a la flexión

Anexo N.º 09: Resultados de permeabilidad de concreto

Anexo N.º 10: Cálculo de espesor de pavimento rígido

Anexo N.º 11: Normativas ASTM

Anexo N.º 12: Certificados de calibración

Anexo N.º 13: Análisis de costo unitario de concreto para pavimentos rígidos

Anexo N.º 14: Panel fotográfico



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo JOSUE LINO CACERES SONCCO
identificado con DNI 45521884 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERIA CIVIL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
" EFECTOS DE LA ADICION DE MUCILAGO DE CACTACEAE COLUMNAR EN LAS
PROPIEDADES MECANICAS DEL CONCRETO HIDROFUCO PARA SU APLICACION
EN PAVIMENTOS RIGIDOS EN LA CIUDAD DE JULIACA - 2022 "

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y no existe plagio/copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 12 de Julio del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo JOSUE LINO CACERES SONCCO identificado con DNI 45521834 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA CIVIL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

" EFECTOS DE LA ADICION DE MUCILAGO DE CACTACEAE COLUMNAR EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL CONCRETO HIDRAULICO PARA SU APLICACION EN PAVIMENTOS RIGIDOS EN LA CIUDAD DE JULIACA - 2022 "

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 12 de Julio del 20 24


FIRMA (obligatoria)



Huella