

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERIA.

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL.



**ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS ADITIVOS HIDRÓFUGOS, POR
CRISTALIZACIÓN Y BLOQUEADORES DE POROS EN LA
PERMEABILIDAD DE MORTEROS DE CEMENTO TIPO I.**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: CONSTRUCCIÓN Y MATERIALES

AUTORES:

BR. JUAN JULIO, LEYVA LEIVA

BR. ALEXANDER NEYCER, ORBEGOSO VILLAVICENCIO

ASESOR:

ING. ROCÍO DEL PILAR DURAND ORELLANA

TRUJILLO-PERÚ

2019

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERIA.

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL.



**ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS ADITIVOS HIDRÓFUGOS, POR
CRISTALIZACIÓN Y BLOQUEADORES DE POROS EN LA
PERMEABILIDAD DE MORTEROS DE CEMENTO TIPO I.**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: CONSTRUCCIÓN Y MATERIALES

AUTORES:

BR. JUAN JULIO, LEYVA LEIVA

BR. ALEXANDER NEYCER, ORBEGOSO VILLAVICENCIO

ASESOR:

ING. ROCÍO DEL PILAR DURAND ORELLANA

TRUJILLO-PERÚ

2019

MIEMBROS DEL JURADO

Ing. Cesar Leónidas Cancino Rodas
PRESIDENTE
CIP: 77103

Ing. Oswaldo Hurtado Zamora
SECRETARIO
CIP: 63712

Ing. Rolando Ochoa Zevallos
VOCAL
CIP: 9133

Ing. Rocío del Pilar Durand Orellana
ASESOR
CIP: 60518

PRESENTACIÓN

Señores Miembros del Jurado:

En cumplimiento al reglamento vigente de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada Antenor Orrego, entrego al criterio de evaluación la tesis titulada “**ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS ADITIVOS HIDRÓFUGOS, POR CRISTALIZACIÓN Y BLOQUEADORES DE POROS EN LA PERMEABILIDAD DE MORTEROS DE CEMENTO TIPO I**”, con la finalidad de optar el título profesional de Ingeniero civil.

Atentamente.

Br. Leyva Leiva, Juan Julio

Br. Orbegoso Villavicencio, Alexander Neycer

Trujillo, 29 de noviembre del 2019.

DEDICATORIA

Le dedico a mi Madre,
Por su amor incondicional
Y su ejemplo de vida,
Este trabajo de investigación.

Bar. Leyva Leiva, Juan Julio.

A mis padres y hermano,
con mucho amor y cariño,
le dedico todo mi esfuerzo y
trabajo puesto en la realización
de la tesis.

Bar. Orbegoso Villavicencio, Alexander Neycer.

AGRADECIMIENTO

A la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Privada Antenor Orrego, por los conocimientos y enfoques transmitidos para lograr una excelente formación profesional.

A la asesora de la presente investigación, Ing. Rocío Del Pilar Durand Orellana, quien, con su apoyo constante, permitió culminar esta investigación.

Al Bar. Antero López Vera encargado del laboratorio de Suelos II, por su apoyo con el uso de los laboratorios y cooperación en la realización de los ensayos.

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo principal comparar el desempeño de tres tipos de aditivos impermeabilizantes: Hidrofugo, bloqueador de poros y por cristalización, para lo cual, se confeccionaron probetas de morteros utilizando cemento Pacasmayo Tipo I y arena fina obtenida de la cantera “Los Charros”, en el distrito de Huanchaco, Trujillo. Se evaluó el grado de absorción, el Índice de vacíos permeables y la capilaridad. Los aditivos impermeabilizantes usados para los ensayos fueron de la marca Sika; para evaluar el grupo de aditivos hidrófugos se usó Sika-1 en polvo a una dosificación de 2% en peso por bolsa de cemento, Sika-100 al 2 % para el grupo de aditivo bloqueador de poros y para el grupo de aditivos por cristalización se utilizó Sika WT-200P al 1%, además se utilizó un cuarto grupo de control al cual no se adiciono ningún aditivo impermeabilizante para comparar el efecto de los tres grupos anteriores. El mejor comportamiento lo presento el grupo de aditivos impermeabilizantes que actúa por cristalización obteniendo 11.20 % en el grado de absorción lo cual represento una reducción del 22.08 % frente al grupo de control sin adición de aditivo impermeabilizante, 14.15 % fue lo que se obtuvo para el índice de vacíos permeables siendo una reducción del 34.43 %; para la capilaridad se obtuvo $1.21E-03 \text{ gr}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})$ representando una reducción del 93.50 %. El grupo de aditivo hidrofugo fue el siguiente en mejor desempeño y el tipo de aditivo impermeabilizante bloqueadores de poros fue el que obtuvo el menor desempeño.

ABSTRACT

The main objective of this study was to compare the performance of three types of waterproofing additives: Water repellent, pore blocker and crystallization, for which, mortars were made using Pacasmayo Type I cement and fine sand obtained from the quarry "Los Charros", in the district of Huanchaco, the province of Trujillo. The degree of absorption, the Index of permeable voids and capillarity were evaluated. The waterproofing additives used for the tests were of the Sika brand; To evaluate the group of water-repellent additives Sika-1 powder was used at a dosage of 2% by weight per bag of cement, Sika-100 2% for the pore block additive group and for the crystallization additive group Sika WT-200P 1%, a fourth control group was also found to which no waterproofing additive was added to compare the effect of the three previous groups. The best performance was presented by the group of waterproofing additives that acts by crystallization obtaining 11.20% in the degree of absorption which represents a reduction of 22.08% compared to the control group without the addition of waterproofing additive, 14.15% was what was recorded for the permeable void index is a reduction of 34.43%; for capillarity $1.21E-03 \text{ gr} / (\text{cm}^2 * \text{min})$ was obtained representing a reduction of 93.50%. The hydrophobic additive group was the next best performer and the type of pore block waterproofing additive achieved the lowest performance.

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
INDICE DE TABLAS	x
INDICE DE FIGURAS	xiii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Realidad Problemática.	1
1.2. Formulación del Problema.....	2
1.3. Objetivos de la Investigación	2
1.3.1. Objetivo General.....	2
1.3.2. Objetivos Específicos	2
1.4. Justificación de la Investigación	3
1.4.1 Importancia de la Investigación	3
1.4.2. Viabilidad de la investigación	3
1.4.3. Alcances y limitaciones	3
CAPÍTULO II: MARCO DE REFERENCIA	5
2.1. Antecedentes del Estudio	5
2.2. Marco Teórico.....	8
2.2.1. Cemento Portland.....	8
2.2.2. Agregado fino	9
2.2.3. Mortero de Cemento.....	9
2.2.4. Mortero para revestimiento.....	9
2.3. Marco Conceptual	9
2.3.1. La permeabilidad del mortero	9
2.3.2. Porosidad de morteros	10
2.3.3. Agua en la pasta de cemento	12
2.3.3.1. Agua químicamente ligada	13
2.3.3.2. Agua interlaminar	13
2.3.3.3. Agua absorbida	13
2.3.3.4. Agua Capilar.....	13
2.3.4. Relación entre porosidad y permeabilidad	14
2.3.5. Grado de absorción de agua	14
2.3.6. Índice de vacíos permeables.....	14
2.3.7. Ascensión capilar	15
2.3.8. Absorción capilar	15
2.3.9. La permeabilidad bajo presión hidráulica	17
2.3.10 Concreto de baja permeabilidad.....	18
2.3.11 Aditivos impermeabilizantes	

2.3.11.1.	Hidrófugos.....	19
2.3.11.2.	Solidos finamente divididos.....	21
2.3.11.3.	Los materiales cristalinos.....	22
2.3.12.	Control de calidad.....	23
2.4.	Hipótesis.....	24
2.5.	Variables y definición operacional.....	24
CAPÍTULO III: METODOLOGIA.....		26
3.1.	Tipo y nivel de investigación.....	26
3.1.1.	Descripción.....	26
3.2.	Población y Muestra	27
3.3.	Técnicas e instrumentos de investigación	29
3.4.	Diseño de investigación.....	30
3.4.1.	Estudio de las Propiedades Físicas de Agregado Fino	30
3.4.1.1.	Peso Específico y Absorción del Agregado Fino NTP 400.022, 2013 - ASTM C128.....	30
3.4.1.2.	Peso Unitario Suelto y Compactado del Agregado Fino: NTP 400.017:2013– ASTM 29	31
3.4.1.3.	Contenido de Humedad: NTP 339.185:2013 - ASTM C 70.....	32
3.4.1.4.	Análisis Granulométrico de los Agregados. NTP 400.012:2001 – ASTM C136.....	33
3.4.1.5.	Cantidad de Agregados Finos que pasan por el tamiz N°200: NTP 400.018, 2013 ASTMC117.....	34
3.4.2.	Diseño de Mezclas	35
3.4.3.	Método de Dosificación	35
3.4.4.	Determinación del grado de absorción de agua	37
3.4.5.	Índice de vacíos permeables.....	38
3.4.6.	Determinación de la capilaridad	39
3.5.7.	Determinación de la permeabilidad de un mortero cemento/arena.	40
3.5.	Procesamiento y análisis de los datos.....	43
3.5.1.	Procesamiento de datos.....	44
3.5.1.1.	Nivel de significancia	44
3.5.1.2.	Criterio de rechazo	44
3.5.1.3.	Promedio	44
3.5.1.4.	Varianza	45
3.5.1.5.	Desviación estándar	45
3.5.1.6.	Coeficiente de variación	45
3.5.2.	Análisis de datos	46
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....		47
4.1.	Resultados de los Ensayos de Laboratorio del Agregado Fino.	48
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS		62
CONCLUSIONES.....		62
RECOMENDACIONES		63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		64

APENDICE A	
Determinación de la cantidad de material para cada tanda de mezcla de mortero cemento arena	66
APÉNDICE B	
Resultados de ensayos y pruebas de normalidad en SPSS (Método Shapiro-Wilk)	70
APENDICE C	
Método de los trapecios	11
ANEXO 1	
Especificaciones Técnicas de los Aditivos Impermeabilizantes	118
Ficha técnica Sika WT-200P	119
Ficha técnica Sika 1	121
Ficha técnica Sika 100	123
ANEXO 2	
Panel Fotográfico	125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 01.- Propiedades y valores para la obtención de un concreto de baja permeabilidad	18
Tabla N° 02.- Clasificación de la permeabilidad del concreto de acuerdo a la NTC 4483.	19
Tabla N° 03.- Causas comunes que generan variabilidad de resultados en muestras de mortero.	23
Tabla N° 04.- Cuadro de operacionalización de Variables.	25
Tabla N° 05.- Codificación de grupos experimentales.	26
Tabla N° 06.- Codificación de muestras experimentales y dosis de Aditivo.	36
Tabla N° 07.- Análisis Granulométrico del agrega fino.	48
Tabla N° 08.- Contenido de Humedad del Agregado Fino.	49
Tabla N° 09.- Peso Unitario Suelto del Agregado Fino.	50
Tabla N° 10.- Peso Unitario Compactado del Agregado Fino.	51
Tabla N° 11.- Peso Específico y Absorción del Agregado Fino.	51
Tabla N° 12.- Porcentaje pasante de malla N° 200 - Agregado Fino.	52
Tabla N° 13.- Resumen de resultados de grado de absorción de agua y índice de vacíos permeables en diferentes mezclas de mortero... ..	53
Tabla N° 14.- Resumen de resultados de los ensayos de la capilaridad y permeabilidad, en diferentes mezclas de mortero.... ..	55
Tabla N° 15.- Variaciones porcentuales de sus propiedades en el mortero usando diferentes tipos de aditivo impermeabilizantes en comparación a la mezcla patrón sin aditivo(M0).	60
Tabla N° 16.- Análisis de resultados de la prueba Shapiro - Wilk de las mezclas de mortero.....	61
Tabla N° 17.-Propiedades de los materiales.	67
Tabla N° 18: Cantidad de materiales en probetas para ensayos de capilaridad, índice de vacíos permeables y grado de absorción. ...	68
Tabla N°19.- Cantidad de materiales en probetas para ensayos de permeabilidad.....	69
Tabla N°20.- Resultados de Ensayo de Absorción de Agua (%) del Grupo patrón sin aditivo impermeabilizante M0.	71
Tabla N°21.- Resultados de Índice de vacíos permeables (%) del Grupo patrón sin aditivo impermeabilizante M0.	71
Tabla N°22.- Resultados de la capilaridad [gr/(cm ² *min)] del Grupo patrón sin aditivo impermeabilizante M0.	71
Tabla N° 23.- Resultados de permeabilidad (cm/s) del Grupo patrón sin aditivo impermeabilizante M0.....	72
Tabla N°24.- Parámetros estadísticos suplementarios de ensayos del grupo M0.	72
Tabla N°25.-Frecuencia de resultados de grado de Absorción (%) del grupo M0.	72
Tabla N°26.-Frecuencia de resultados de Índice de Vacíos permeables	

(%) del grupo M0.....	73
Tabla N°27.-Frecuencia de resultados de Capilaridad [gr/(cm ² *min)] del grupo M0.	73
Tabla N°28.-Frecuencia de resultados de Permeabilidad (cm/seg) del grupo M0.	73
Tabla N°29.- Resultados de Ensayo de Absorción de Agua (%) del Grupo patrón sin aditivo impermeabilizante M1.	82
Tabla N°30.- Resultados de Índice de vacíos permeables (%) del Grupo patrón sin aditivo impermeabilizante M1.	82
Tabla N°31.- Resultados de la capilaridad [gr/(cm ² *min)] del Grupo patrón sin aditivo impermeabilizante M1.	82
Tabla N°32.- Resultados de permeabilidad (cm/s) del Grupo patrón sin aditivo impermeabilizante M1.	83
Tabla N°33.- Parámetros estadísticos suplementarios de ensayos del grupo M1.	83
Tabla N°34.-Frecuencia de resultados de grado de Absorción (%) del grupo M1.	83
Tabla N°35.-Frecuencia de resultados de Índice de Vacíos permeables (%) del grupo M1.....	84
Tabla N°36- Frecuencia de resultados de Capilaridad [gr/(cm ² *min)] del grupo M1.	84
Tabla N°37.-Frecuencia de resultados de Permeabilidad (cm/s) del grupo M1.....	84
Tabla N°38.- Resultados de Ensayo de Absorción de Agua (%) del Grupo patrón sin aditivo impermeabilizante M2.	93
Tabla N°39.- Resultados de Índice de vacíos permeables (%) del Grupo patrón sin aditivo impermeabilizante M2.	93
Tabla N°40.- Resultados de la capilaridad [gr/(cm ² *min)] del Grupo patrón sin aditivo impermeabilizante M2.	93
Tabla N°41.- Resultados de permeabilidad (cm/s) del Grupo patrón sin aditivo impermeabilizante M2.	94
Tabla N°42.- Parámetros estadísticos suplementarios de ensayos del grupo M2.	94
Tabla N°43.-Frecuencia de resultados de grado de Absorción (%) del grupo M2.	94
Tabla N°44.-Frecuencia de resultados de Índice de Vacíos permeables (%) del grupo M2.....	95
Tabla N°45.-Frecuencia de resultados de Capilaridad [gr/(cm ² *min)] del grupo M2.	95
Tabla N°46.-Frecuencia de resultados de Permeabilidad (cm/s) del grupo M2.	95
Tabla N°47.- Resultados de Ensayo de Absorción de Agua (%) del Grupo patrón sin aditivo impermeabilizante M3.	104
Tabla N°48.- Resultados de Índice de vacíos permeables (%) del Grupo Patrón sin aditivo impermeabilizante M3.....	104

Tabla N°49.- Resultados de la capilaridad [gr/(cm ² *min)] del Grupo patrón sin aditivo impermeabilizante M3.	104
Tabla N°50.- Resultados de permeabilidad (cm/s) del Grupo patrón sin aditivo impermeabilizante M3.	105
Tabla N°51.- Parámetros estadísticos suplementarios de ensayos del grupo M3.	105
Tabla N°52.-Frecuencia de resultados de grado de Absorción (%) del grupo M3.	105
Tabla N°53.-Frecuencia de resultados de Índice de Vacíos permeables (%) del grupo M3.	106
Tabla N°54.-Frecuencia de resultados de Capilaridad [gr/(cm ² *min)] del grupo M3.	106
Tabla N°55.-Frecuencia de resultados de Permeabilidad (cm/s) del grupo M3.	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Reducción de la permeabilidad de concreto usando aditivos, usando el método modificado BS EN 12390-8. Presión= 1 Mpa. Tiempo = 96 horas.	8
Figura 2.- Modelo simplificado de la estructura de la pasta de cemento.	11
Figura 3.- Modelo esquemático de Feldman-Sereda muestra los tipos de agua asociados con el silicato de calcio hidratado (C-S-H).	12
Figura 4.- Filtración de agua por absorción capilar para varios tipos de cementantes para una relación a/c de 0.45.	16
Figura 5.- Interacción concreto: (a) Sin aditivo y (b) Con aditivo hidrófugo	20
Figura 6.- Absorción de agua de un concreto de cemento portland ordinario (OPC) con ingrediente hidrófugo (BS EN 1881-122) con 28 días de edad y a/c de 0.40	20
Figura 7.- Mecanismo de los sólidos finos.	21
Figura 8.- Ensayo de capilaridad	39
Figura 9.- Fleco capilar o para Área mojada.	40
Figura 10.- Propuesta de permeámetro.	42
Figura 11.- Detalle de la muestra dentro del permeámetro.	42
Figura 12.- Análisis granulométrico del agregado fino y los límites granulométricos.	48
Figura 13.- Valores Promedios de Grado de Absorción de agua versus diferentes tipos de mezcla.	53
Figura 14.- Valores Promedios del índice de vacíos permeables versus diferentes tipos de mezcla.	54
Figura 15.- Valores Promedios de Capilaridad versus diferentes tipos de mezcla.	55
Figura 16.- Valores Promedios de Permeabilidad versus diferentes tipos de mezcla.	56
Figura 17.- Residuos Vs % de Probabilidad Normal en función al grado de Absorción del grupo M0	75
Figura 18.- Residuos Vs Valor Observado en función al grado de Absorción del grupo M0	75
Figura 19.- Residuos Vs % de Probabilidad Normal en función al Índice de vacíos permeables del grupo M0	77
Figura 20.- Residuos Vs Valor Observado en función al Índice de vacíos permeables del grupo M0.	77
Figura 21.- Residuos Vs % de Probabilidad Normal en función a la Capilaridad del grupo M0	79
Figura 22.- Residuos Vs Valor Observado en función a la Capilaridad del grupo M0	79
Figura 23.- Residuos Vs % de Probabilidad Normal en función a la Permeabilidad del grupo M0.	81
Figura 24.- Residuos Vs Valor Observado en función a la Permeabilidad del	

grupo M0	81
Figura 25.- Residuos Vs % de Probabilidad Normal en función al grado de Absorción del grupo M1	86
Figura 26.- Residuos Vs Valor Observado en función al grado de Absorción del grupo M1.	86
Figura 27.- Residuos Vs % de Probabilidad Normal en función al índice de vacíos permeables del grupo M1.	88
Figura 28.- Residuos Vs Valor Observado en función al índice de vacíos permeables del grupo M1.....	88
Figura 29.- Residuos Vs % de Probabilidad Normal en función a la Capilaridad del grupo M1.	90
Figura 30.- Residuos Vs Valor Observado en función a la Capilaridad del grupo M1.	90
Figura 31.- Residuos Vs % de Probabilidad Normal en función a la Permeabilidad del grupo M1.....	92
Figura 32.- Residuos Vs Valor Observado en función a la Permeabilidad del grupo M1.	92
Figura 33.- Residuos Vs % de Probabilidad Normal en función al grado de Absorción del grupo M2.	97
Figura 34.- Residuos Vs Valor Observado en función al grado de Absorción del grupo M2.	97
Figura 35.- Residuos Vs % de Probabilidad Normal en función al índice de vacíos permeables del grupo M2.	99
Figura 36.- Residuos Vs Valor Observado en función al índice de vacíos permeables del grupo M2.....	99
Figura 37.- Residuos Vs % de Probabilidad Normal en función a la Capilaridad del grupo M2.	101
Figura 38.- Residuos Vs Valor Observado en función a la Capilaridad del grupo M2.	101
Figura 39.- Residuos Vs % de Probabilidad Normal en función a la Permeabilidad del grupo M2.....	103
Figura 40.- Residuos Vs Valor Observado en función a la Permeabilidad del grupo M2.	103
Figura 41.- Residuos Vs % de Probabilidad Normal en función al grado de Absorción del grupo M3.....	108
Figura 42.- Residuos Vs Valor Observado en función al grado de Absorción del grupo M3.	108
Figura 43.- Residuos Vs % de Probabilidad Normal en función al índice de vacíos permeables del grupo M3.	110
Figura 44.- Residuos Vs Valor Observado en función al índice de vacíos permeables del grupo M3.....	110
Figura 45.- Residuos Vs % de Probabilidad Normal en función a la Capilaridad del grupo M3.	112
Figura 46.- Residuos Vs Valor Observado en función a la Capilaridad	

del grupo M3.	112
Figura 47.- Residuos Vs % de Probabilidad Normal en función a la Permeabilidad del grupo M3.....	114
Figura 48.- Residuos Vs Valor Observado en función a la Permeabilidad del grupo M3.	114
Figura 49.- Probeta Fracturada para la aplicación del método de los trapecios...	116
Figura 50.- Integral bajo la curva.	116

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática.

Se ha observado que, el concreto presenta un grado de porosidad por tal está expuesto a el ataque de agentes agresivos que podrían afectar su durabilidad deteriorándolo química y físicamente; la propiedad que detalla la dificultad o facilidad con la que ingresan estos agentes al concreto, es la Permeabilidad.

Una elevada permeabilidad trae como consecuencia una destrucción del concreto o mortero; en general las estructuras se encuentran expuestas a la humedad, sulfatos, ácidos y cloruros del ambiente; además también por su uso al agua. Las estructuras expuestas a la acción del agua como piscinas, tanques, cisternas, canales de irrigación, represas, etc. generalmente cuentan con un diseño de mezcla considerando el uso de un aditivo impermeabilizante, logrando que la acción del agua sea inocua. Hay una variedad de aditivos impermeabilizantes en el mercado local; que se pueden dividir en tres grupos: hidrofóbicos, solidos finos y materiales por cristalización. sin embargo, es necesario conocer experimentalmente cual es el grado de permeabilidad que brindan y poder evaluar su efectividad. (ACI 212.3R-10, 2010).

Problemas comunes como filtraciones, fluorescencia y agrietamientos en concretos o morteros supuestamente impermeabilizados tienen varias causas como por ejemplo una mala elección en el tipo de impermeabilizante por desconocimiento de su mecanismo de acción, una inadecuada dosificación del aditivo, así como un diseño de mezcla deficiente. La permeabilidad en el concreto y morteros obedece a factores como: el tamaño máximo del agregado, relación a/c, al curado y del tipo de cemento. Cada una de estos términos podría tener como consecuencia que el concreto o mortero no cuente con una resistencia a la penetración de líquidos acuosos y gases. Teniendo prontamente efectos de degradación provocados por el agua o fenómenos ligados a este, como por ejemplo el hielo y deshielo.

En el caso de la elaboración de morteros impermeables, su porosidad depende del tipo de conglomerante utilizado (cemento, cales, yesos, etc.), la cantidad de

agua, el grado de hidratación y el empleo del aditivo. Siendo esté la primera línea de defensa contra el ataque de agentes agresivos del concreto nos concentraremos en estudiar la permeabilidad del mortero mediante ensayos normalizados evaluando comparativamente la eficiencia de los reactivos impermeabilizantes en el mercado.

1.2. Formulación del Problema.

¿Qué grupo de aditivo impermeabilizante alcanza la menor tasa de permeabilidad en morteros de cemento?

1.3. Objetivos de la Investigación.

1.3.1. Objetivo General.

Realizar el estudio comparativo de tres grupos de aditivos impermeabilizantes: Hidrófugos (Sika-1 en Polvo), Bloqueadores de poros (Sika-100 Impermeable) y por cristalización (Sika-WT-200P) para elaborar morteros con cemento portland tipo I.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Definir el efecto de la adición de un aditivo impermeabilizante sobre la capilaridad en un mortero de cemento.
- Determinar el efecto de la adición de una cantidad de aditivo impermeabilizante sobre la permeabilidad de un mortero de cemento.
- Evaluar el volumen de poros permeables con el uso aditivos impermeabilizantes.
- Caracterizar las propiedades físicas del agregado fino: Humedad, peso específico, peso unitario, absorción y módulo de finura.
- Realizar el diseño de mezcla, utilizando diferentes dosificaciones de los aditivos impermeabilizantes dentro de los rangos determinados por el fabricante y antecedentes.

1.4. Justificación de la Investigación.

1.4.1. Importancia de la Investigación.

En obras hidráulicas el poder prevenir y solucionar problemas de filtraciones de agua es lo fundamental; actualmente en el mercado contamos con una variedad de aditivos impermeabilizantes que por su naturaleza ofrecen diferentes mecanismos de acción, sin embargo, no conocemos el grado de eficiencia de estos productos, los efectos en otras propiedades; donde las fichas técnicas proporcionadas por el fabricante se basan en ensayos realizados con materiales diferentes a los empleados en el mercado nacional, además de una insuficiente información de la composición química de los aditivos, por lo cual un estudio comparativo nos brindara un panorama de resultados prácticos a esperar con la finalidad de contar con la confianza suficiente para su aplicación.

1.4.2. Viabilidad de la investigación.

La investigación empleo como recurso humano a los tesisistas, y aprovecho el acceso a los laboratorios de la universidad para realizar los ensayos requeridos; para lo cual se tramito el permiso correspondiente, los materiales fueron adquiridos con recursos propios.

Para la elaboración del informe de tesis, la información se sustrajo de la biblioteca de especialidad de ingeniería civil y central de la universidad privada Antenor Orrego; complementando la información con la navegación en internet.

1.4.3. Alcances y limitaciones.

El mortero se contiene una proporción de 1:4 en volumen fue elaborado con cemento portland Pacasmayo tipo I, debido a que, este producto es el más comúnmente usado en la localidad, los agregados son de la cantera “Los Charros” ubicada en la vía de evitamiento Km 85 distrito de Huanchaco, provincia de Trujillo; con una relación de $a/c = 0.50$ en la que se utilizó agua potable de la ciudad de Trujillo y el método de curado por inmersión en agua.

Los aditivos impermeabilizantes son productos comercializados por Sika Perú S.A. agencia de Sika AG empresa transnacional de Suiza.

El Laboratorio de suelos II y pavimentos de la escuela de Ingeniería Civil en la UPAO, actualmente, no cuenta con equipos e instrumentos para determinar y medir la permeabilidad de un mortero directamente. Por esta razón, el grado de

absorción y la capilaridad del mortero de cemento se determinaron mediante procedimientos estandarizados, mientras que el procedimiento estándar para determinar la permeabilidad fue modificado, con la finalidad de obtener un resultado más acorde a la realidad problemática planteada.

El tamaño de la muestra fue reducido al mínimo necesario, sin perder el nivel de confiabilidad para la población, y asegurando la obtención de resultados confiables.

CAPÍTULO II: MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes del estudio.

- Gallo y Murga (2017), en su tesis de grado “Evaluación de la resistencia a compresión y permeabilidad del concreto permeable $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, usando el aditivo sikament-290n con agregados de la cantera del rio chonta de la ciudad de Cajamarca, 2017” tuvo como objetivo principal determinar las variaciones en las propiedades de resistencia a la compresión y permeabilidad de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ cuando se agrega un aditivo impermeabilizante. Las probetas fueron debidamente curadas, dosificadas con sikament-290N al 1% en peso por cemento y ensayadas a los 28 días de maduración; obteniendo como resultado una resistencia a la compresión promedio máxima de 107.3 kg/cm^2 y un coeficiente de permeabilidad promedio de 22 mm/s (p.68).

Esta investigación nos proporciona un rango de dosificación del tipo de aditivo impermeabilizante que actúa como bloqueador de poros y resultados para comparar el coeficiente de permeabilidad promedio.

- Bustamante (2017), realizó el “Estudio de la correlación entre la relación agua/cemento y la permeabilidad al agua de concretos usuales en Perú”. El objetivo de esta tesis es encontrar la correlación a/c que nos permita obtener el menor coeficiente de permeabilidad; para lo cual el concreto de cemento tipo I, se elaboró con diseños de mezcla con las relaciones a/c de 0.45, 0.5, 0.6 y 0.7; los ensayos tuvieron una duración 4 días bajo una presión de 5 bares. A los 28 días de curado húmedo, los resultados del coeficiente de permeabilidad (k) fueron de 7.39×10^{-14} , 13.85×10^{-14} , 25.25×10^{-14} y $119.69 \times 10^{-14} \text{ m/s}$ respectivamente; concluyendo así que la permeabilidad tiene una relación exponencial con respecto a la relación agua/cemento, es decir, si relación a/c disminuye, también disminuye de penetración del agua bajo presión, entonces la permeabilidad del concreto será menor (p.89).

Esta investigación nos brinda un rango de valores de unos de los factores más influyentes en la permeabilidad del concreto, la relación a/c , por lo cual, el diseño de mezcla en la preparación del mortero utilizara el valor optimo del precedente.

- Rodríguez (2015), evaluó “La eficiencia de aditivos impermeabilizantes por cristalización para el hormigón en Guayaquil”; su objetivo fue comprobar la eficiencia de un aditivo impermeabilizante por cristalización frente a los métodos tradicionales de impermeabilización externo. Para lo cual utilizó un sistema de curado de 7 días; en sus pruebas de absorción a los 28 días obtuvieron una reducción del 2.4% con respecto a la muestra patrón, usando el aditivo impermeabilizante Penetron al 1%. Además, obtuvo una reducción en la resistencia a la compresión como efecto colateral (p.89).

Aun cuando sikament-290n es un aditivo polifuncional para concretos, uno de sus usos es para aumentar considerablemente la impermeabilidad y durabilidad del concreto, pero también puede ser empleado como plastificante o superplastificante, Sin embargo, esta investigación nos brinda un rango de dosificación para el aditivo impermeabilizante hidrofugo, así como un procedimiento de curado y preparación de las probetas patrón.

- Azañedo (2014), en su investigación de tesis de maestría evaluó el “Efecto de un aditivo hidrófugo en la permeabilidad de un mortero de cemento/arena”; El objetivo de esta investigación fue determinar la influencia del hidrófugo Sika-1 en líquido en las dosis de 1/20, 1/10 y 1/4 de volúmenes de agua, el cual utilizó Cemento Pacasmayo MS; donde el mejor resultado fue obtenido con la relación de 1/10 la cual presentó una capilaridad promedio de 0.00164 gr/(cm²*min), un grado de absorción de 11.67% y una resistencia a esfuerzos de compresión promedio de 178.12 kg/cm² (p.89).

El aporte de este precedente nos proporciona datos de dosificación de la muestra mortero de cemento patrón, dosificación de aditivo impermeabilizante hidrofugo, resultados de capilaridad, grado de absorción y los diseños de investigación.

- Oquendo (2013), realizó la “Evaluación y selección de aditivos impermeabilizantes para concreto con resistencia de 450kgf/cm²” teniendo como objetivo mejorar los anillos de concreto armado (estructura denominada dovelas) en la construcción del metro de Los Teques, en Caracas. Se utilizó los aditivos impermeabilizantes: S-1, X-130, PA y SL. El aditivo S-1 evidenció un mejor resultado a todas las edades, el volumen de ingreso de agua fue el más bajo de las probetas estudiadas; donde al

evaluar el volumen de poros permeables según la norma ASTM C642 se obtuvo el porcentaje (%) de 8.17 ± 0.31 y en ensayos de penetración del agua según la Norma UNE 83-910 obtuvo el volumen de absorción de 16.24 ml en 15 días utilizando una probeta cuadrada de 21 x 21 x 7 cm a una presión de 7 bar, con un tiempo de curado de 10 días (p.66).

Esta investigación obtiene un buen performance en sus resultados al comparar reactivos impermeabilizantes de la marca Sika, nos ofrece datos de dosificación de reactivos y resultados en ensayos de poros permeables y penetración de agua.

- Bornand (2012), realizó la “Evaluación del desempeño de aditivos impermeabilizantes por cristalización como agentes promotores de la durabilidad del hormigón confeccionado con cementos pórtland puzolánicos” El objetivo principal fue determinar el grado de mejoramiento de las propiedades de durabilidad usando aditivos de impermeabilización por cristalización, en hormigones confeccionados con cementos Pórtland puzolánicos. Para lo cual se confeccionaron dos series de hormigones de prueba, diferenciándose cada una, principalmente, por su dosis de cemento. Una serie posee una dosis de cemento de 280 kg/m^3 , mientras que la otra serie fue confeccionada con una dosis de 360 kg/m^3 . En cada serie se elaboraron dos hormigones, uno patrón y otro al cual se le incorporó el aditivo de impermeabilización, en una dosis de un 0,8% con respecto a la dosis de cemento. Con respecto a la penetración máxima de agua, se aprecia una disminución del orden de un 17% y un 44%, para los hormigones con el aditivo, de las series de dosis de cemento de 280 kg/m^3 y 360 kg/m^3 respectivamente. Además, se obtuvo una disminución del orden de un 30% en el índice de vacíos permeables a una edad de 28 días. Finalmente, la absorción capilar los hormigones con el aditivo muestran una disminución del orden de un 50% en la absorción capilar a la edad de 180 días con respecto a los ensayos realizados a la edad de 28 días.

Los datos relevantes proporcionados por esta investigación son la dosificación y resultados en el uso de aditivo impermeabilizantes por cristalización.

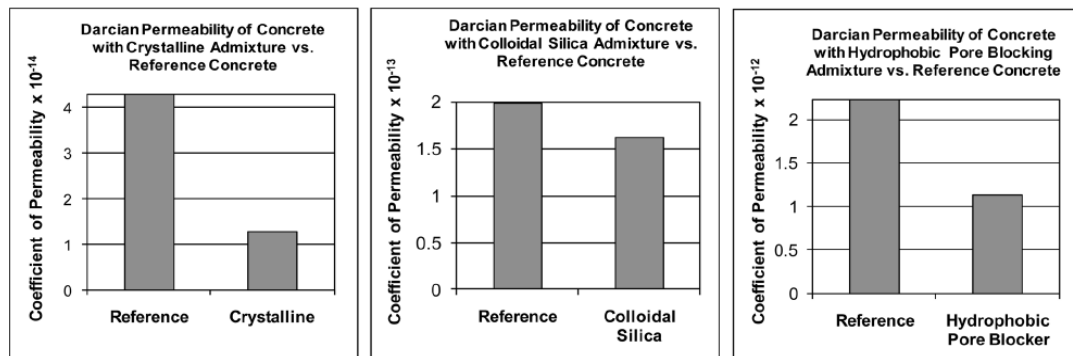
- ACI (2010), en el capítulo 15 del reporte de aditivos químicos para el concreto 212.3R-10 realizado por el comité 212, demuestran la permeabilidad bajo presión de mezclas de concreto con aditivos impermeabilizantes del tipo solidos mezclados

y mezclas similares que contienen aditivos impermeabilizantes cristalizantes a la edad de 10 meses, resultando en una reducción significativa en la permeabilidad entre el 75% a 55% en el coeficiente de reducción (k), (p.49). Resultados que nos indican la respuesta a priori, a la hipótesis planteada sugiriendo que los aditivos impermeabilizantes por cristalización proporcionan la menor tasa de permeabilidad. Además, la Figura 1, muestra la reducción de la permeabilidad para varios PRA en comparación con los concretos de referencia de las pruebas realizadas por el British Board of Agrément utilizando el estándar europeo modificado (British Board of Agrément 2000, 2005, 2006).

Figura. 1.- Reducción de la permeabilidad de concreto usando aditivos, usando el método modificado BS EN 12390-8. Presión= 1 Mpa . Tiempo = 96 horas.

REPORT ON CHEMICAL ADMIXTURES FOR CONCRETE (ACI 212.3R-10)

49



Fuente: ACI 212.3R-10 (2010) Chapter 15 – Permeability reducing admixtures “Report on chemical admixtures for concrete” Reported by ACI Committee 212. Pág. 49.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Cemento Portland:

El cemento hidráulico es fabricado por una mezcla de compuestos de silicatos de calcio hidráulicos y elementos sulfato de calcio por medio de la pulverización del Clinker de Portland (NTP 334.001, 2011).

El cemento Portland es un conglomerado formado por materiales de caliza, alúmina, sílice y arcilla; también se le adiciona una pequeña cantidad de yeso, marga (compuesto calcáreo-arcilloso) y material puzolánico; el cual puede estar en estado natural como tierra de diatomea, cenizas volcánicas, rocas opalinas, rocas metamórficas de grado medio o material calcinado. Además, se permite la adición de otros elementos mientras que su incorporación no afecte las propiedades del

cemento resultante, al contrario, brinde propiedades específicas; como lo son el óxido de silicio y cenizas volantes (Ing. Gerardo A. Rivera L., 2008).

2.2.2. Agregado fino.

Rocas obtenidas de la desintegración natural o por operaciones de chancado, molienda y cribado, que pasan por la malla normalizada de 3/8", cumpliendo con los límites granulométricos en la NTP 400.037. (NTP 400.011, 2013).

2.2.3. Mortero de Cemento.

Es una mezcla compuesta por cemento y agregado fino; al cual se administra una cantidad de agua que brinde una buena trabajabilidad y adherencia de la mezcla, sin segregación del agregado. (RNE E.0.70)

2.2.4. Mortero para revestimiento.

Es una mezcla de cemento y arena fina en una proporción generalmente de 1 en 4 o 1 en 5 de volumen de cemento por volumen de arena fina. Se utiliza comúnmente para recubrir paredes y techos.

2.3. Marco Conceptual.

2.3.1. La permeabilidad de morteros:

Se refiere al movimiento de un líquido a causa de una diferencia de presión como estructuras de contención de agua (cisternas, tanques, reservorios, etc.) pueden filtrar y atravesar el mortero. Esta permeabilidad puede reducirse si se aumenta la compacidad del mortero; la permeabilidad se mide sobre medios saturados y se expresan en términos de $[m^3/(m^2.s)]$ o simplemente (m/s). (German H.,2013)

La permeabilidad es la capacidad que tiene un material de permitir que un flujo lo atraviese sin alterar su estructura interna. En construcción, se considera a un material como permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado (mayor a 10^{-10} m/s), y se puede considerar también que es impermeable, si la cantidad de fluido es despreciable (menor a 10^{-12} m/s). (AENOR ,2001)

La permeabilidad total de un mortero de cemento al agua, esta en función a la permeabilidad de la pasta, granulometría del agregado y también a la proporción relativa de la pasta con respecto al agregado. Es claro que una disminución de permeabilidad mejora la resistencia a la compresión del mortero, mejora la

durabilidad al ataque de sulfatos, a la penetración del ion cloruro y otros productos químicos. La permeabilidad también incide sobre la capacidad de destrucción por congelamiento en condiciones de saturación. Aquí la permeabilidad de la pasta es de particular importancia porque engloba todos los elementos del mortero. La permeabilidad de la pasta depende de la relación Agua – Cemento, de la hidratación del cemento o duración del curado húmedo. Un mortero de baja permeabilidad requiere de una relación Agua – Cemento baja y un periodo de curado húmedo adecuado.

La inclusión de aire ayuda a la hermeticidad, aunque tiene una influencia mínima sobre la permeabilidad aumenta con el secado. La permeabilidad de una pasta endurecida madura mantiene continuamente rangos de humedad de 0.1×10^{-12} cm/s para relaciones Agua – Cemento que variaban de 0.3 a 0.7. (López, 2004).

2.3.2. Porosidad de morteros:

La porosidad en los morteros, se define como los espacios huecos o vacíos que presenta un mortero, los cuales pueden ser llenados por un líquido que logre atravesarlos, sea por capilaridad o por presión. Un mortero de cemento es elaborado con arena fina, siendo muy poroso, pero poco permeable. (Simba, 2007)

La porosidad en los morteros se expresa por la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total.

$$\eta = \frac{(V_t - V_n)}{V_t}$$

η = Porosidad

V_t = Volumen Total

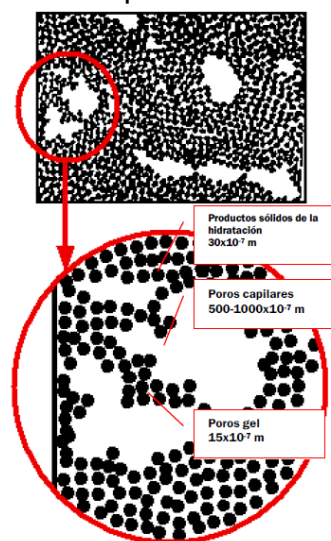
V_n = Volumen de vacíos.

En el proceso de hidratación del cemento se generan poros con tamaños nanométricos (10^{-9} m) entre los geles llamados poros del gel. Los geles formados (tobermorita) producto de la reacción hidratante del cemento con el agua sufren una reducción de volumen, es decir la suma del volumen del cemento y el agua inicial es mayor al volumen obtenido del gel proveniente de la reacción química de hidratación; la diferencia de los volúmenes inicial y final crea los vacíos denominados como porosidad capilar: estos poros de son de dimensiones micrométricas (10^{-6} m). (Kosmatka S. ,2009)

Conforme a la cantidad de agua que se adiciona al concreto, estos poros pueden estar vacíos o llenos de agua si se le añade un excedente de agua necesaria para las reacciones de hidratación. La porosidad generada por la gradación del agregado también influye en la porosidad, dependiendo de la cantidad de pasta que ocupa los intersticios generados (Neville, A. 1996).

De igual forma la pasta de cemento endurecida contiene hidratos de varios compuestos, designados como gel de cristales de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, algunos componentes menores, cemento no hidratado y residuos de los espacios rellenos de agua en la pasta fresca. Estos vacíos son denominados poros capilares, pero dentro del gel mismo existen vacíos intersticiales determinados como poros de gel. Por lo tanto, en una pasta deshidratada hay dos clases distintas de poros, que se representan en forma esquemática en la figura 2 y que se describen más ampliamente posteriormente (Portugal B. ,2007).

Figura. 2.- Modelo simplificado de la estructura de la pasta de cemento.



Fuente: MSc. Ing. Portugal Barriga Pablo (2007). “Tecnología del concreto de alto desempeño”. Pág. 28.

La IUPAC (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada) establece una clasificación del tamaño de los poros, según sea el valor de su diámetro promedio, así se señalan los siguientes tres grupos:

- Microporos: poros con diámetros medios inferiores a 2 nm.
- Mesoporos: Poros con diámetros medios comprendidos entre 2 y 50 nm.
- Macroporos: poros con diámetros medios superiores a 500 nm.

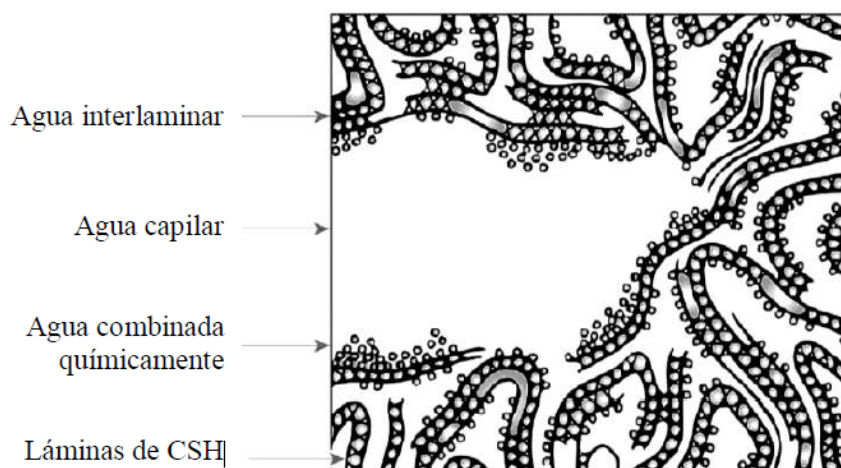
2.3.3. Agua en la Pasta de Cemento

Por la porosidad e higroscopicidad con respecto a la humedad ambiente, la pasta de cemento y en cierta medida los áridos pueden retener agua en su interior. El agua que se aloja en la pasta de cemento se puede encontrar en variadas formas:

- Agua químicamente ligada.
- Agua interlaminar.
- Agua adsorbida.
- Agua capilar.

Las distintas formas en que se encuentra el agua se distinguen por la facilidad o dificultad que existe para ser transportada a través de la estructura de poros y capilares.

Figura 3.- Modelo esquemático de Feldman-Sereda muestra los tipos de agua asociados con el silicato de calcio hidratado (C-S-H).



Fuente: Mehta, P. y Monteiro, P., (2006). "Concrete: Microestructure, properties and materials". Pág. 35.

En la pasta de cemento hidratada, el agua puede existir en muchas formas; Estos pueden clasificarse según el grado de facilidad con que se puede eliminar el agua. Esta clasificación es útil para comprender los cambios de volumen que están asociados con el agua contenida en pequeños poros. (Mehta, P. y Monteiro, P., 2006)

A continuación, se describe los tipos de agua, presentes en la pasta de cemento.

2.3.3.1. Agua Químicamente Ligada.

Esta es el agua que forma parte integral de la estructura de varios productos de hidratación del cemento. Esta agua no se pierde secándose; Se desarrolla cuando los hidratos se descomponen en el calentamiento. Según el modelo de Feldman-Sereda, en la Fig.3 se ilustran diferentes tipos de agua asociados con el C-S-H.

2.3.3.2. Agua Interlaminar

Esta es el agua fuertemente ligada con la estructura C-S-H. Se ha sugerido que una capa de agua monomolecular entre las capas de C-S-H se mantiene fuertemente por los enlaces de hidrógeno. El agua de la capa intermedia se pierde solo por un secado intenso (es decir, por debajo del 11 por ciento de humedad relativa). La estructura C-S-H se contrae considerablemente cuando se pierde el agua entre capas.

2.3.3.3. Agua Adsorbida

Esta es el agua que está cerca de la superficie sólida. Bajo la influencia de las fuerzas atractivas, las moléculas de agua se adsorben físicamente sobre la superficie de los sólidos en la pasta de cemento hidratada. Se ha sugerido que hasta las capas moleculares de agua (15 Å) se pueden mantener físicamente mediante enlaces de hidrógeno. Debido a que las energías de enlace de las moléculas de agua individuales disminuyen la separación de la superficie sólida, La mayor parte del agua adsorbida puede perderse cuando la pasta de cemento hidratada se seca a una humedad relativa del 30 por ciento. La pérdida de agua adsorbida es la responsable de la contracción de la pasta de cemento hidratada (Bornand Jacques, 2012).

2.3.3.4. Agua Capilar

Esta es el agua presente en vacíos o poros mayores de aproximadamente 50 Å. Puede representarse como el agua a granel que está libre de la influencia de las fuerzas atractivas ejercidas por la superficie sólida. En realidad, desde el punto de vista del comportamiento del agua capilar en la pasta de cemento hidratada, es deseable dividir el agua capilar en dos categorías: el agua en grandes vacíos del orden de > 50 nm (0.05 µm), los cuales pueden ser llamados *agua libre* (debido a que su eliminación no causa ningún cambio en el volumen), y el agua retenida por

la tensión del capilar en pequeños capilares (5 a 50 nm), cuya eliminación puede causar la contracción del sistema. (Bornand Jacques, 2012)

2.3.4. Relación entre porosidad y permeabilidad

La porosidad es la relación del volumen de poros saturables de agua entre el volumen total del concreto, el cual incluyen el volumen de sólidos y poros saturables como no saturables. Sin embargo, los poros saturables pueden ser continuos o discontinuos, solo los poros continuos (los que conectan dos superficies externas en el concreto) aportan a la permeabilidad. (Bustamante R.,2017)

Debido a la existencia de poros de diferentes tipos, de los cuales algunos ayudan a la permeabilidad y otros no, es importante diferenciar entre permeabilidad y porosidad. La porosidad es la medida de la proporción del volumen total del concreto ocupado por poros, y mayormente se expresa en porcentaje. Si la porosidad es elevada y los poros están interconectados, éstos contribuyen al transporte de los fluidos a través del concreto, de tal forma que su permeabilidad también es elevada. Del mismo modo, si los poros son discontinuos o inefectivos impidiendo el fluido libre a través del concreto debido a espacios cerrados, entonces la permeabilidad del concreto es baja, aun si su porosidad es alta. (Moreno V.,2015)

2.3.5. Grado de Absorción de Agua

Conocida también como índice de absorción o capacidad de absorción; representa la cantidad de agua absorbida por un material en un lapso de tiempo, sumergido completamente en agua y se expresa en porcentaje. El agua que el cuerpo o material sólido absorbe se denomina agua de absorción.

Varias características del concreto o morteros dependen o se definen en gran medida de su porosidad. La absorción de agua es la cantidad de agua que un material puede absorber, por lo que, a mayor porosidad, mayor será la absorción de agua.

2.3.6. Índice de vacíos permeables.

El ensayo consiste básicamente en medir diferencias de masa entre la probeta sometida a un secado en horno, saturada de agua y después de ser sometida a un baño en agua hirviendo. El índice de vacíos permeables se determina siguiendo como referencia lo especificado en la norma ASTM C642.

2.3.7. Ascensión Capilar

Capilaridad es la capacidad que posee un líquido y en particular el agua, para desplazarse hacia arriba venciendo la fuerza de la gravedad. El nombre proviene del hecho de que este fenómeno es observado generalmente en tubos capilares, los cuales proveen diámetros interiores pequeños que permiten visualizar este fenómeno. En consiguiente cuando un líquido llena espacios estrechos en por medio de la ascensión capilar, entonces a estos conductos se le denominan capilares.

Los capilares ocurren en el interior de los morteros de cemento (material poroso) o en juntas de unión entre materiales iguales o distintos. La acción capilar que se considera con más frecuencia es la del agua, ya que es el líquido más común en los edificios (Azañedo W. 2014).

Cuando un líquido sube por un tubo capilar, trepando por las paredes, es debido a que la fuerza de cohesión intermolecular es menor que la adhesión del líquido con el material del tubo; es decir, es un líquido que moja. Entonces el líquido sigue subiendo hasta que la tensión superficial es equilibrada por el peso del líquido que llena el tubo. Éste es el caso del agua, y esta propiedad es la que regula parcialmente su ascenso y la distribución del agua dentro de la red de poros capilares de un mortero de cemento, sin gastar energía para vencer la gravedad.

2.3.8. Absorción Capilar

La absorción capilar es un fenómeno que se define como el mecanismo más común de penetración de agua al interior de una estructura de concreto; parecido al efecto que produce una esponja cuando su superficie entra en contacto con el agua, esta es absorbida. Un concreto de 28 días de maduración y seco, elaborado con una relación agua/cemento de 0.60 luego de ser expuesto por 3 horas a una lluvia moderada, pero constante, habrá absorbido en promedio 2 litros de agua por metro cuadrado. Si consideramos que el concreto posee una porosidad del 15% entonces podemos presumir que el agua se haya introducido en ciertas partes hasta 1.2 cm.; La velocidad de penetración por absorción capilar que presenta un concreto seco, es un millón de veces más veloz, que sí el mismo volumen de agua atravesará el mismo concreto, pero bajo una gradiente de presión, es decir por el fenómeno denominado permeabilidad.

La absorción capilar presenta una filtración de agua en el concreto mucho más veloz que la filtración bajo presión; sin embargo, la velocidad de penetración de agua en el concreto disminuye a medida que la red porosa del concreto se satura, en ese punto el movimiento del agua por absorción capilar se paraliza. Para este fenómeno, la filtración del agua en el interior de una red porosa de concreto, solo se puede dar en medios secos o parcialmente saturados.

El método para medir la tasa de absorción de agua en concreto de cemento hidráulico expresa la penetración de agua como: (ASTM C 1585, 2004)

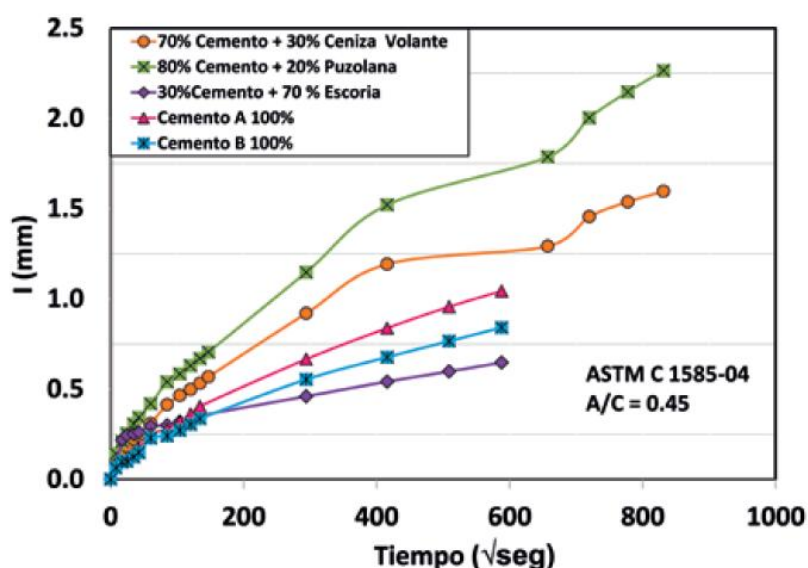
$$I = S \sqrt{t} + A$$

Donde:

- I: La penetración de agua en milímetros (mm).
- t: El tiempo en segundos (s)
- A: La penetración de agua inicial en milímetros (mm).
- S: La sortividad, Velocidad o ritmo de penetración (mm/s^{0.5}).

En la gráfica N°01 se observa la penetración de agua frente a la raíz del tiempo. representar el tiempo de esta manera ayuda a visualizar mejor el ritmo de penetración de agua, permitiendo calcular la velocidad de filtración (pendiente) desde la superficie húmeda hacia el interior.

Figura 4.- Filtración de agua por absorción capilar para varios tipos de cementantes para una relación a/c de 0.45.



Fuente: Hermida Germán (2013). Artículo “Concreto de baja permeabilidad, algo más que disminuir A/C” de la revista, Presupuesto & Construcción Año 24 N° 56; Pág. 8.

En la gráfica N°1, observamos que el cemento con 20% de puzolana incluida presenta una sortividad de $16 \times 10^{-4} \text{ mm/s}^{0.5}$ y que el cemento con 70% de escoria tiene tres veces menor sortividad con un valor de $6 \times 10^{-4} \text{ mm/s}^{0.5}$. La norma ASTM C 1585-04 define la sortividad y sirve para clasificar un tipo concreto. Para lo cual, antes de las 6 horas, la norma precisa una sortividad inicial y a partir de las 24 horas hasta los 7 días precisa una sortividad final. Esto se debe a que la velocidad de absorción inicial es sustancialmente diferente a la velocidad de absorción pasado las 24 hrs, dado por el proceso de hidratación del concreto. Siendo las pendientes antes calculadas pertenecientes a la sortividad final. (German H.,2013)

La sortividad se mide para evaluar la resistencia a la penetración de agua por absorción capilar; la norma SIA 262-1 es comúnmente utilizada en Europa, empleando un parámetro analogo llamado absorción capilar (q_w); expresado en unidades de $\text{g}/(\text{m}^2.\text{h})$ o otra manera también, es hacerlo en términos de milímetros de penetración por hora (mm/h). (German H.,2013)

2.3.9. La permeabilidad bajo presión hidráulica

La permeabilidad en el concreto ocurre solo cuando el medio se encuentra bajo presión y en medio saturado; entonces hablamos de permeabilidad cuando existe presión hidrostática en la cara de contacto con el agua, y se define como el volumen de agua que penetra un área superficial en un lapso de tiempo, causado por la diferencial de presión entre la cara en contacto con el agua y la cara que no lo está. El agua fluye a través del concreto causado por la presión del líquido (columna de agua) dependiendo de la altura de la columna de agua y del espesor del concreto, sin olvidar la capacidad para contener el agua del material.

Para especificar la calidad del material de un concreto impermeable, se utiliza el parámetro: coeficiente de permeabilidad al agua de Darcy (K). la norma AASTHO actualmente es la única que posee metodologías para su medición. El coeficiente de Darcy de un concreto que explica con sencillez como un material puede ser penetrado por el agua, sin embargo, este puede variar en dos órdenes de magnitud o más.

La determinación del coeficiente de Darcy o de la permeabilidad del concreto solo puede realizarse en un medio donde el concreto se encuentre en estado de

saturación. En la Tabla 1 se muestra una clasificación de estos parámetros que califica los concretos. (German H.,2013)

Tabla 1: Propiedades y valores para la obtención de un concreto de baja permeabilidad.

Criterios de desempeño para un concreto impermeable		
Ensayo	Valor	Norma
Absorción capilar (q_w)	< 6g/m ² *h)	SIA 262/1 Anexo A
Penetración de Agua	< 30 mm	En 12390 Parte 8
Retracción de secado	< 0.07 %*	ASTM C 157

*28 días de secado.

Fuente: Hermida Germán (2013). Artículo “Concreto de baja permeabilidad, algo más que disminuir A/C” de la revista, Presupuesto & Construcción Año 24 N° 56; Pág. 10.

2.3.10. Concreto de baja permeabilidad

Los problemas frecuentes de penetración de agua en las estructuras de contención de agua (cisternas, tanques y reservorios) crearon la necesidad de tener una clasificación en los diseños de mezcla de concreto, que clasifiquen a un concreto de baja permeabilidad (CBP).

La mayoría de contenedores de agua, están contruidos de concreto y son piezas importantes para el desarrollo de la vida en las ciudades, son edificados desde mucho tiempo atrás, desde los inicios de las primeras civilizaciones y es que resulta muy sencillo construirlos. Sin embargo, cuando se evalúa la estadística del número de contenedores que sufren filtraciones de agua, nuestros diseños y procesos constructivos de estos contenedores, podrían ser no muy eficientes.

Los principales causantes de los problemas de infiltraciones en estas estructuras, están en primer lugar las fisuraciones, seguido por la permeabilidad del revestimiento o del material y por último la abrasión. Entonces un concreto impermeable además de serlo en su estructura interna, debe evitar fisurarse. En la tabla 2, se muestra una clasificación de la permeabilidad usando la norma NTC 4483 para el coeficiente de Darcy en un esfuerzo para categorizar la permeabilidad en un concreto. (German H.,2013)

Tabla 2: Clasificación de la permeabilidad del concreto de acuerdo a la NTC 4483

Tipo de concreto	Coefficiente Darcy K (m/s)
Concreto de baja permeabilidad	$< 10^{-12}$
Concreto de mediana permeabilidad	10^{-10} a 10^{-12}
Concreto de alta permeabilidad	$> 10^{-10}$

Fuente: Hermida Germán (2013). Artículo "Concreto de baja permeabilidad, algo más que disminuir A/C" de la revista, Presupuesto & Construcción Año 24 N° 56; Pág. 2.

2.3.11. Aditivos impermeabilizantes.

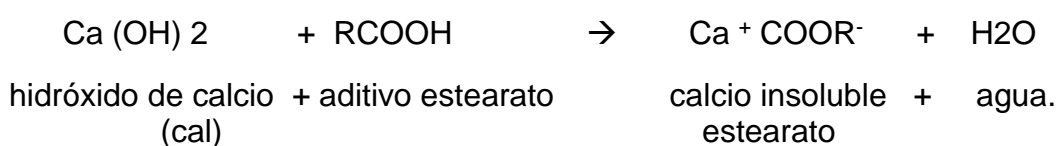
Según el reporte ACI 212.3R-10 los principales aditivos impermeabilizantes se pueden resumir en tres grandes grupos:

- Hidrofóbicos.
- Sólidos finamente divididos.
- Materiales por cristalización.

2.3.11.1. Hidrófugos

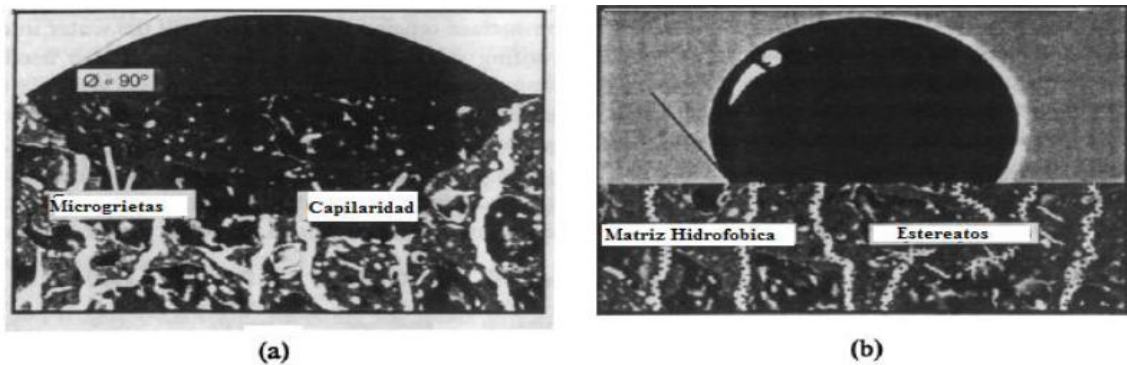
Son productos químicos repelentes al agua, siendo el grupo de aditivos impermeabilizantes más numeroso que incluyen materiales basados en jabones y derivados de ácidos grasos de larga cadena, aceites vegetales y derivados del petróleo (aceite mineral, ceras de parafina, y emulsiones bituminosas). Estos materiales contienen moléculas hidrófobas, insolubles en agua proporcionando una capa repelente al agua en todos los poros del concreto, sin embargo, los poros permanecen físicamente abiertos. entre otros que reducen la absorción capilar pero no la presión de agua.

Los aditivos reductores de permeabilidad más ampliamente utilizados en condiciones no hidrostáticas son materiales hidrofóbicos basados en sales de ácidos grasos. Calcio, amonio y los estearatos de butilo, así como derivados de ácidos oleico, caprílico y cáprico; estos materiales reaccionan de acuerdo con la siguiente reacción (Ramachandran 1995):



Como muestra el hidróxido de calcio (cal) proveniente de la reacción de hidratación del cemento Portland reacciona con los estereatos proveniente del aditivo “repelente” de agua formando un estereato insoluble de calcio que produce la barrera hidrofóbica en las paredes de los poros del concreto, En la figura 4 se observa el comportamiento típico del comportamiento del aditivo.

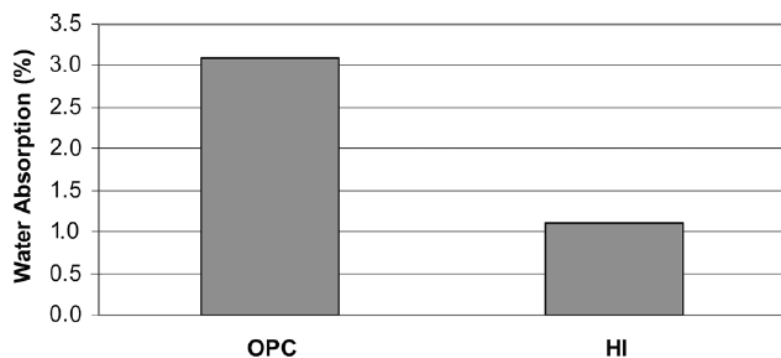
Figura 5.- Interacción concreto: (a) Sin aditivo y (b) Con aditivo hidrófugo.



Fuente: Oquendo R. Ernesto (2013) “Evaluación y Selección de Aditivos Impermeabilizantes para concreto con resistencia de 450kgf/cm². Pág. 15.

Los aditivos hidrofóbicos son efectivos en la reducción de la absorción capilar y el ingreso de cloruros al concreto bajo condiciones no hidrostáticas como se muestra en la Fig. 3, respectivamente (ACI 212.3R-10, 2010).

Figura 6.- Absorción de agua de un concreto de cemento portland ordinario (OPC) con ingrediente hidrófugo (BS EN 1881-122) con 28 días de edad y a/c de 0.40.



Fuente: ACI Committee 212, (2010) - “Report on chemical admixtures for concrete”. Chapter 15 - Pág. 47.

Como se aprecia el mecanismo de acción de los aditivos hidrófugos reaccionan con la cal producida en las reacciones de hidratación del cemento y luego forman

micelas hidrófobas las cuales obstruyen los capilares del mortero endurecido y repelen el agua.

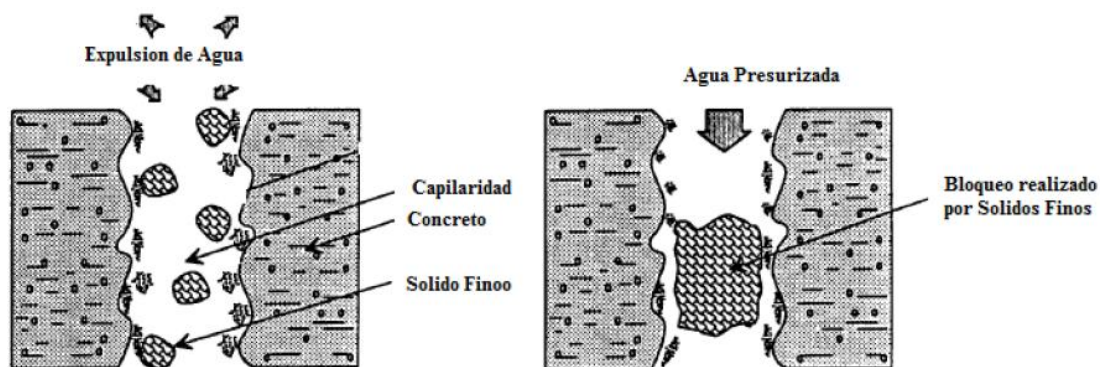
Adicionalmente, los aditivos hidrofóbicos poseen un carácter tensoactivo, con una parte hidrófoba y otra hidrófila (bipolar), la cual varia la tensión superficial de las gotas de agua logrando menor poder humectante. La dosificación generalmente utilizada varía entre el 0.5% al 2% en peso del cemento (W. Azañedo,2014).

2.3.11.2. Sólidos finamente divididos

Constituido por solidos finos, como el talco, bentonita, polvos silíceos, arcilla, resinas de hidrocarburos, y campos de alquitrán de hulla, cuya dosificación no modifique en gran medida el consumo de agua por su adición en el concreto; los cuales reducen la permeabilidad del concreto al aumentar la densidad o llenando los poros restringiendo físicamente el paso de agua.

Por otro parte tenemos los sólidos finos reactivos compuestos por silicatos, cal, cenizas volantes, sílice coloidal y puzolanas, que reaccionan con los productos de hidratación del cemento de Portland bloqueando los capilares del concreto. En la figura 5, se presenta el funcionamiento de la incorporación de los sólidos finos como impermeabilizantes para el concreto.

Figura 7.- Mecanismo de los sólidos finos.



Fuente: Oquendo R. Ernesto (2013) Informe de pasantía "Evaluación y Selección de Aditivos Impermeabilizantes para concreto con resistencia de 450kgf/cm². Pág. 15.

Los sólidos finamente divididos reducen la permeabilidad bajo condiciones no hidrostáticas. El concreto al ser más denso disminuye la porosidad, sin embargo, los poros no están completamente bloqueados debido a esto, este grupo de aditivos impermeabilizantes son efectivos para condiciones no hidrostáticas, para mejores

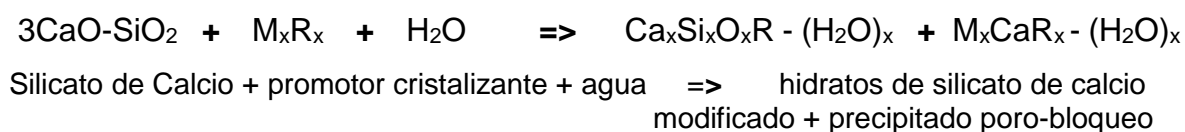
resultados en algunos casos se usan en combinación con productos químicos hidrófobos para un efecto sinérgico (ACI 212.3R-10, 2010).

2.3.11.3. Los materiales cristalinos

Consisten en productos químicos activos mezclados en cemento y arena que producen aumento de densidad de silicato de calcio hidratado que bloquean los poros y capilares del concreto (Bustamante R., 2017).

A diferencia de los aditivos hidrófugos, los aditivos cristalinos son hidrófilos y los elementos activos reaccionan con las moléculas de agua y cemento en el concreto formando hidratos de silicato de calcio y/o precipitados que bloquean los poros en las microgrietas y capilares existentes; el concreto resultante ha aumentado significativamente la resistencia a la penetración de agua bajo presión (ACI 212.3R-10, 2010).

La reacción en general puede ser representado por:



Este mecanismo es análogo a la formación de hidratos de silicato de calcio y el resultante depósitos cristalinos se convierten en una sola pieza unida con la pasta de cemento hidratado (ACI 212.3R-10, 2010).

La impermeabilización por cristalización utiliza los subproductos de las reacciones de hidratación del cemento que permanecen inactivos en el hormigón. La cal libre es un subproducto del hormigón el cual reacciona con los agentes químicos activos del producto de impermeabilización en presencia de humedad y migran por difusión hacia el interior del hormigón por la red capilar presente.

Esta solución conserva la estructura, ya que frena los efectos del CO₂, al tener obstruida la red capilar por donde estos gases se difunden, reaccionando y ocasionando el proceso de carbonatación. De la misma manera, imposibilita el proceso de corrosión por ataque de iones cloruros, ya que esta difusión también se ve impedida por la cristalización.

2.3.12. Control de Calidad.

El proceso del control de calidad para el desarrollo de los ensayos con morteros de cemento se realiza con una rigurosa aplicación de las normas, técnicas y procedimientos específicos.

El mortero, al ser un material heterogéneo, está expuesto a la variabilidad de sus elementos como también, probables alteraciones en sus características finales por sutiles cambios durante la producción, transporte, colocación, compactación y curado, existiendo por ello riesgo de resultados variables. En la tabla 3 se muestra las principales fuentes de variación de las propiedades de un mortero

Tabla 3: Causas comunes que generan variabilidad de resultados en muestras de mortero.

DEBIDO A LAS VARIACIONES EN LAS PROPIEDADES DEL MORTERO	DEBIDO A LAS DEFICIENCIAS LOS MÉTODOS DE PRUEBA
1. Cambios en la relación a/c <ul style="list-style-type: none"> • Control deficiente del agua. • Variación excesiva de humedad. 	1. Procedimientos de muestreo inadecuados
2. Variación en los requerimientos de agua de mezcla <ul style="list-style-type: none"> • Gradación del agregado fino, absorción • Características del cemento y aditivos. • Tiempo de suministro y temperatura. 	2. Dispersión debido a la forma de preparación, manipuleo y curado de los cilindros de prueba.
3. Variación en las características y proporción de los insumos. <ul style="list-style-type: none"> • Agregado fino • Cemento • Aditivos 	3. Mala calidad de los moldes de prueba.
4. Variaciones ocasionadas por el transporte colocación y compactación.	4. Defectos de Curado. <ul style="list-style-type: none"> • Variación de la temperatura • Humedad variable. • Demoras en el transporte.
5. Variación en la temperatura y curado.	5. Procedimientos de ensayo deficientes, en: <ul style="list-style-type: none"> • El grado de absorción, • Capilaridad, • Permeabilidad

Fuente: Azañedo M. Wiston H. (2014) Tesis de Maestría “Efecto de un aditivo hidrófugo en la permeabilidad de un mortero de cemento/arena” – Universidad Nacional de Cajamarca- Escuela de Posgrado, Cajamarca-Perú, Pág. 51.

2.4. Hipótesis

Los aditivos de materiales cristalizantes e hidrófugos son los que alcanzan los menores índices de permeabilidad en los morteros, porque se producen reacciones químicas con los elementos del mortero creando superficies de mayor impermeabilidad.

2.5. Variables y definición operacional.

Variables Independientes.

- Aditivo Impermeabilizante hidrófugo: Sika®-1 en Polvo es un aditivo impermeabilizante integral con propiedades hidrófobas que actúa obstruyendo la porosidad del mortero evitando la absorción capilar interna. El modo de empleo es % en peso de aditivo por la cantidad de cemento utilizado.
- Aditivo Impermeabilizante bloqueador de poros: Sika®-100 es un aditivo líquido impermeabilizante del mortero por medio del bloqueo de poros. Es libre de cloruros y actúa como bloqueador de poros. El modo de empleo es % en peso de aditivo por la cantidad de cemento utilizado.
- Aditivo Impermeabilizante de materiales por cristalización: Sika® WT-200P, es un aditivo en polvo, en base a tecnología de cristalización. En presencia de agua, los componentes del producto reaccionan con el hidróxido de calcio (CaOH) libre y con otros subproductos de la hidratación del cemento para formar cristales insolubles que cierran los poros y micro fisuras en el mortero. El modo de empleo es % en peso de aditivo por la cantidad de cemento utilizado.

Variables dependientes.

- Permeabilidad del mortero: Es el movimiento del líquido que filtra a través del mortero a causa de una diferencia de presión, sin alterar su estructura interna. Se midió a través del grado de absorción, cuya unidad es el porcentaje (%) del peso de agua absorbida por el mortero en 24 horas y el índice de vacíos permeables, cuya unidad es el porcentaje (%) en volumen de los poros permeables del mortero.

Variables fijas.

- El agregado fino.
- Cemento Pacasmayo Portland Tipo I.

Tabla 4: Cuadro de operacionalización de Variables.

Variables	Dimensiones	Indicadores	Fuente de Dato
Variables Independientes			
Aditivo Hidrófugo	Cantidad de aditivo	Gramos de aditivo (gr.)	Ficha de Laboratorio
Aditivo Bloqueador de Poros	Cantidad de aditivo	Gramos de aditivo (gr.)	Ficha de Laboratorio
Aditivo por Cristalización	Cantidad de aditivo	Gramos de aditivo (gr.)	Ficha de Laboratorio
Variables Dependientes			
Permeabilidad del Mortero	Grado de absorción de agua	Porcentaje en volumen de agua absorbida (%)	Ficha de Laboratorio
	Índice de vacíos permeables	Porcentaje en volumen de poros permeables (%)	Ficha de Laboratorio
	Capilaridad de mortero	Cantidad de agua en el fleco capilar [gr/(cm ² *min)]	Ficha de Laboratorio
	Permeabilidad	Volumen de agua por área en lapso de tiempo [cm ³ /(cm ² *s)]	Ficha de Laboratorio

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO III: METODOLOGIA

3.1. Tipo y nivel de investigación

La presente investigación es aplicada y experimental, con un diseño de comparación simple que consistirá de tres variables.

3.1.1. Descripción.

Se tendrán cuatro grupos, de los cuales un grupo será elaborado como mortero de control (sin la incorporación de aditivo) y los otros tres grupos serán los experimentales, en los cuales se tendrán diferentes tipos de aditivos Impermeabilizantes.

Tabla 5: Codificación de grupos experimentales.

Código	Descripción	% en Peso Aditivo por cantidad de Cemento
M0	Sin Aditivo	0
M1	Aditivo Hidrófugo (Sika-1)	2.0
M2	Aditivo de Sólidos Finos (Sika-100)	2.0
M3	Aditivo por Cristalización (Sika WT-200P)	1.0

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Población y Muestra.

Unidad de Análisis

Cada uno de las probetas de mortero de cemento en proporción 1:4.

Población o Universo

Naturaleza: Todos los morteros de cemento con una relación de 1:4 de cemento: arena.

Ubicación: Los ensayos fueron realizados en el Laboratorio de suelos II y pavimentos de la escuela de Ingeniería Civil en la Universidad Privada Antenor Orrego.

Localidad	:	Trujillo
Distrito	:	Trujillo
Provincia	:	Trujillo
Departamento	:	La Libertad

Muestra

La muestra que producida obedece a las características físicas del agregado fino, la adición de aditivos y el cemento tipo I.

El tamaño de la muestra se determinó mediante muestreo aleatorio simple, para la Estimación de la Media Poblacional (μ) con Universo infinito puesto que la variable de interés principal (la permeabilidad del mortero) es del orden cuantitativo continuo. Para esta clase de investigación la fórmula estadística adecuada es:

$$n \geq \frac{Z_{\alpha/2}^2 \sigma_0^2}{E^2}$$

Donde:

n = Tamaño mínimo de la muestra.

$Z_{\alpha/2}$ = Coeficiente de (1- α)% de confiabilidad.

σ_0 = Desviación estándar poblacional de antecedentes.

E = Error máximo tolerable en la estimación de la media μ .

El Nivel de confianza considerado es de un 95% y el nivel de significancia es del 5%; entonces de las tablas estadísticas obtenemos el valor estandarizado de Z, para un nivel de confianza de 95 es igual a 1,96.

$$Z_{\alpha/2} = 1.96$$

La desviación estándar poblacional de antecedentes de investigaciones similares es de: $\sigma_0 = \pm 0.86 \%$, obtenida de unas pruebas preliminares de 30 muestras de mortero C:A de 1:4 en dimensiones de 5cm x 5cm x 5cm de lado.

El error máximo tolerable en la estimación de la media. E, se consideró:

$$E = 0.2 \%$$

Calculando el tamaño de muestra obtenemos:

$$n = 71.3$$

Con lo obtenido como mínimo de tamaño de muestra, utilizamos el tamaño de muestra de 72 probetas de morteros de cemento/arena, distribuidos en 18 probetas para correr pruebas con un mortero C:A de 1:4 base. es decir, sin ningún tratamiento y 54 probetas con diferentes tipos de aditivos impermeabilizantes.

18 probetas de aditivo hidrófugo (Sika-1), con % en Peso Aditivo por cantidad de Cemento de 2.0 %.

18 probetas de Aditivo de Solidos Finos (Sika-100), con % en Peso Aditivo por cantidad de Cemento de 2.0 %.

18 probetas de Aditivo por Cristalización (Sika WT-200P), con % en Peso Aditivo por cantidad de Cemento de 1.0 %.

Cada tipo de mortero se elaboró con una proporción Cemento: Arena de 1:4, la cantidad de agua de mezclado será 190 litros aproximadamente por metro cúbico de mortero, la cual se ajustó según el diseño que se realice. El agua fue potable de la red pública de la ciudad de Trujillo.

3.3. Técnicas e instrumentos de investigación

Técnicas de acopio de datos:

Se realizó mediante la corrida de ensayos en el laboratorio de suelos II y pavimentos. evaluando el comportamiento de las muestras de morteros de cemento fabricados con diferentes cantidades y tipos de aditivos impermeabilizantes en cada uno de los grupos.

Cada componente de esta investigación: el cemento, arena fina, el agua, los aditivos y los métodos de ensayos de laboratorio están en cumplimiento con la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) y las Normas Técnicas Peruanas (NTP).

Instrumentos de acopio:

Se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Ficha de Experimentación: Hojas de datos, donde se apuntan a detalle las características de las muestras, el código de la mezcla del mortero, los resultados de grado absorción, Índice de vacíos permeables y algunos parámetros de prueba como: la fecha de ensayo, los pesos, la temperatura °C, el tiempo, las dimensiones, y las observaciones.

- Cámara Fotográfica. Para llevar un registro de fotos para examinar visualmente el efecto del aditivo en el mortero.

3.4. Diseño de investigación

3.4.1. Estudio de las Propiedades Físicas de Agregado Fino.

Se extrajo la arena fina, de la cantera “Los Charros” ubicada en la vía de evitamiento Km 85 distrito de Huanchaco, Trujillo. Luego se realizaron los ensayos para caracterizar las propiedades físicas del agregado, en cumplimiento con los métodos de la norma técnica peruana:

3.4.1.1. Peso Específico y Absorción del Agregado Fino: NTP 400.022, 2013 - ASTM C128.

Materiales y Equipos

- Picnómetro de $500 \text{ cm}^3 \pm 0.1 \text{ cm}^3$
- Horno de secado $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$
- Balanza de capacidad: $3 \text{ kg.} \pm 0.1 \text{ gr.}$
- Secadora de aire caliente.
- Molde Cónico
- Estufa eléctrica
- Varilla de acero lisa

Procedimiento

- Se cuartea la arena fina, lo cual consistió en dividir el material en cuatro partes iguales y descartando dos de las 4 partes hasta obtener al final de varias divisiones, solo un 1 kg. de muestra, posteriormente se procede a secar la muestra en el horno por 24 horas y luego dejarla enfriar a temperatura ambiente hasta una temperatura manipulable ($T= 50^\circ\text{C}$).
- Adicionar agua hasta alcanzar por lo menos 6 % de humedad del agregado fino y se deja reposar por $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$. Verter la muestra de agregado fino en una superficie plana no absorbente, y con ayuda de un bastidor remover mientras se utiliza un secador de aire caliente, con la finalidad de conseguir una muestra saturada superficialmente seca.
- Realizar la prueba del cono, para verificar si la muestra se encuentra saturada superficialmente seca. Este método consiste en colocar la muestra en un pequeño cono metálico compactándolo mediante 25 golpes, al termino de los 25 golpes se levanta el cono metálico, si se derrumba la arena contenida en

el cono, se debe a que se logró el objetivo y la muestra se encuentra saturada superficialmente seca, sin embargo, si ocurre que, al retirar el cono metálico, la arena fina no se derrumba y mantiene la forma del cono, entonces aún está húmedo la superficie de la muestra.

- Llenamos el picnómetro parcialmente de agua, seguido agregamos 500 gr \pm 5 gr. de la muestra saturada superficialmente seca, agregamos agua hasta llenar a capacidad de calibración del picnómetro al 90 %, tapar y agitar el contenido con la finalidad de eliminar las burbujas de aire dentro de la muestra, finalmente llenamos con agua el picnómetro al volumen de aforo. Determinamos la masa total del picnómetro, el espécimen, y el agua.
- Vertemos el contenido del picnómetro en un recipiente metálico, dejamos decantar la muestra para retirar con cautela la mayor porción de agua sin eliminar partículas del agregado fino en el proceso.
- Introducimos el recipiente al horno secador a una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 hr, luego se enfría a temperatura ambiente en un secador durante $\frac{1}{2}$ hora a 1 $\frac{1}{2}$ hora para finalmente ser pesado.

3.4.1.2. Peso Unitario Suelto y Compactado del Agregado Fino: NTP 400.017:2013 – ASTM C 29

Peso Unitario Suelto (PUS)

Materiales y Equipos

- Recipiente cilíndrico de metal
- Varilla de acero lisa.
- Muestra de la arena fina.
- Cucharón
- Espátula.
- Balanza de capacidad: 3 kg. \pm 0.1 gr.

Procedimiento

- Llenar el recipiente hasta el reboce con un cucharón, descargando la muestra de agregado desde una altura que no exceda los 5 cm encima del borde superior del recipiente.

- Nivelar la superficie del agregado con una espátula de manera que obtengamos un recipiente llenado al ras.
- Determinar la masa del recipiente más su contenido, y la masa del recipiente vacío, y registrar los valores con exactitud de 0,05 kg.

Peso Unitario Compactado (PUC)

Materiales y Equipos

- Recipiente de
- Barra compactadora.
- Muestra del agregado fino
- Pala de acero.
- Balanza de capacidad: 3 kg. \pm 0.1 gr.

Procedimiento

- Llenar un tercio del recipiente con la muestra y nivelar la superficie con los dedos. Apisonar con 25 golpes uniformemente distribuidos con la varilla de acero sobre la superficie. Llenar a 2 tercios el recipiente para nivelar y apisonar nuevamente. Luego llenar a sobrevolumen el recipiente, apisonar y nivelar la superficie del agregado con una espátula de manera que obtengamos un recipiente llenado al ras.
- Finalmente se procede a determinar la masa del recipiente más su contenido, y la masa del recipiente vacío, y registrar los valores con exactitud de 0,05 kg.

3.4.1.3. Contenido de Humedad: NTP 339.185:2013 - ASTM C 70

Materiales y Equipos

- Horno secador de 110 °C \pm 5°C
- Recipiente metálico cilíndrico.
- Espátula de metal.
- Balanza de capacidad: 3 kg. \pm 0.1 gr.

Procedimiento

- Colocar 500 g \pm 10 g de muestra húmeda en un recipiente metálico, determinar la masa de recipiente más la muestra con una balanza de 0.01 g de precisión.

- Secar la muestra en el recipiente metálico, introduciéndolo en un horno de temperatura a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por no menos de 24 hr, evitando la pérdida de partículas de muestra en la operación.
- Se considero la muestra lo suficientemente seca cuando al retirar del horno y determinar su masa, esta no vario con la medición anterior en un 0,1 % de masa, si la variación fue mayor se introdujo nuevamente la muestra en el horno, por un periodo adicional de tiempo hasta lograr el objetivo.
- Luego, se procedió a determinar la masa de la muestra, dando unos minutos para enfriar lo suficiente el recipiente metálico para no dañar la balanza.
- Calculamos el contenido de humedad total evaporable aplicando la siguiente formula:

$$P = 100 (W - D) / D$$

Donde:

P = Contenido total de humedad evaporable de la muestra en porcentaje.

W = Masa de la muestra húmeda original en gramos.

D = Masa de la muestra seca en gramos.

3.4.1.4. Análisis Granulométrico de los Agregados. NTP 400.012:2001 - ASTM C136

Materiales y Equipos

- Equipo vibrador Ro-tap.
- Tamices N°4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200
- Balanza de capacidad 3 kg. ± 0.1 gr.
- Horno secador Temperatura uniforme de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$

Procedimiento

- Tomar unos 4 kg de muestra de agregado fino en cumplimiento con la NTP 400.010. Mezclar hasta homogenizar, luego se cuartea para reducir su cantidad a un peso necesario para el ensayo, sin embargo, no se permite la reducción a una cantidad específica.
- Se procede a secar la muestra una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas como mínimo, y hasta obtener una pérdida de masa menor al 0.1 g.

- Se deja enfriar la muestra a temperatura ambiente ($T = 25^{\circ}\text{C}$) por $\frac{1}{2}$ hr o 1 hr, para luego determinar su masa.
- Tomar la muestra seca y lavarla a través del tamiz N° 200, para eliminar a los finos menor a esta malla.
- La muestra retenida en el tamiz N° 200 debe secarse en el horno por no menos de 24 horas, y hasta obtener una pérdida de masa menor al 0.1 g.
- Seleccionar los tamaños de tamices adecuados para el ensayo de análisis granulométrico de un agregado fino. Encajar los tamices en orden de mayor a menor abertura y colocar la muestra sobre el tamiz superior.
- Colocar la muestra seca en el tamiz superior, tapar; luego colocar el juego de tamices en el equipo vibrador Ro-tap y encenderlo para su agitación por un período mínimo de 5 min.
- Se procede determinar las masas de muestra retenidas en cada tamiz.
- Se realizan los cálculos.

3.4.1.5. Cantidad de Agregados Finos que pasan por el tamiz N°200: NTP 400.018, 2013 - ASTM C 117

Materiales y Equipos

- Tamices Taylor N° 200
- Balanza de capacidad 3 kg. ± 0.1 gr.
- Balde de plástico
- Recipiente metálico
- Horno secador Temperatura uniforme de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$

Procedimiento

- Tomar unos 1 kg de muestra de agregado fino en cumplimiento con la NTP 400.010. Mezclar hasta homogenizar, luego se cuartea para reducir su cantidad a un peso necesario para el ensayo, sin embargo, no se permite la reducción a una cantidad específica.
- Se procede a secar la muestra una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas como mínimo, y hasta obtener una pérdida de masa menor al 0.1 g.

- Se deja enfriar la muestra a temperatura ambiente y se determina su masa.
- En el balde plástico se coloca la muestra de agregado fino y se agrega agua inundando la muestra, se agita la muestra con el agua con la finalidad de separar todas las partículas más finas de las gruesas.
- Una vez agitada la muestra verter todo el contenido del balde en el tamiz N° 200 y con un chorro de agua constante sin mucha presión, para evitar la pérdida de partículas. Se procede a lavar los finos a través de la malla.
- Se lava el tamiz N° 200 con el material retenido en un recipiente metálico, vertiendo todo el material dentro del recipiente con ayuda de un chorro de agua constante con poca presión, luego dejar decantar para eliminar la mayor porción de agua inclinando el recipiente.
- Secar la muestra resultante a una temperatura de $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 h y hasta obtener una pérdida de peso no mayor de 0.1g.
- Determinar la masa de muestra.

3.4.2. Diseño de Mezclas:

Para determinar las cantidades del diseño mezcla del mortero, se utilizaron procedimientos técnicos enmarcados en las normas vigentes y modelos teóricos aceptados; como resultado se obtuvo una mezcla con las características anheladas de cemento, agregado, aditivo y agua.

El mortero fue fabricado con cemento Pacasmayo Portland tipo I, en una proporción cemento: arena de 1:4 y con una relación de agua/cemento $a/c = 0.45$ y un curado tradicional por inmersión en agua. Los aditivos impermeabilizantes son productos distribuidos por Sika Perú S.A.

3.4.3. Método de Dosificación.

En la fabricación de mortero, para obtener las cantidades de materiales a usar en la preparación de las probetas se utilizó el porcentaje en peso por cantidad de cemento, distribuidos en 69 unidades como el grupo de mortero control, es decir especímenes elaborados sin ningún tratamiento; y 216 con cantidades diferentes de tipos de aditivos impermeabilizantes.

Cada tipo de mortero es elaborado con una proporción de 1:4 Cemento: Arena y $a/c = 0.45$; donde los moldes fabricados en forma de disco, tendrán un diámetro de 100 ± 6 mm de diámetro y un espesor de 50 ± 3 mm.

Tabla 6: Codificación de muestras experimentales y dosis de Aditivo.

Grupo	Descripción	% en Peso Aditivo por cantidad de Cemento	
		Códigos	Niveles
M0	Sin Aditivo	GO	0
M1	Aditivo Hidrófugo (Sika-1)	GHD	2.0
M2	Aditivo de Solidos Finos (Sika-100)	GSF	2.0
M3	Aditivo por Cristalización (Sika WT-200P)	GCR	1.0

Fuente: Elaboración propia

Preparación de moldes: Estos son limpiados, para luego aplicarles una película de desmoldante en toda la superficie de llenado de las probetas.

Pesado: Con la información de los ensayos de los materiales y realizado los cálculos de la dosificación, se pesan el cemento, el agregado fino, el aditivo y la cantidad de agua.

Mezclado: Se preparan una cantidad aproximada de 3 litros de mortero, que corresponde a 9 probetas y se le adiciona el aditivo impermeabilizante según el código de mezcla asignado. Se procede según la Norma técnica peruana: NTP 334.003

- Se coloca en un recipiente los materiales para la mezcla.
- Vertimos el agua de amasado dentro del recipiente.
- Agregamos el cemento en el recipiente con agua homogenizamos la mezcla por 120 segundos.
- Agregamos la arena lentamente en un periodo de 30 segundos.
- Para finalizar mezclamos durante 180 segundos.

Llenado de los moldes con mortero: Se llena los compartimentos en dos partes, la mitad del molde en cada uno de los compartimentos, donde se apisona con 32 golpes sobre la superficie, en 4 periodos de 8 golpes cada una; los golpes son perpendiculares a la superficie, la presión aplicada para compactar (13mm * 16 mm * 150 mm según NTP 334.003:2002 - ASTM C 230) es lo suficientemente para extender la mezcla uniformemente y llenar cada compartimento completamente.

Al finalizar la compactación, las caras superiores de los cubos deben quedar un poco más altas que el borde superior de los moldes. La superficie es alisada con ayuda de la espátula, quitando el sobrante de mortero con un movimiento de vaivén. (NTP 334.051:1998 - ASTM C 109) para finalmente, rotular los códigos en las probetas.

Curado. Terminada la operación de rotulado, se protege la cara superior y se desencofra a las 24 horas, para luego colocarlas en inmersión de agua durante 7 días, actividad según la norma ASTM C 192. Proceso que consiste en mantener húmedo y controlar la temperatura del concreto por varios días después de su colocación, con el fin de permitir la reacción química entre el cemento y el agua (hidratación del cemento).

3.4.4. Determinación de grado de absorción de agua.

Para determinar el grado de absorción se siguió el siguiente procedimiento según NTP 339.187.2003 que usa en referencia a la norma ASTM C-642.

Secado en el horno:

Secar en un horno la probeta codificada a una temperatura de 100 a 110°C, por no menos de 24 hr. Después retiramos cada espécimen del horno y dejamos enfriar en aire seco (preferentemente en un desecador) a una temperatura de 20 a 25°C y determinamos su masa, realizar hasta peso constante con variación menor al 0.5%. Designe este último valor A.

La Masa Saturada Después de la inmersión:

Sumerja la probeta en el agua de aproximadamente 21°C por no menos de 48 hrs, luego Seque la probeta eliminando la humedad de la superficie con una toalla y determine la masa, realizar hasta obtener dos valores sucesivos de masa un aumento inferior al 0,5% del mayor valor. Designar la masa final de superficie seca después de la inmersión como B.

Cálculos:

$$\text{Absorción después de inmersión, \%} = [(B - A)/A] \times 100 \quad (1)$$

Donde:

A = masa de la muestra secada al horno y enfriada en aire seco, en gramos.
B = masa de la muestra de superficie seca enfriada al aire después de la inmersión, en gramos.

3.4.5. Índice de Vacíos Permeables.

Masa Saturada Después de hervir:

En siguiente Coloque la probeta en un recipiente adecuado, cubierta con agua del grifo, y deje hervir durante 5 h. Deje que se enfríe por pérdida natural de calor durante no menos de 14 horas a una temperatura final de 20 a 25 ° C. Retire la humedad de la superficie con una toalla y determine la masa de la muestra. Designar la masa empapada, hervida y secada en la superficie como C.

Masa aparente sumergida:

Suspender la probeta, después de la inmersión y la ebullición, por un alambre y determinar la masa aparente en el agua. Designar esta masa aparente D.

Cálculos

$$\text{Absorción después de inmersión y ebullición, \%} = [(C - A) / A] \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Densidad aparente, seca} = [A / (C - D)] \cdot \rho = g_1 \quad (3)$$

$$\text{Densidad aparente después de la inmersión} = [B / (C - D)] \cdot \rho \quad (4)$$

$$\text{Densidad aparente después de inmersión y ebullición} = [C / (C - D)] \cdot \rho \quad (5)$$

$$\text{Densidad aparente} = [A / (A - D)] \cdot \rho = g_2 \quad (6)$$

$$\text{Volumen del espacio poroso permeable (huecos), \%} = [(g_2 - g_1) / g_2] \times 100 \quad (7)$$

$$\text{O } [(C - A) / (C - D)] \times 100$$

Donde:

A = masa de muestra secada al horno enfriada al aire, g.

B = masa de la muestra superficialmente seca al aire después de la inmersión, g.

C = masa de la muestra superficialmente seca al aire después de la inmersión y ebullición, g.

D = masa aparente de la muestra en agua después de la inmersión y ebullición, g

g_1 = densidad absoluta, seca, Mg/m³ y

g_2 = densidad aparente, Mg/m³

ρ = densidad del agua = 1 Mg/m³ = 1 g/cm³.

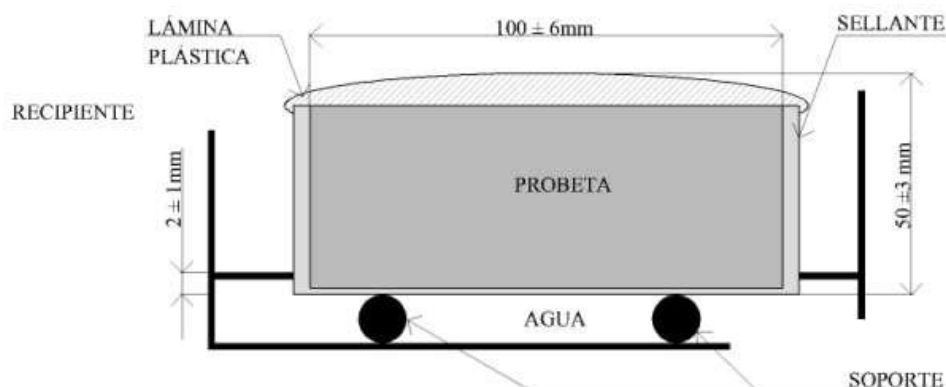
3.4.6. Determinación de la capilaridad.

Se elaboraron 18 probetas para cada mortero de prueba y fueron ensayadas según la norma ASTM C 1585, para medir la tasa de absorción de agua en morteros, que consiste en dejar una de las caras planas de la probeta de mortero en contacto con el agua, como se ilustra en la figura 8.

Procedimiento:

- Se miden el diámetro y espesor de cada probeta utilizando la herramienta del vernier, haciendo 4 mediciones y sacando el promedio en cada probeta codificada.
- Secar la probeta en un horno a una temperatura de $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por un tiempo mínimo de 24 horas, hasta obtener un peso constante y registrarlo como el peso seco de la probeta.
- En la bandeja donde se van a colocar las probetas, primero ubicamos los soportes de 0.5 a 1cm de altura dentro de la bandeja.
- Las probetas se colocan sobre los soportes en la bandeja,
- Agregar el agua y sumergir en agua la cara de apoyo de la probeta, en solo un 1 cm, siempre verificando que el nivel de agua se encuentre horizontal.
- Permanecer las probetas por 03 horas dentro del agua.

Figura 8.- Ensayo de capilaridad

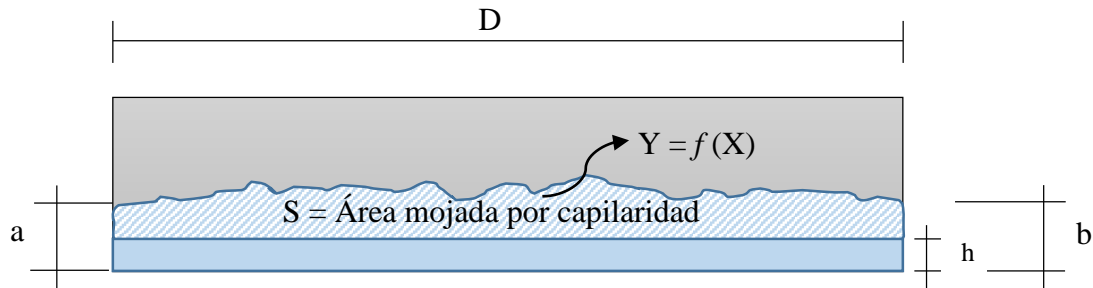


Fuente: Elaboración propia

- Mantener el nivel de agua de 1cm, agregando agua según se requiera.
- Sacar de la bandeja las probetas y secar sus caras.
- Determinar la masa de la probeta con el agua absorbida.

- Por diferencia de pesos determinar el volumen de agua absorbida (P).
- Realizar la ruptura de la probeta, para medir el fleco capilar en cm², el cual es el área humedecida, pero a partir de un centímetro. (S)

Figura 9: fleco capilar o área mojada.



Fuente: Elaboración propia

- La capilaridad esta dada en g/(cm²*min), siguiendo las fórmulas:

$$k = P(S * t)$$

Donde:

S : Área mojada por capilaridad (cm²)

P : Peso de agua absorbida (g)

t : Tiempo de exposición en el agua. (Min)

3.4.7. Determinación de la permeabilidad de un mortero de cemento.

El proceso para determinar la permeabilidad, se realizó con un procedimiento no estandarizado, adecuado al problema planteado, con la finalidad de tener un valor que exprese la capacidad de permitir el paso del agua a través de un mortero de cemento, permeabilidad.

Para este fin, se elaboraron seis probetas por cada tipo de mezcla, las cuales tuvieron las siguientes dimensiones: 2" de diámetro y 1" de alto. La permeabilidad o conductividad del mortero, se determinó siguiendo como referencia lo especificado en la norma ASTM D 5084-90, para ello se aplica la expresión de la

Ley de Darcy:

$$Q = k * A * I$$

Donde:

Q: Gasto de agua percolada (cm^3/s)

k : Coeficiente de permeabilidad ($\text{cm}^3/\text{cm}^2/\text{s} = \text{cm}/\text{s}$)

A: Área a través de la cual ha pasado el agua. (cm^2)

I: gradiente hidráulico.

Además:

$$Q = V / t$$

$$I = L / H$$

Siendo:

V: Volumen percolado (cm^3)

t: Tiempo de ensayo. (s)

L: Longitud de la muestra (cm)

h: diferencia de carga hidráulica (expresada en columna de agua)

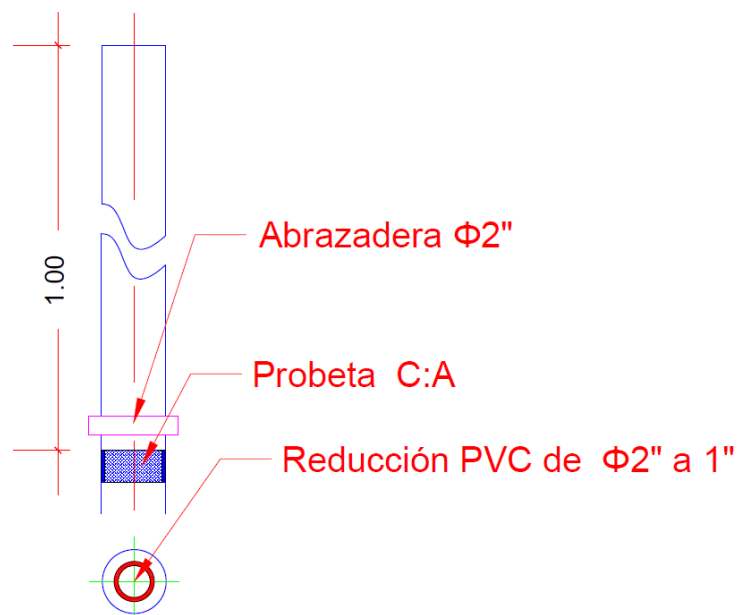
Entonces la permeabilidad o coeficiente de permeabilidad hidráulica (Alva, 1999):

$$k = V * L / (A * t * h)$$

La propuesta del permeámetro consiste en un cilindro de 1.10m de longitud y 2" de diámetro, bajo estas condiciones, obtenemos una presión interna de 1 m.c.a. Para ello, se utiliza recortes de tubería de PVC (SAL), ver figura 8; en ella se coloca la muestra a ensayar, la cual es recubierta previamente, por las paredes laterales con una lámina de látex, para ayudar a su hermeticidad.

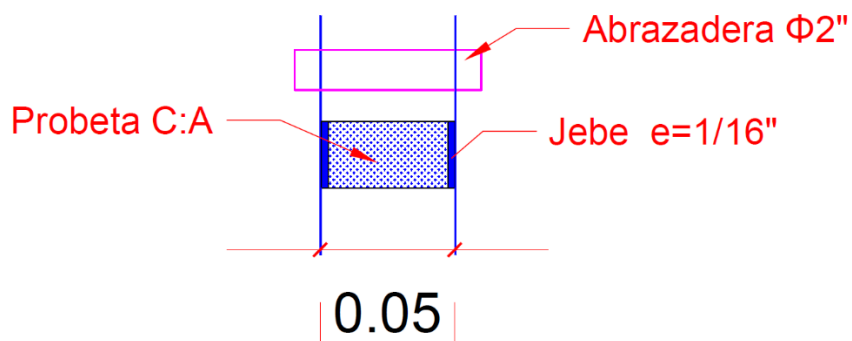
Por la parte exterior, se coloca una abrazadera metálica, la cual se ajusta para fijar el espécimen dentro del permeámetro, con ello queda listo para el ensayo.

Figura 10: Propuesta de permeámetro.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 11: Detalle de la muestra dentro del permeámetro.



Fuente: Elaboración propia

Equipos e instrumentos

- Termómetro ambiental.
- Vernier.
- Flexómetro.
- 02 abrazaderas metálicas de 2" de diámetro.
- 01 ligadura de jebe 1mm de espesor.
- Probeta graduada.
- Destornillador.

Procedimiento:

- Medir las muestras con el vernier y determinar el promedio de su diámetro y altura.
- Saturar la muestra hasta peso constante.
- Colocar en el permeámetro la muestra, con la ligadura en su alrededor para evitar la fuga de agua por las paredes laterales.
- Ajustar con la abrazadera, apretando su respectivo tornillo.
- Colocar en posición vertical y echar agua, dejando un margen libre de agua de 2 cm del borde superior.
- Colocarlo en un recipiente.
- Dejar pasar el agua por un lapso de 5 días.
- Pasado los 5 días, verter el agua en una probeta graduada.
- Medir la cantidad de agua en la probeta, que ha percolado por la muestra de mortero.

3.5. Procesamiento y análisis de los datos

En la recolección de datos para el presente estudio se realizaron en forma escalonada y metódica, utilizando normas específicas, instrumentación, grado de precisión utilizados para los trabajos en laboratorio y procesamiento de los datos para cada tipo de ensayo, como la calidad de los agregados, dosificación de materiales de mortero y sus propiedades en estado fresco y endurecido.

Técnicas de presentación: El procesamiento de datos se efectuó por medio de un análisis estadístico, aplicando el método de regresión y interacción entre las variables estudiadas, para lo cual se utilizó el software estadístico como el Minitab versión 18.0, EXCEL 2018 y tablas estadísticas.

En el procesamiento de datos se aplicó las siguientes técnicas: Cálculo de estimadores estadísticos, Regresión. Coeficiente de Pearson. Intervalos de Confianza.

- Estimadores Estadísticos (Cálculo de promedio, desviación estándar. Coeficiente de variación)
- La prueba Shapiro-Wilk: se utilizó para definir si los datos guardan un comportamiento de distribución normal, siendo esta una hipótesis que debe demostrarse para aplicar el método estadístico de la regresión.

- Intervalos de Confianza. Para estimar el intervalo del promedio y las diferencias de promedios.
- Prueba de Hipótesis: Para probar si hay una influencia significativa de las variables independientes en la variable dependiente.

3.5.1. Procesamiento de datos

3.5.1.1. Nivel de significancia

El valor del nivel de significancia asignado para estos ensayos fue de $\alpha = 0.05$ para un nivel de confianza de (95%). Se evaluó por medio del valor P de la prueba Shapiro-Wilk, si el valor P, está por debajo de un nivel de significancia (α), es decir: ($P > \alpha$), quiere decir que es significativa y se puede decir que el resultado no es al azar (probablemente) rechazando la hipótesis nula del ensayo.

3.5.1.2. Criterio de rechazo

Hipótesis:

H0: La muestra proviene de una población normalmente distribuida.

H1: La muestra no proviene de una población normalmente distribuida.

En la prueba de bondad de ajuste aquí interesa no rechazar la hipótesis nula, es decir, interesa que el valor de p sea mayor de 0,05 para no rechazar la hipótesis nula (queremos que $p > 0,05$).

3.5.1.3. Promedio.

Denominada también la media aritmética; es la suma de todas las observaciones (resultados) dividido entre el número total de datos, como lo indica la formula siguiente:

$$\bar{x} = \frac{\sum_i^n X_i}{n}$$

Donde:

\bar{x} = Promedio

Σ = Sumatoria

x_i = Observación de la muestra.

n = Tamaño de la muestra.

3.5.1.4. Varianza

Es una medida de la variabilidad de un conjunto de datos respecto a su media. Se calcula como la suma de los residuos al cuadrado divididos entre el total de observaciones o como la desviación típica al cuadrado.

$$\sigma^2 = \frac{\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Donde:

σ^2 = Varianza

\bar{x} = Promedio.

Σ = Sumatoria.

x_i = Observación de la muestra.

n = Tamaño de la muestra.

3.5.1.5. Desviación estándar

Es una medida que se usa para cuantificar la variación de un conjunto de datos numéricos, indicando qué tan dispersos se encuentran los datos con respecto a la media; a mayor desviación estándar, mayor es la dispersión de datos.

Con el dato de la varianza se determina la desviación estándar:

$$DS = \sqrt{\sigma^2}$$

Dónde:

σ^2 = Varianza

3.5.1.6. Coeficiente de variación

Para hacer referencia a la relación entre el tamaño de la media y la variabilidad de la variable, se utiliza el coeficiente de variación, su fórmula expresa la desviación estándar como porcentaje de la media aritmética, mostrando una interpretación relativa del grado de variabilidad, eliminando la dimensionalidad de la escala de la variable, a diferencia de la desviación estándar.

$$CV = \frac{DS}{\bar{X}} \times 100$$

Donde:

DS = Desviación estándar

\bar{X} = Promedio o Media Aritmética

Interpretación del coeficiente de variación

El coeficiente de variación es una calificación que permite a los usuarios evaluar la calidad estadística de las estimaciones.

Para la muestra se considera que una estimación con un coeficiente de variación:

- Hasta del 7%, es precisa;
- Entre el 8 y el 14% significa que existe una precisión aceptable;
- Entre el 15% y 20% precisión regular y por lo tanto se debe utilizar con precaución.
- Mayor del 20% indica que la estimación es poco precisa y por lo tanto se recomienda utilizarla sólo con fines descriptivos (tendencias no niveles).

3.5.2. Análisis de los datos

En la Tabla 16 se exponen todos los resultados promedio para ser evaluados estadísticamente por el método de Shapiro Wilk, con un nivel de confianza de 95%.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

La investigación al ser del tipo experimental, y para contrastar la hipótesis se realizaron los ensayos experimentales en laboratorio, divididos en cuatro grupos experimentales. Cada grupo experimental tuvo una variación en el tipo y contenido del aditivo impermeabilizante Sika®, para evaluar su influencia en las propiedades del mortero cemento/arena.

Utilizando la metodología científica propuesta y desarrollada en este estudio de investigación, se procedió a realizar los ensayos de laboratorio, donde los resultados se muestran y analizan a continuación.

Con los resultados obtenidos, primeramente, de las pruebas de caracterización del agregado fino, permitió obtener los valores para la cuantificación de las cantidades de los materiales en el diseño de mezcla del mortero de cemento, y a continuación elaborar las probetas con las variables especificadas para ensayar su contenido y obtener los índices de vacíos permeables, grado de absorción y adicionalmente la permeabilidad.

En la tabla 6, se presentan los resultados de los cuatro grupos experimentales, la cantidad de aditivo por bolsa de cemento, y el valor promedio del peso específico, porcentaje de humedad y la absorción obtenidas en laboratorio.

4.1. Resultados de los ensayos de laboratorio del Agregado Fino.

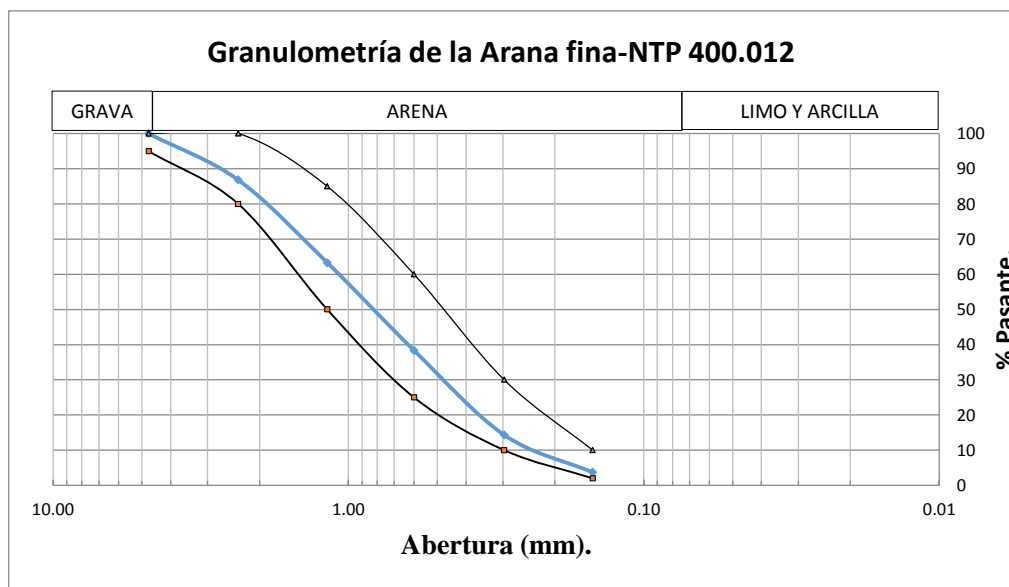
Análisis Granulométrico del Agregado Fino

Tabla 07.- Clasificación Granulométrica de la Arena fina.

Malla N°	Ø (mm)	Husos Granulométricos NTP 400.012		Peso Retenido (g.)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado
		Límite Inferior	Límite Superior				
4	4.75	95	100	0.0	0.0	0.0	100.0
8	2.36	80	100	74.5	13.2	13.2	86.8
16	1.18	50	85	132.8	23.5	36.7	63.3
30	0.60	25	60	140.9	24.9	61.6	38.4
50	0.30	10	30	135.7	24.0	85.7	14.3
100	0.15	2	10	60.1	10.6	96.3	3.7
-100	Bandeja			20.9	3.7	100.0	0.0
				<u>564.9</u>			

Fuente: Elaboración Propia

Figura 12.-Clasificación Granulométrica de la arena y sus Husos Granulométricos.



Fuente: Elaboración Propia

D ₆₀ :	1.06	Cu (Coeficiente de uniformidad) :	4.60
D ₃₀ :	0.49	Modulo de Finura :	2.94
D ₁₀ :	0.23	% de Arena :	100.00
Cc (Coeficiente de curvatura) :	1.00	% de Finos :	1.95

La Tabla N° 06 muestra el desarrollo de un análisis granulométrico usando los tamices N° 4, 8, 16, 50, 100; los resultados son expresados en la Grafica N° 02 que

muestra la abertura de los tamices (mm) Vs el % pasante acumulado de la muestra del agregado fino, dando como resultado valores dentro de los husos granulométricos de la NTP 400.012,2013 y al usar esta grafica se obtiene el valor de 2.94 para el módulo de finura; el cual es ideal para el agregado fino, debido a que se encuentra entre el rango de 2.50 a 3.

Contenido de Humedad del Agregado Fino – NTP: 339.185,2013

Tabla 08.- Contenido de Humedad del Agregado Fino.

Contenido de Humedad	Agregado Fino
Peso tazón (gr)	290.0
Peso tazón + material húmedo (gr)	830.5
Peso tazón + material seco (gr)	814.2
Peso material húmedo (gr)	540.5
Peso material seco (gr)	524.2
Contenido de humedad (gr)	16.3
Contenido de Humedad (%)	3.10%

Fuente: Elaboración Propia.

La Tabla N° 08, muestra el porcentaje total de humedad evaporable en una muestra de agregado fino por secado igual a 3.10%. La humedad evaporable incluye la humedad superficial y la contenida en los poros del agregado, pero no considera el agua que se combina químicamente con los minerales de algunos agregados y que no es susceptible de evaporación, por lo que no está incluida en el porcentaje determinado por este método.

Peso Unitario Suelto del Agregado Fino - NTP: 400.017,2011

Tabla 09.- Peso Unitario Suelto del Agregado Fino

Agregado Fino	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Peso recipiente + material (kg)	11.371	11.402	11.318	
Peso recipiente (kg)	0.954	0.954	0.94	
Peso neto muestra (kg)	10.417	10.448	10.364	
Volumen recipiente (m3)	0.007	0.007	0.007	
Peso Unitario Suelto (Kg/m3)	1488.11	1492.54	1480.54	1487.06

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla N° 09, muestra como media aritmética del ensayo de peso unitario suelto del agregado fino el valor de 1487.06 Kg/m³; donde para determinar la densidad de masa suelta por este método no se consideró la condición secar la muestra en estufa.

Peso Unitario Compactado del Agregado Fino - NTP: 400.017

Tabla 10.- Peso Unitario Compactado del Agregado Fino.

Arena	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Peso recipiente + material (kg)	13.423	13.498	13.444	
Peso recipiente (kg)	0.954	0.954	0.954	
Peso neto muestra (kg)	12.469	12.490	12.544	
Volumen recipiente (m3)	0.007	0.007	0.007	
Peso Unitario Compactado (Kg/m3)	1,781	1,784	1,792	1785.9

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N° 10, se muestra la media aritmética del ensayo de peso unitario compactado del agregado fino realizado por triplicado; resultando el valor de 1785.9 Kg/m³; donde para determinar la densidad de masa compactada por este método no se consideró la condición secar la muestra en el horno.

Peso Específico y Absorción del Agregado Fino - NTP: 400.022

Tabla 11.- Peso Específico y Absorción del Agregado Fino.

Agregado Fino		Und.	E1	E2
A	Masa de Muestra (SSD)	g	504	503
B	Masa del Picnómetro aforado con agua	g	685	690
C	[A + B]	g	1189	1193
D	Masa de muestra en Picnómetro aforado en agua	g	997	995
E	[C – D]	cm ³	193	200
F	Masa de muestra seca al horno	g	493	491.4
Resultados			R1	R2
Peso Específico: (F/E)		g/cm ³	2.55	2.46
		Promedio g/cm ³	2.51	
% De Absorción: 100 [(A-F)/F]		%	2.23	2.36
		Promedio %	2.30	

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla N° 11, Muestra el ensayo por duplicado del peso específico obtenido del agregado fino, siendo el valor promedio obtenido de 2.51 y los valores

de % de absorción de 2.30, el cual se usan para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida en los espacios de los poros dentro de las partículas constituyentes, en comparación con la condición seca.

Cantidad que Pasa la Malla N° 200 del Agregado Fino - NTP: 400.018

Tabla 12.- Porcentaje pasante de malla N° 200 - Agregado Fino.

Agregado Fino	Und.	Datos
Peso de la Tara	g	130.8
Peso de la Tara + Peso del Agregado seco	g	650.8
Peso de la Tara + Peso del Agregado lavado	g	569.5
Peso de Finos pasante de la malla N° 200	g	81.3
Peso del Agregado seco	g	520.0
Contenido Pasante de la malla N° 200	%	15.63

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla N° 12, muestra el ensayo de agregado fino que por medio de agua se dispersa a las partículas de polvo o material que pasa por el tamiz normalizado de 75 µm (malla 200) con un resultado de 15.63 % en peso de muestra.

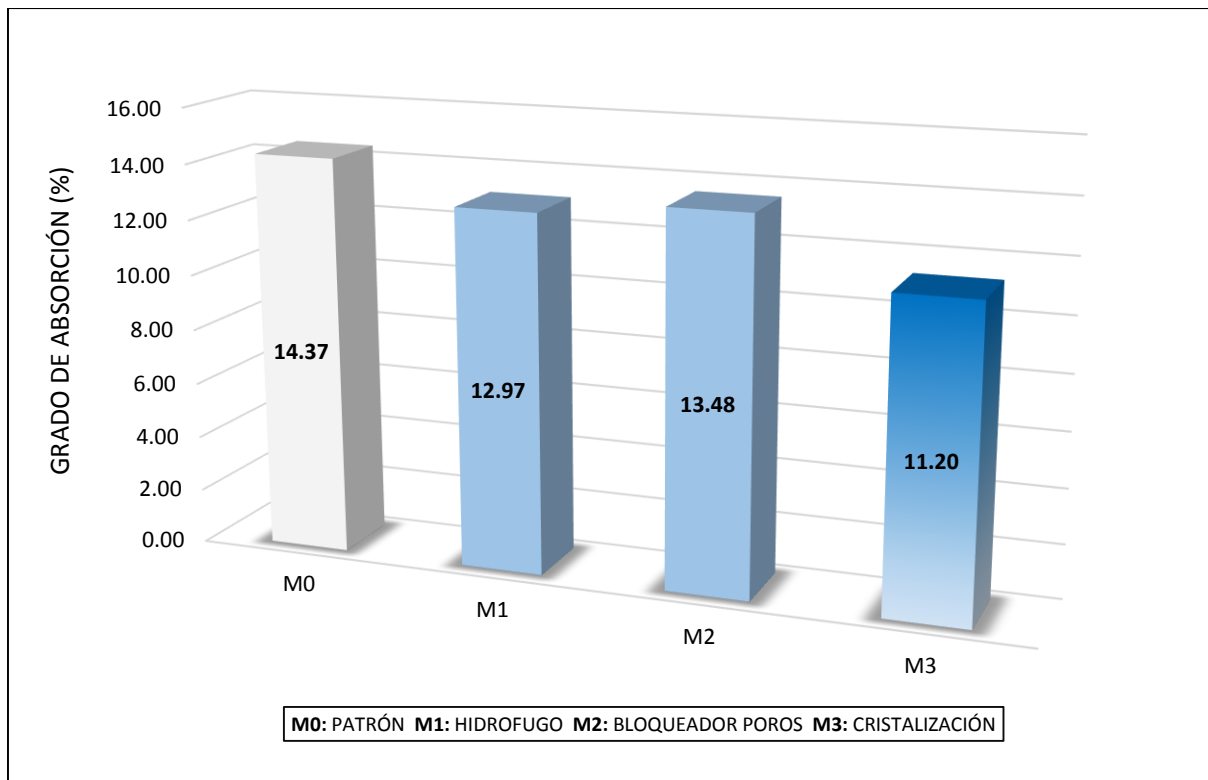
4.2. Resultados de Ensayos.

Tabla 13: Resumen de resultados de grado de absorción de agua y índice de vacíos permeables en diferentes mezclas de mortero.

Grupo de Mezcla	Cantidad de Aditivos por bolsa de cemento	Estimador Estadístico	Grado de Absorción de Agua (%)	Índice de Vacíos permeables (%)
M0	0.0 %	Promedio	14.37	21.53
		Desviación Estándar	0.48	0.94
		Coficiente de Variación	3.32%	4.35%
M1	2.0 %	Promedio	12.97	16.01
		Desviación Estándar	0.66	0.71
		Coficiente de Variación	5.05%	4.46%
M2	2.0 %	Promedio	13.48	18.30
		Desviación Estándar	0.70	0.78
		Coficiente de Variación	5.22%	4.24%
M3	1.0%	Promedio	11.20	14.15
		Desviación Estándar	0.57	0.66
		Coficiente de Variación	5.05%	4.69%

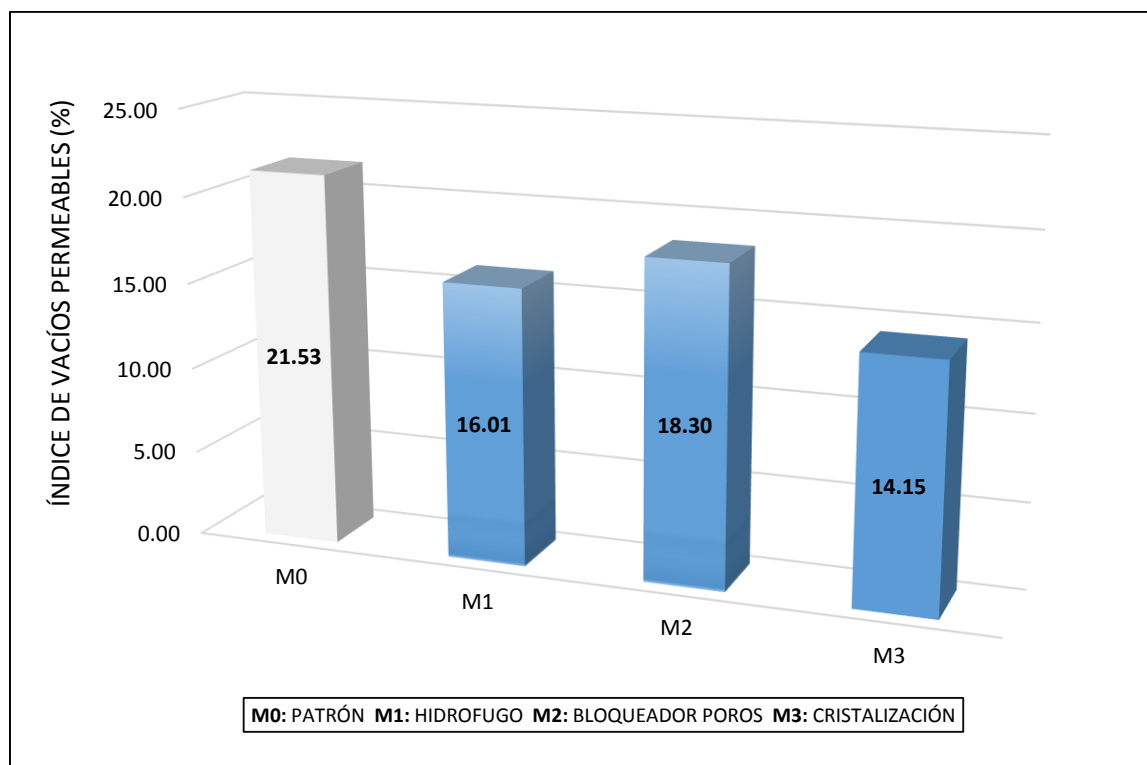
Fuente: Elaboración propia.

Figura 13.- Valores Promedios de Grado de Absorción de agua versus diferentes tipos de mezcla.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 14.- Valores Promedios del índice de vacíos permeables versus diferentes tipos de mezcla.



Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que los tres grupos con los que se realizó la adición de reactivos impermeabilizantes obtuvieron una reducción tanto en el grado de absorción de agua como en el porcentaje de volumen de poros permeables (índice de vacíos permeables).

Así mismo, en la tabla 13, se muestra que el menor grado de absorción de agua y menor índice de vacíos permeables se obtuvo con el grupo experimental M3 con 11.2% y 14.15 % respectivamente. Además, los valores de la desviación estándar de la estadística obtenida para ambas pruebas y grupos de mezcla son similares.

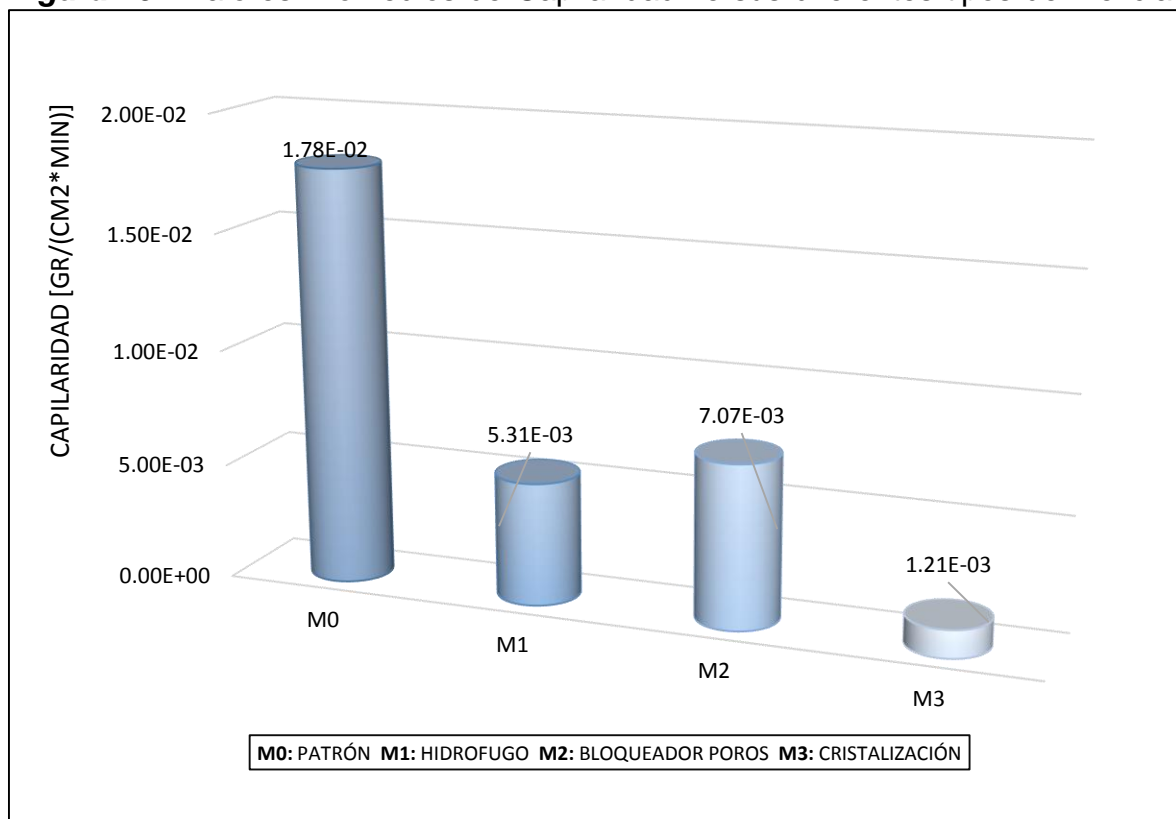
Por otro lado, la Interpretación del coeficiente de variación que nos muestran ambas pruebas y grupos de mezclas, evalúa la calidad estadística como precisa, al estar todos los valores obtenidos por debajo del 7%.

Tabla 14: Resumen de resultados de los ensayos de la capilaridad y permeabilidad, en diferentes mezclas de mortero.

Grupo de Mezcla	Cantidad de Aditivos por bolsa de cemento	Estimador Estadístico	Capilaridad [gr/(cm ² *min)]	Permeabilidad (cm/seg)
M0	0.0 %	Promedio	1.78E-02	2.91E-07
		Desviación Estándar	6.78E-04	1.81E-08
		Coefficiente de Variación	3.80	6.21
M1	2.0 %	Promedio	5.31E-03	1.65E-07
		Desviación Estándar	2.95E-04	8.29E-09
		Coefficiente de Variación	5.54	5.04
M2	2.0 %	Promedio	7.07E-03	2.12E-07
		Desviación Estándar	4.09E-04	1.00E-08
		Coefficiente de Variación	5.79	4.72
M3	1.0%	Promedio	1.21E-03	9.13E-08
		Desviación Estándar	6.08E-05	4.95E-09
		Coefficiente de Variación	5.05	5.42

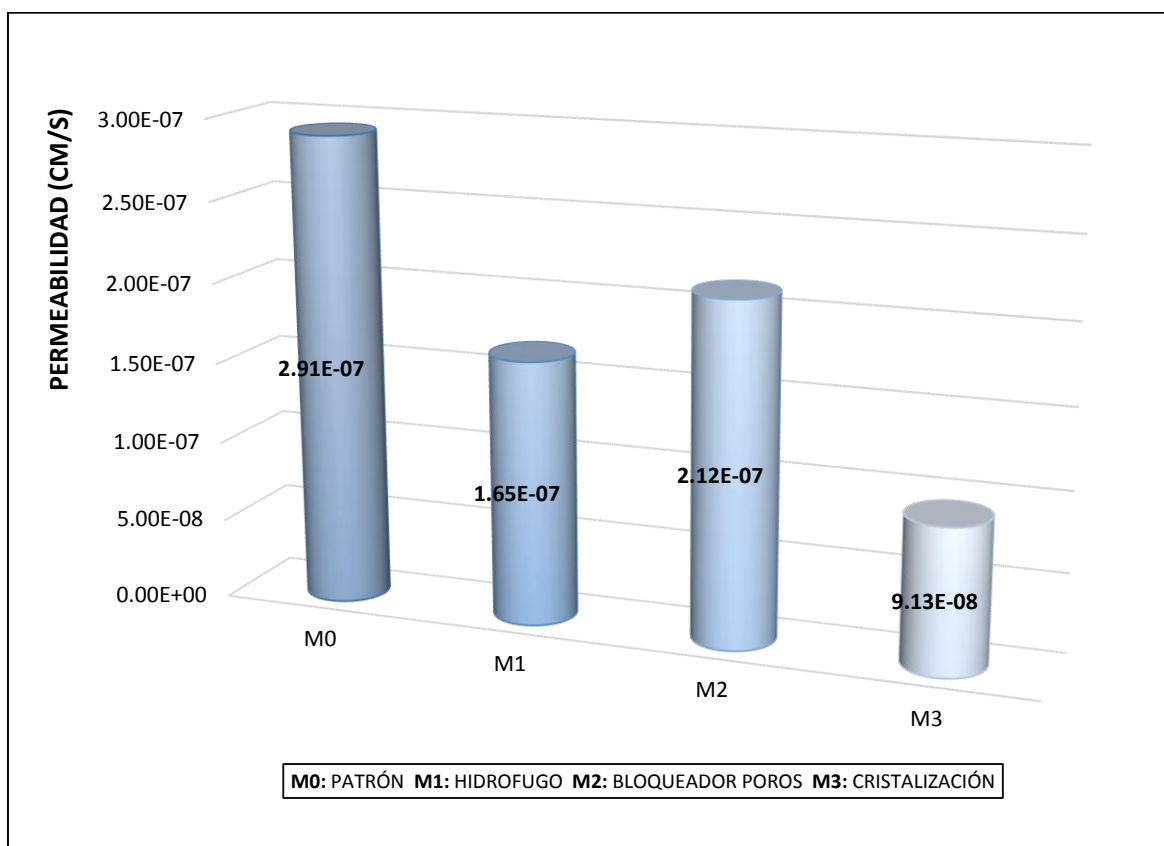
Fuente: Elaboración propia.

Figura 15.- Valores Promedios de Capilaridad versus diferentes tipos de mezcla.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16.- Valores Promedios de Permeabilidad versus diferentes tipos de mezcla.



Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que los que los tres grupos con los que se realizó la adición de reactivos impermeabilizantes obtuvieron una reducción tanto en la capilaridad y en la permeabilidad al agua.

Además, en la tabla 14, se muestra que la menor capilaridad y permeabilidad del agua la presenta con el grupo experimental M3 con $1.21E-03 \text{ gr}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})$ y $9.13E-08 \text{ cm}/\text{seg.}$ respectivamente. De igual modo, los valores de la desviación estándar de la estadística obtenida para ambas pruebas y grupos de mezcla son similares.

Los resultados también señalan que la Interpretación del coeficiente de variación que nos muestran los ensayos de capilaridad y permeabilidad del agua, en los grupos de mezclas, define la calidad estadística como precisa, al estar todos los valores obtenidos por debajo del 7%.

En la tabla 15, se muestra con los datos obtenidos, las variaciones de los tres grupos, donde se añadió el aditivo impermeabilizante en comparación con el grupo patrón M0, el cual no se adicionó aditivo.

De los resultados obtenidos se puede destacar lo siguiente:

Mezcla M0:

Muestra un grado de absorción de agua promedio de 14.37 % cuenta con una desviación estándar de 0.48 %, provienen de una población homogénea dado que el coeficiente de variación es 3.32 %, menor que el 7 %. Así mismo, el 28 % de las probetas tienen un grado de absorción mayor igual a 13.89 % y menor 14.13 %. (Tabla 24)

El porcentaje de volumen de poros permeables resulto con un promedio de 21.58 % y cuenta con una desviación estándar de 0.83 %, provienen de una población homogénea dado que el coeficiente de variación de 3.85 %, es menor que el 7 %. (Tabla 25)

Para su capilaridad resulto con un promedio de 0.0178 gr/(cm²*min), cuenta con una dispersión de 0.000678 gr/(cm²*min), provienen de una población homogénea dado que el coeficiente de variación de 3.80 %, menor que el 7 %. Así mismo, el 33 % de las probetas tienen una capilaridad mayor igual a 0.0178 gr*min/cm² y menor 0.0182 gr/(cm²*min). (Tabla 26)

En la permeabilidad resulto con un promedio de 2.91x10⁻⁷ cm/s, cuenta con una dispersión de 1.81x10⁻⁸ cm/s, provienen de una población homogénea dado que el coeficiente de variación de 6.21%, menor que el 7%. Así mismo, el 33% de las probetas tienen una permeabilidad mayor igual a 2.90x10⁻⁷ cm/s y menor 3.02x10⁻⁷ cm/s. (Tabla 27)

Mezcla M1:

Muestra un grado de absorción de agua promedio de 12.89 % cuenta con una desviación estándar de 0.66 %, provienen de una población homogénea dado que el coeficiente de variación es 5.55 %, menor que el 7 %. Así mismo, el 33 % de las probetas tienen un grado de absorción mayor igual a 12.04 % y menor 12.34 %. (Tabla 33)

El porcentaje de volumen de poros permeables resulto con un promedio de 16.01 % y cuenta con una desviación estándar de 0.71 %, provienen de una población homogénea dado que el coeficiente de variación de 4.46 %, es menor que el 7 %. Así mismo, el 28 % de las probetas tienen un índice de vacíos permeables mayor igual a 15.29 % y menor a 15.70 %. (Tabla 34)

Para su capilaridad resulto con un promedio de 0.00531 gr/(cm²*min), cuenta con una dispersión de 0.000295 gr/(cm²*min), provienen de una población homogénea dado que el coeficiente de variación de 5.54 %, menor que el 7 %. Así mismo, el 28% de las probetas tienen una capilaridad mayor igual a 0.00507 gr*min/cm² y menor 0.00521 gr/(cm²*min). (Tabla 35)

En la permeabilidad resulto con un promedio de 1.65 x 10⁻⁷ cm/s, cuenta con una dispersión de 8.29 x 10⁻⁹ cm/s, provienen de una población homogénea dado que el coeficiente de variación de 5.04 %, menor que el 7 %. Así mismo, el 28% de las probetas tienen una permeabilidad mayor igual a 1.64 x 10⁻⁷ cm/s y menor 1.68 x 10⁻⁷ cm/s. (Tabla 36)

Mezcla M2:

Para su grado de absorción promedio 13.48 % cuenta con una dispersión de 0.70 %, provienen de una población homogénea dado que el coeficiente de variación es 5.22 %, menor que el 7%. Así mismo, el 33% de las probetas tienen un grado de absorción mayor igual a 14.09 % y menor 14.43 %. (Tabla 42)

El índice de vacíos permeables resulto con un promedio de 18.30 % y cuenta con una desviación estándar de 0.78 %, provienen de una población homogénea dado que el coeficiente de variación de 4.24 %, es menor que el 7 %. Así mismo, el 22 % de las probetas tienen un índice de vacíos permeables mayor igual a 17.52 % y menor a 17.90 %; así mismo, entre el rango mayor igual a 19.06 % y menor a 19.45 % (Tabla 43)

Para su capilaridad resulto con un promedio de 0.00707 gr/(cm²*min), cuenta con una dispersión de 0.000409 gr/(cm²*min), provienen de una población homogénea dado que el coeficiente de variación de 5.79 %, menor que el 7 %. Así

mismo, el 28 % de las probetas tienen una capilaridad mayor igual a 0.00660 gr*min/cm² y menor 0.00678 gr/(cm²*min). (Tabla 44)

En la permeabilidad resulto con un promedio de 2.12×10^{-7} cm/s, cuenta con una dispersión de 1.00×10^{-8} cm/s, provienen de una población homogénea dado que el coeficiente de variación de 4.72 %, menor que el 7 %. Así mismo, el 33 % de las probetas tienen una permeabilidad mayor igual a 2.01×10^{-7} cm/s y menor 2.06×10^{-7} cm/s. (Tabla 45)

Mezcla M3:

Para su grado de absorción promedio 11.20 % cuenta con una dispersión de 0.57%, provienen de una población homogénea dado que el coeficiente de variación es 5.05%, menor que el 7%. Así mismo, el 33% de las probetas tienen un grado de absorción mayor igual a 10.58 % y menor 10.91%. (Tabla 51)

El índice de vacíos permeables resulto con un promedio de 14.15 % y cuenta con una desviación estándar de 0.66 %, provienen de una población homogénea dado que el coeficiente de variación de 4.69 %, es menor que el 7 %. Así mismo, el 33 % de las probetas tienen un índice de vacíos permeables mayor igual a 14.17 % y menor a 14.50 %. (Tabla 52)

Los resultados de capilaridad obtuvieron un promedio de 0.00121 gr/(cm²*min), cuenta con una dispersión de 0.0000608 gr/(cm²*min), provienen de una población homogénea dado que el coeficiente de variación de 5.05 %, menor que el 7 %. Así mismo, el 33% de las probetas tienen una capilaridad mayor igual a 0.00117 gr*min/cm² y menor 0.00121 gr/(cm²*min). (Tabla 53)

En la permeabilidad resulto con un promedio de 9.13×10^{-8} cm/s, cuenta con una dispersión de 4.95×10^{-9} cm/s, provienen de una población homogénea dado que el coeficiente de variación de 5.42%, menor que el 7%. Así mismo, el 56% de las probetas tienen una permeabilidad mayor igual a 8.88×10^{-8} cm/s y menor 9.22×10^{-8} cm/s. (Tabla 54)

Tabla 15.- Variaciones porcentuales de sus propiedades en el mortero usando diferentes tipos de aditivo impermeabilizantes en comparación a la mezcla patrón sin aditivo(M0).

Ensayo	M0	M1	Variación	M2	Variación	M3	Variación
Grado de Absorción (%)	14.37	12.97	-9.72	13.48	-6.21	11.20	-22.08
Índice de Permeabilidad (%)	21.53	16.01	-25.66	18.30	-15.02	14.15	-34.29
Capilaridad [gr/(cm ² *min)]	1.78E-02	5.31E-03	-70.23	7.07E-03	-60.37	1.21E-03	-93.25
Permeabilidad (cm/s)	2.91E-07	1.65E-07	-43.52	2.12E-07	-27.26	9.13E-08	-68.67

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Análisis de la Información:

Los resultados obtenidos en los ensayos de grado de absorción, índice de vacíos permeables, capilaridad y permeabilidad fueron analizados desde el punto de vista estadístico con la finalidad de garantizar la validez y la confiabilidad de los datos. Para lo cual, se realizó la prueba de bondad de ajuste de Shapiro-Wilk para contrastar la normalidad de estos, planteándonos como hipótesis nula (H_0), que la muestra proviene de una población normalmente distribuida.

El valor crítico para $N = 18$ valores y un nivel de significancia del 5% es el valor tabular $VC(0.05,18) = 0.897$; la cual se evalúa con la $W_{estadístico}$ calculados y mostrados en la Tabla 16, aplicando el siguiente criterio de rechazo:

$W < VC$;entonces la H_0 se rechaza.

$W > VC$;entonces la H_0 se acepta.

Observando que en la tabla 16, se cumple la relación $W > VC$ en todos los ensayos realizados, entonces no hay razón para dudar que la muestra proviene de una Distribución Normal.

Tabla 16.- Análisis de resultados de la prueba Shapiro - Wilk de las mezclas de mortero.

Grupo Experimental	Prueba S-W		Intervalo con 95% de confianza	
	Propiedad	Diferencia Máxima (W)	Mínimo	Máxima
M0	Grado de absorción (%)	0.923	14.1344	14.609
	Índice de Vacíos permeables (%)	0.914	21.1642	21.9903
	Capilaridad (gr/(cm ² *min))	0.935	0.0175	0.0182
	Permeabilidad (cm/s)	0.955	2.8239E-07	3.004E-07
M1	Grado de absorción (%)	0.908	12.5867	13.1988
	Índice de Vacíos permeables (%)	0.965	15.6525	16.3619
	Capilaridad (gr/(cm ² *min))	0.925	0.0052	0.0055
	Permeabilidad (cm/s)	0.919	1.6044E-07	1.6869E-07
M2	Grado de absorción (%)	0.921	13.1291	13.8287
	Índice de Vacíos permeables (%)	0.915	17.9113	18.6831
	Capilaridad (gr/(cm ² *min))	0.905	0.0069247	0.007292
	Permeabilidad (cm/s)	0.902	2.0846E-07	2.1768E-07
M3	Grado de absorción (%)	0.958	10.9172	11.4795
	Índice de Vacíos permeables (%)	0.941	13.8179	14.4777
	Capilaridad (gr/(cm ² *min))	0.968	0.0011752	0.0012359
	Permeabilidad (cm/s)	0.916	8.8836E-07	9.3758E-07

Fuente: Elaboración propia.

En el Apéndice B, se presentan los resultados, tablas de Frecuencias, las pruebas de normalidad en SPSS (método de Shapiro Wilk) y Estadísticas Suplementarias de cada grupo de mezcla, mostrando: el grado de absorción, índice de vacíos permeables, capilaridad y permeabilidad.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Como se planteó en la hipótesis los aditivos por cristalización y los hidrófugos fueron los que mostraron resultados de mejor performance, los aditivos por cristalización al ser hidrófilos poseen una ventaja al reaccionar con el cemento y moléculas de agua inactivos resultantes del proceso de hidratación del cemento dentro de la red porosa del concreto, formando elementos que ocupan el espacio densificando la matriz, bloqueando los poros en las microgrietas y capilares, terminando así en lo que se podría expresar como una reacción química a la medida de los poros. Por su parte, los aditivos hidrófugos al reaccionar con el hidróxido de calcio producto de la hidratación del cemento provee una barrera al agua, sin embargo, los poros permanecen abiertos, siendo este mecanismo menos eficiente que el de los aditivos por cristalización.

CONCLUSIONES

1. Del estudio comparativo de los tres grupos de aditivos impermeabilizantes se concluye que el aditivo por cristalización usado para el mortero, es el que produce la mayor reducción de la absorción de agua, volumen de vacíos permeables, capilaridad y la permeabilidad respecto a las mezclas de morteros de control (morteros convencionales); Siendo el aditivo impermeabilizante del tipo bloqueador de poros quien resulto con la menor reducción de estas propiedades.
2. Las probetas de mortero usando un 1% del aditivo por cristalización presentan una capilaridad de $726 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, resultando este diseño de mezcla de mortero con la mejor performance del estudio comparativo, sin embargo, de estos resultados se puede inferir que las probetas no cumplen con los criterios desempeño de un mortero de baja permeabilidad que se estima sea $< 6 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$.
3. Según los datos obtenidos el promedio de la permeabilidad optima es de $8.33 \text{ E}^{-8} \text{ cm/s}$, que corresponde al uso del tipo de aditivo impermeabilizante por cristalización, valor tomado como referencia, debido a que el ensayo realizado no es estandarizado, logrando reducir la permeabilidad un - 68.67 % con respecto a las probetas de control (sin aditivo).

4. Con respecto al comportamiento del índice de vacíos permeables, todos los grupos mostraron una tendencia a reducir el valor inicial promedio sin aditivo de 21.53% de poros permeable. el mejor resultado promedio 14.15 %, lo obtuvimos con las probetas al 1% de aditivo impermeabilizante por cristalización, lo cual representa una reducción del -34.29% con respecto a las pruebas de control (sin aditivo), que al reducir la red porosa causo la misma tendencia en los resultados para las pruebas de porcentaje absorción de agua.

RECOMENDACIONES

- Investigar diseños de mezcla de morteros con dos o más tipos de aditivos impermeabilizante, probablemente sus mecanismos combinados nos ayuden a concretar resultados que cumplan con criterios de morteros de baja permeabilidad.
- Evaluar otras propiedades de la durabilidad en los morteros de cemento como resistencia a la compresión, resistencia a la abrasión, ataque de sulfatos y cloruros.
- Realizar un estudio de evaluación económica, respecto al uso de estos aditivos comparándolo a otros sistemas de impermeabilización de depósitos contenedores de agua.

Referencias bibliográficas

- Ing. Rivera L. Gerardo A. (2008) “Concreto Simple” Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca, Colombia.
- NTP 334.001:2011 CEMENTOS. Definiciones y nomenclatura.
- NTP 400.011.2013 AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos)
- Reglamento Nacional de Edificaciones – E.070 - Albañilería.
- Ph.D. Hermida Germán (2013) Sika-Informaciones Técnicas. “Concreto Impermeable, una mirada reciente”.
- Simba Cubajín, Santiago. (2007). “Impermeabilización en construcciones nuevas y existentes” Escuela politécnica Nacional, Quito – Ecuador
- MSc. Ing. Portugal Barriga Pablo (2007) “Tecnología del concreto de alto desempeño” Arequipa-Perú.
- Mehta, Povindar. K y Monteiro, (2006), Paulo. J.M. “Concrete: Microstructure, properties and materials”. 3° ed. New York, McGraw-Hill.
- KOSMATKA S. (2009) “Diseño y Control de Mezclas de Concreto” Portland Cement Association, Skokie Illinois
- NEVILLE A. (1996) “Concrete Technology” Editorial John Wiley & Sons
- AENOR (2001) Asociación Española de Normalización y Certificación “Ensayos de hormigón endurecido, parte 8: Profundidad de penetración”. UNE EN 12390-8. España-Madrid.
- Moreno Vásquez Antony Josef (2015) “Implementación del método de presión para medir la permeabilidad en el concreto” (Tesis de Pregrado), Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.
- SIA 262-1, (2003) (Anexo A) Norme Swiss Construction en béton – Spécifications complémentaires, Zurich-Suiza.
- ASTM C 1585-04, (2007) “Método de ensayo estándar para medir el ritmo de absorción de agua de los hormigones de cemento hidráulico” American Standards Testing Materials Vo. 4.02 Concreto y Agregados, 201 ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, U.S.A.

- ASTM C 642-97, (1997) “Método de ensayo estándar para medir la densidad, absorción y % de vacíos en concreto endurecido” American Standards Testing Materials, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, U.S.A.
- EN 12390 “Testing hardened concrete –Part 8: Depth of penetration of water under pressure English version of DIN EN 12390-8:2009-07
- Ramachandran, VS, 1995, Los aditivos de hormigón Manual: Propiedades, Ciencia y Tecnología, segunda edición, Noyes Publications, Park Ridge, NJ, USA .1153 pp.
- ACI 212.3R-10 (2010) Chapter 15 – Permeability reducing admixtures “Report on chemical admixtures for concrete” Reported by ACI Committee 212.
- Azañedo M. Wiston H. (2014) Tesis de Maestría “Efecto de un aditivo hidrófugo en la permeabilidad de un mortero de cemento/arena” –Universidad Nacional de Cajamarca- Escuela de Posgrado, Cajamarca-Perú.
- Bornand Araya Jacques Phillippes (2012) Tesis de Pre-Grado “Evaluación del desempeño de aditivos impermeabilizantes por cristalización como agentes promotores de la durabilidad del hormigón confeccionado con cementos pórtland puzolánicos”- Universidad de Chile, Santiago de Chile-Chile.
- Oquendo Rodríguez Ernesto Luis (2013) Informe de pasantía “Evaluación y Selección de Aditivos Impermeabilizantes para concreto con resistencia de 450kgf/cm²”- Universidad Simón Bolívar, Caracas – Venezuela.

APÉNDICE A

**DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE MATERIAL PARA CADA
TANDA DE MEZCLA DE MORTERO CEMENTO ARENA.**

Tabla N° 17.-Propiedades de los materiales.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS			
Descripción	Agua	Cemento	Arena
Peso Específico	1	3.1	2.51 g/cm ³
Peso Unitario	-	1500	1487.06 kg/m ³
Contenido de Humedad	-	-	3.10%
Absorción	-	-	2.30%

Relación cemento/arena = C/A = 1 / 4
 Relación agua/cemento W/C= 0.7
 Cantidad de aire atrapado 1%

Paso 1.- Determinación de Volúmenes:

$$\begin{aligned} \text{Cemento} &= 1 \text{ pie}^3 \\ \text{Agregado fino} &= 4 \text{ pie}^3 \quad \text{m}^3 = 35.315 \text{ pie}^3 \end{aligned}$$

Paso 2.- Determinación de pesos:

$$\begin{aligned} \text{Cemento} &= 42.5 \text{ kg} \\ \text{Agregado fino} &= 168.43 \text{ kg} = (4 \cdot 1487.60) / 35.315 \\ \text{Agua} &= 29.75 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Paso 3.- Determinación de Volúmenes absolutos:

$$\begin{aligned} \text{Cemento} &= 0.013710 \text{ m}^3 = (42.5/3.1) / 1000 \\ \text{Agregado fino} &= 0.067105 \text{ m}^3 = (168.43/2.51) / 1000 \\ \text{Agua diseño} &= 0.02975 \text{ m}^3 = 29.75/1000 \\ \text{Sub total:} &= 0.110565 \text{ m}^3 \\ \text{Aire Atrapado} &= 0.00110565 \text{ m}^3 = 0.110565 \cdot 0.01 \\ &= 0.111670 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Paso 4.- Cantidad de Materiales por metro cúbico

$$\begin{aligned} \text{Cemento} &= 8.95 \text{ bls} \\ \text{Agregado fino} &= 1.014 \text{ m}^3 = (8.95/35.315) \cdot 4 \\ \text{Agua diseño} &= 266.409 \text{ L} = 8.95 \cdot 42.5 \cdot 0.7 \end{aligned}$$

Siendo la cantidad Materiales secos los siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Cemento} &= 380.6 \text{ Kg} = 8.95 \cdot 42.5 \\ \text{Agregado fino} &= 1523.5 \text{ Kg} = 1.014 \cdot 1487.6 / 0.99 \\ \text{Agua diseño} &= 266.4 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Paso 5. Cantidad de materiales por corrección por humedad:

$$\begin{aligned} \text{Cemento} &= 380.6 \text{ kg} \\ \text{Agregado fino} &= 1499.0 \text{ kg} = 1487.6 * (1 + (0.031 - 0.023)) \\ \text{Agua de aporte} &= 11.99 \text{ L} = 1499 * (0.031 - 0.023) \\ \text{Agua Efectiva} &= \text{Agua de diseño} - \text{Agua de aporte} = 254.42 \text{ L} \end{aligned}$$

Paso 6.- Cantidad de materiales para 18 probetas

$$\begin{aligned} \text{Volumen de 1 espécimen} &= (\pi * r^2) * h = 3.1415 * 5^2 * 5 = 0.000393 \text{ m}^3 \\ \text{Volumen de 18 especímenes} &= 0.007068583 \text{ m}^3 \\ \text{Cemento} &= 2.690 \text{ Kg} \\ \text{Agregado fino húmedo} &= 10.595 \text{ Kg} \\ \text{Agua efectiva} &= 1.798 \text{ L} \end{aligned}$$

Paso 7. Cantidad de materiales para 18 probetas

cilíndricas considerando 10% de desperdicios:

$$\begin{aligned} \text{Cemento} &= 2.959 \text{ Kg} \\ \text{Agregado fino húmedo} &= 11.655 \text{ Kg} \\ \text{Agua efectiva} &= 1.978 \text{ L} \end{aligned}$$

Tabla N° 18: Cantidad de materiales en probetas para ensayos de capilaridad, índice de vacíos permeables y grado de absorción.

Código	Cemento		Agregado Fino Kg.	Agua ml.	Aditivo / Cemento	Cantidad Aditivo Impermeabilizante	Und.
	Kg.	Bls.					
M0	2.96	0.070	11.66	1978.2	0	0.00	g.
M1					2.00%	59.18	g.
M2					2.00%	59.18	g.
M3					1.00%	29.59	ml.

Paso 8.- Cantidad de materiales para 18 probetas

$$\begin{aligned} \text{Volumen de 1 espécimen} &= (\pi * r^2) * h = 3.1415 * 2.5^2 * 2.5 = 0.000049 \text{ m}^3 \\ \text{Volumen de 18 especímenes} &= 0.000883573 \text{ m}^3 \\ \text{Cemento} &= 0.336 \text{ Kg} \\ \text{Agregado fino húmedo} &= 1.324 \text{ Kg} \\ \text{Agua efectiva} &= 0.225 \text{ L} \end{aligned}$$

Paso 9. Cantidad de materiales para 18 probetas

cilíndricas considerando 10% de desperdicios:

$$\begin{aligned} \text{Cemento} &= 0.370 \text{ Kg} \\ \text{Agregado fino húmedo} &= 1.457 \text{ Kg} \\ \text{Agua efectiva} &= 0.247 \text{ L} \end{aligned}$$

Tabla N°19.- Cantidad de materiales en probetas para ensayos de permeabilidad.

Código	Cemento		Agregado Fino	Agua	Aditivo/ Cemento	Cantidad Aditivo Impermeabilizante
	Kg	Bls	Kg	ml		
M0	0.37	0.009	1.46	247.3	0	0.00
M1					2.00%	7.40
M2					2.00%	7.40
M3					1.00%	3.70

APÉNDICE B
RESULTADOS DE ENSAYOS Y PRUEBAS DE NORMALIDAD EN
SPSS (Método Shapiro-Wilk).

RESULTADOS DEL GRUPO EXPERIMENTAL M0

Tabla N°20.- Resultados de Ensayo de Absorción de Agua (%) del Grupo patrón sin aditivo impermeabilizante M0.

Grado de Absorción de agua, Grupo M0					
N°	%	N°	%	N°	%
1	14.65	7	14.92	13	13.83
2	14.12	8	15.03	14	13.98
3	14.35	9	15.10	15	14.2
4	14.02	10	14.47	16	14.84
5	13.92	11	14.88	17	13.78
6	14.85	12	14.10	18	13.65
Promedio	14.37	Desv. Estd.	0.48	Coef. Var.	3.32

Tabla N°21.- Resultados de Índice de vacíos permeables (%) del Grupo patrón sin aditivo impermeabilizante M0.

Índice de Vacíos Permeables, Grupo M0					
N°	%	N°	%	N°	%
1	20.32	7	21.54	13	21.86
2	21.05	8	22.57	14	21.31
3	22.05	9	21.68	15	22.64
4	21.64	10	20.33	16	22.21
5	22.65	11	22.66	17	21.98
6	20.45	12	20.41	18	21.04
Promedio	21.58	Desv. Estd.	0.83	Coef. Var.	3.85

Tabla N°22.- Resultados de la capilaridad [gr/(cm²*min)] del Grupo patrón sin aditivo impermeabilizante M0.

Capilaridad, Grupo M0					
N°	gr cm²*min	N°	gr cm²*min	N°	gr cm²*min
1	1.88E-02	7	1.80E-02	13	1.72E-02
2	1.79E-02	8	1.82E-02	14	1.69E-02
3	1.77E-02	9	1.80E-02	15	1.89E-02
4	1.68E-02	10	1.79E-02	16	1.75E-02
5	1.89E-02	11	1.87E-02	17	1.67E-02
6	1.80E-02	12	1.76E-02	18	1.78E-02
Promedio	1.78E-02	Desv. Estd.	6.78E-04	Coef. Var.	3.80

Tabla N° 23.- Resultados de permeabilidad (cm/s) del Grupo patrón sin aditivo impermeabilizante M0.

Permeabilidad, Grupo M0					
N°	cm/s	N°	cm/s	N°	cm/s
1	2.75E-07	7	3.11E-07	13	3.26E-07
2	2.76E-07	8	2.54E-07	14	3.07E-07
3	2.79E-07	9	2.73E-07	15	3.03E-07
4	2.94E-07	10	2.94E-07	16	3.08E-07
5	2.73E-07	11	2.75E-07	17	3.02E-07
6	3.02E-07	12	2.91E-07	18	3.01E-07
Promedio	2.91E-07	Desv. Estd.	1.81E-08	Coef. Var.	6.21

Número de Intervalos de Clase (M): $5 \leq M \leq 20$

$$M = 1 + 3.32 * \log 10 N$$

$$M = 1 + 3.32 * \log 10 18 = 5.17$$

Usamos el valor de $M = 6$

Tabla N°24.- Parámetros estadísticos suplementarios de ensayos del grupo M0.

ITEM	Grado de Absorción (%)	Índice de Vacíos permeables (%)	Capilaridad gr/(cm²*min)]	Permeabilidad (cm/s)
Numero de datos	18	18	18	18
Promedio	14.37	21.58	1.78E-02	2.91E-07
Desviación Estándar	0.48	0.83	6.78E-04	1.81E-08
Coef. de Variación	3.32	3.85	3.80	6.21
Mínimo	13.65	20.32	1.67E-02	2.54E-07
Máximo	15.1	22.66	1.89E-02	3.26E-07
Rango (R)	1.45	2.34	2.17E-03	7.15E-08
Ancho de Intervalo	0.242	0.390	3.62E-04	1.19E-08

Tabla N°25.-Frecuencia de resultados de grado de Absorción (%) del grupo M0.

Intervalo de Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Marca Clase	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Acumulado	
						Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
1	13.65	13.89	13.77	3	0.17	3	0.17
2	13.89	14.13	14.01	5	0.28	8	0.44
3	14.13	14.38	14.25	2	0.11	10	0.56
4	14.38	14.62	14.50	1	0.06	11	0.61
5	14.62	14.86	14.74	3	0.17	14	0.78
6	14.86	15.10	14.98	4	0.22	18	1.00

N: 18

Tabla N°26.-Frecuencia de resultados de Índice de Vacíos permeables (%) del grupo M0.

Intervalo de Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Marca Clase	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Acumulado	
						Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
1	20.32	20.71	20.52	4	0.22	4	0.22
2	20.71	21.10	20.91	2	0.11	6	0.33
3	21.10	21.49	21.30	1	0.06	7	0.39
4	21.49	21.88	21.69	4	0.22	11	0.61
5	21.88	22.27	22.08	3	0.17	14	0.78
6	22.27	22.66	22.47	4	0.22	18	1.00

N: 18

Tabla N°27.-Frecuencia de resultados de Capilaridad [gr/(cm²*min)] del grupo M0.

Intervalo de Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Marca Clase	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Acumulado	
						Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
1	1.67E-02	1.71E-02	1.69E-02	3	0.17	3	0.17
2	1.71E-02	1.74E-02	1.73E-02	1	0.06	4	0.22
3	1.74E-02	1.78E-02	1.76E-02	4	0.22	8	0.44
4	1.78E-02	1.82E-02	1.80E-02	6	0.33	14	0.78
5	1.82E-02	1.85E-02	1.83E-02	0	0.00	14	0.78
6	1.85E-02	1.89E-02	1.87E-02	4	0.22	18	1.00

N: 18

Tabla N°28.-Frecuencia de resultados de Permeabilidad (cm/seg) del grupo M0.

Intervalo de Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Marca Clase	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Acumulado	
						Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
1	2.54E-07	2.66E-07	2.60E-07	1	0.06	1	0.06
2	2.66E-07	2.78E-07	2.72E-07	5	0.28	6	0.33
3	2.78E-07	2.90E-07	2.84E-07	1	0.06	7	0.39
4	2.90E-07	3.02E-07	2.96E-07	6	0.33	13	0.72
5	3.02E-07	3.14E-07	3.08E-07	4	0.22	17	0.94
6	3.14E-07	3.26E-07	3.20E-07	1	0.06	18	1.00

N: 18

Pruebas de Normalidad en SPSS: Ensayos de Grado de Absorción - Grupo M0

Método: Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-wilk

1.- Hipótesis:

H₀: La variable Grado de Absorción proviene de una población normal.

H₁: La variable Grado de Absorción no proviene de una población normal.

2.- Significancia:

$\alpha = 5\% = 0.05$

		Descriptivos	
		Estadístico	Desv. Error
M0_GA	Media	14,3717	,11247
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	14,1344
		Límite superior	14,6090
	Media recortada al 5%	14,3713	
	Mediana	14,2750	
	Varianza	,228	
	Desv. Desviación	,47716	
	Mínimo	13,65	
	Máximo	15,10	
	Rango	1,45	
	Rango intercuartil	,89	
	Asimetría	,136	,536
	Curtosis	-1,505	1,038

Fuente: Software IBM Statistic Visor.

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
M0_GA	0,170	18	0,18	0,923	18	0,145

Fuente: Software IBM Statistic Visor.

3.- P - Valor:

$P = 0,145$

4.- Decisión:

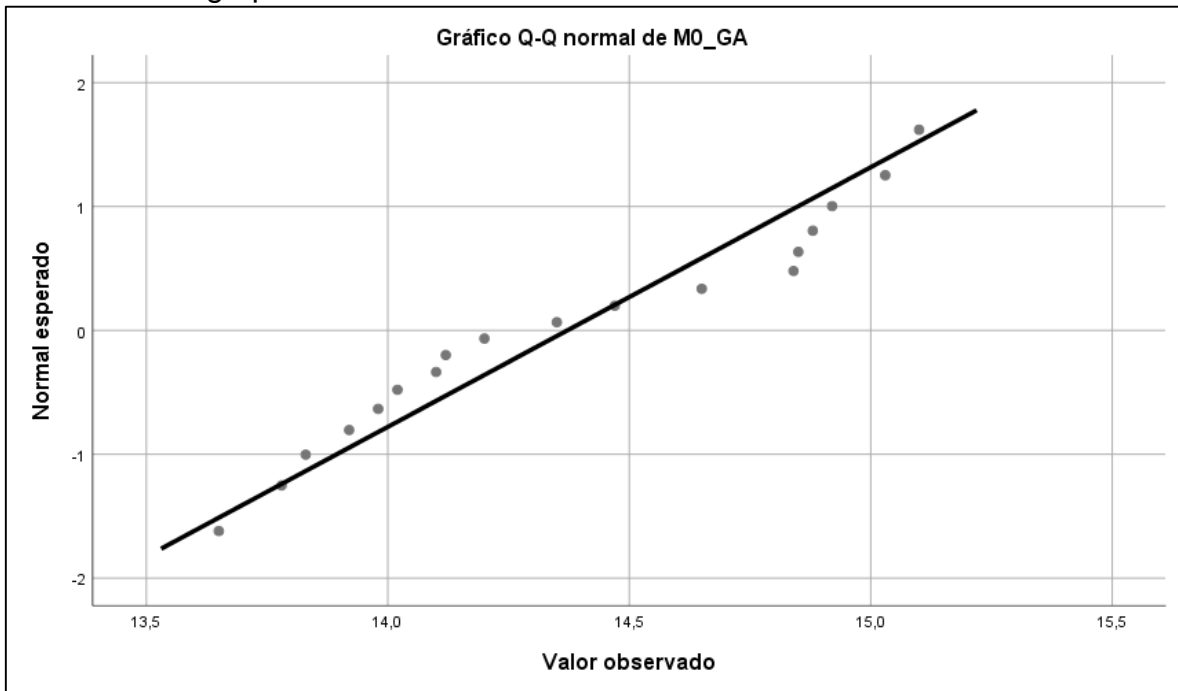
Si $p > \alpha$, entonces aceptamos H₀, Caso contrario aceptamos H₁

$0.145 > 0.05$, esto implica que debemos aceptar H₀.

5.- Conclusión:

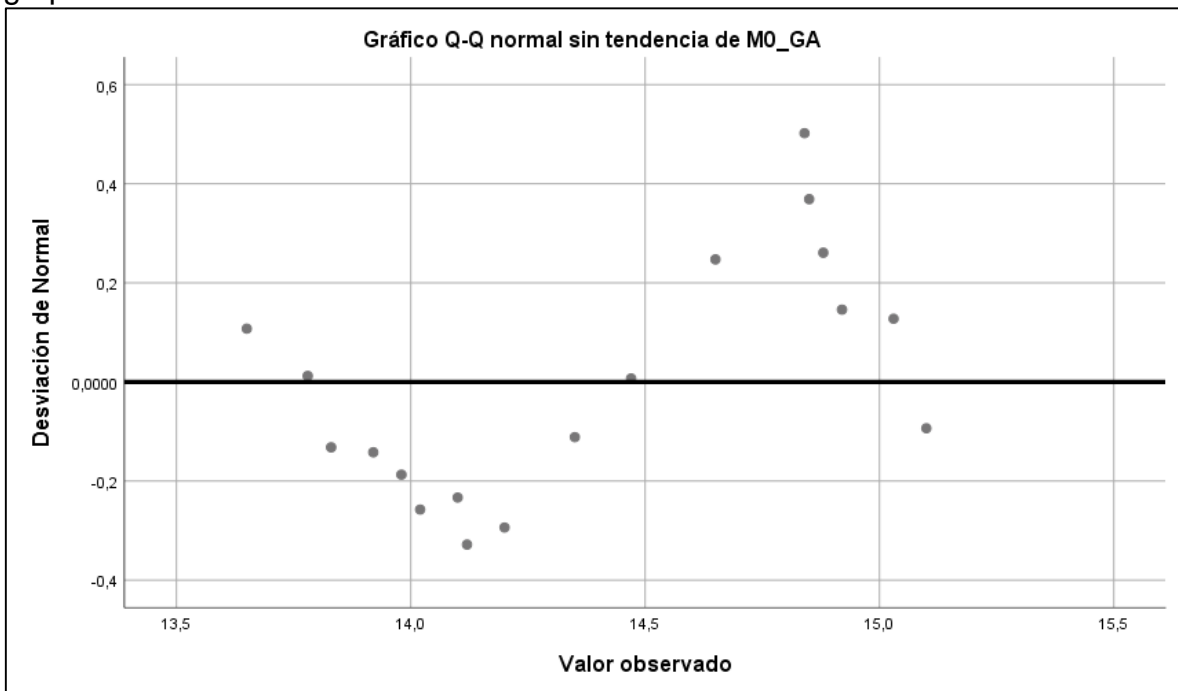
Los resultados de los ensayos del grado absorción SI CUMPLEN con una distribución normal.

Figura 17.- Residuos Vs % de Probabilidad Normal en función al grado de Absorción del grupo M0.



Fuente: Software IBM Statistic Visor.

Figura 18.- Residuos Vs Valor Observado en función al grado de Absorción del grupo M0



Fuente: Software IBM Statistic Visor.

Pruebas de Normalidad en SPSS: Índice de Vacíos Permeables - Grupo M0

Método: Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-wilk

1.- Hipótesis:

H₀: La variable Índice de Vacíos Permeables proviene de una población normal.

H₁: La variable Índice de Vacíos Permeables no proviene de una población normal.

2.- Significancia:

$$\alpha = 5\% = 0.05$$

		Descriptivos		
		Estadístico	Desv. Error	
Índ_Vac_Perm_M0	Media	21,5772	,19577	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	21,1642	
		Límite superior	21,9903	
	Media recortada al 5%	21,5869		
	Mediana	21,6600		
	Varianza	,690		
	Desv. Desviación	,83058		
	Mínimo	20,32		
	Máximo	22,66		
	Rango	2,34		
	Rango intercuartil	1,41		
	Asimetría	-,247	,536	
	Curtosis	-1,192	1,038	

Fuente: Software IBM Statistic Visor.

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Índ_Vac_Perm_M0	0.135	18	0.200	0.914	18	0.102

Fuente: Software IBM Statistic Visor.

3.- P - Valor:

$$P = 0,145$$

4.- Decisión:

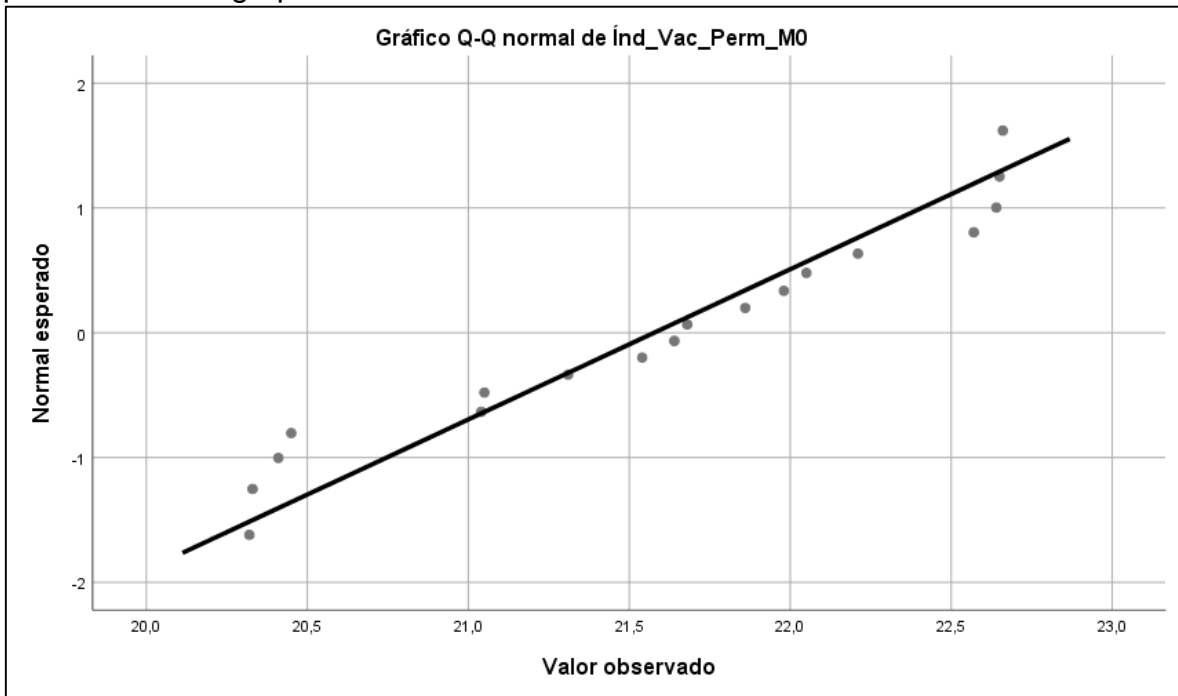
Si $p > \alpha$, entonces aceptamos H₀, Caso contrario aceptamos H₁

$0.102 > 0.05$, esto implica que debemos aceptar H₀.

5.- Conclusión:

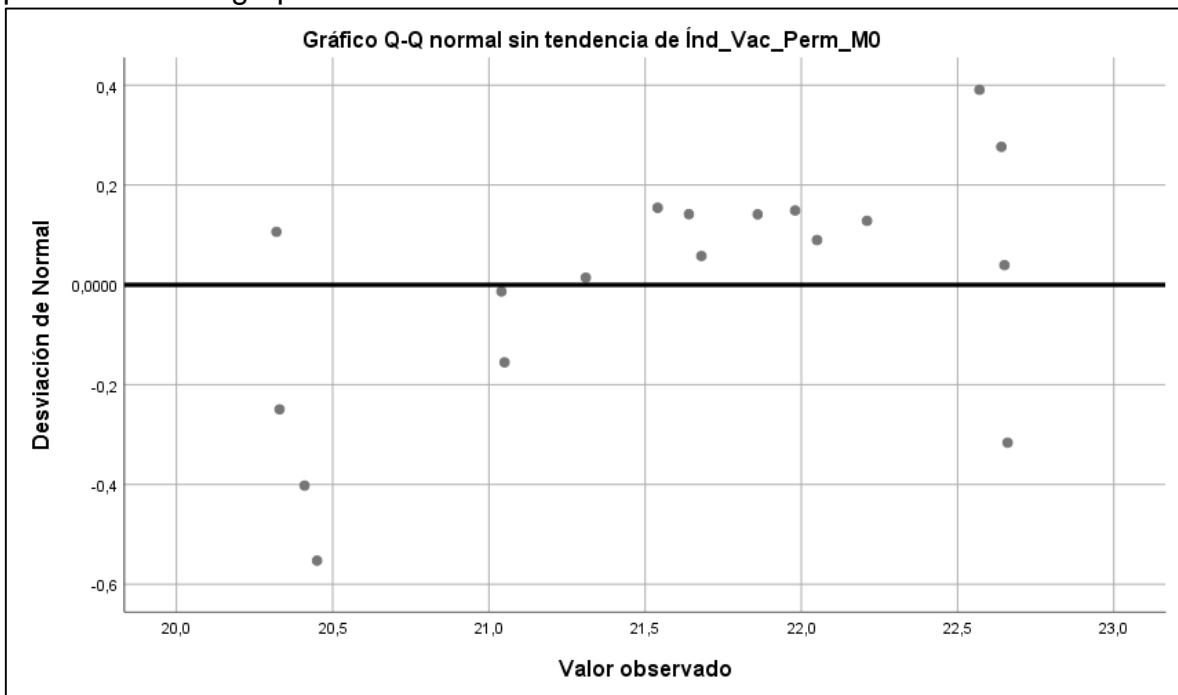
Los resultados de los ensayos del índice de vacíos permeables SI CUMPLEN con una distribución normal.

Figura 19.- Residuos Vs % de Probabilidad Normal en función al Índice de vacíos permeables del grupo M0



Fuente: Software IBM Statistic Visor.

Figura 20.- Residuos Vs Valor Observado en función al Índice de vacíos permeables del grupo M0



Fuente: Software IBM Statistic Visor.

Pruebas de Normalidad en SPSS: Capilaridad [gr/(cm²*min)] - Grupo M0

Método: Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-wilk

1.- Hipótesis:

H₀: La variable Capilaridad proviene de una población normal.

H₁: La variable Capilaridad no proviene de una población normal.

2.- Significancia:

$\alpha = 5\% = 0.05$

Descriptivos

		Estadístico	Desv. Error
Capilaridad_M0	Media	,0178	,00016
	95% de intervalo de confianza para la media		
	Límite inferior	,0175	
	Límite superior	,0182	
	Media recortada al 5%	,0178	
	Mediana	,0179	
	Varianza	,000	
	Desv. Desviación	,00068	
	Mínimo	,02	
	Máximo	,02	
	Rango	,00	
	Rango intercuartil	,00	
	Asimetría	-,053	,536
	Curtosis	-,614	1,038

Fuente: Software IBM Statistic Visor.

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Capilaridad_M0	0.137	18	0.200	0.935	18	0.233

Fuente: Software IBM Statistic Visor.

3.- P - Valor:

$P = 0,145$

4.- Decisión:

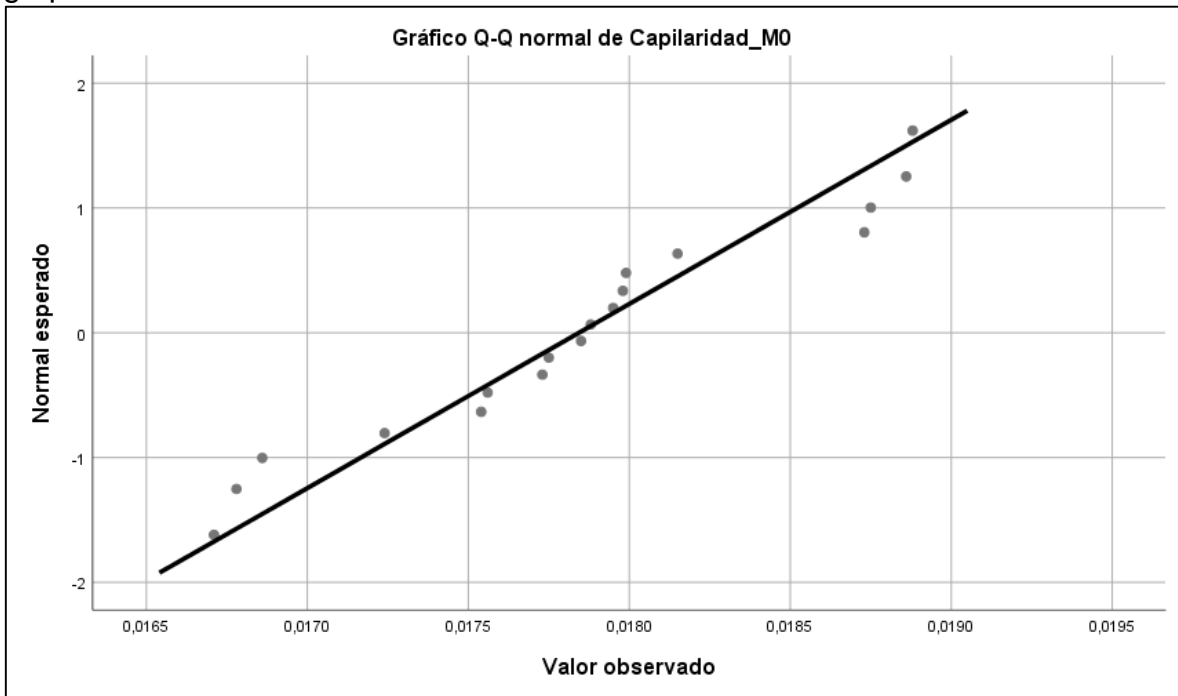
Si $p > \alpha$, entonces aceptamos H₀, Caso contrario aceptamos H₁

$0.233 > 0.05$, esto implica que debemos aceptar H₀.

5.- Conclusión:

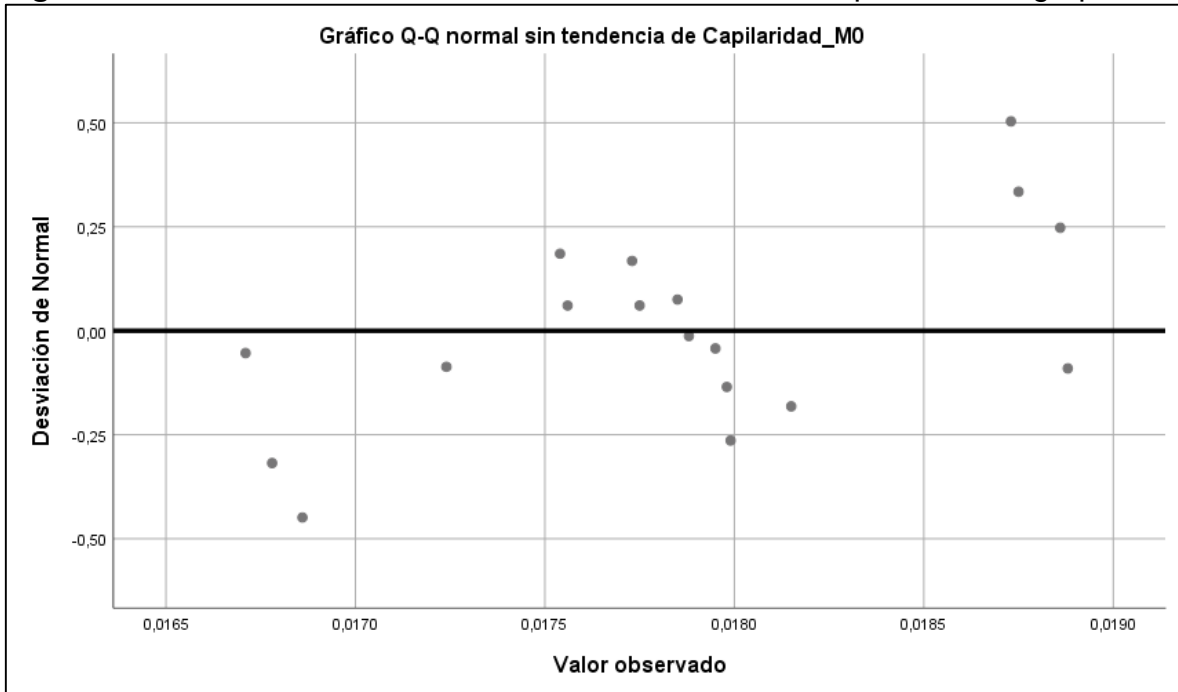
Los resultados de los ensayos de capilaridad, SI CUMPLEN con una distribución normal.

Figura 21.- Residuos Vs % de Probabilidad Normal en función a la Capilaridad del grupo M0



Fuente: Software IBM Statistic Visor.

Figura 22.- Residuos Vs Valor Observado en función a la Capilaridad del grupo M0.



Fuente: Software IBM Statistic Visor.

Pruebas de Normalidad en SPSS: Permeabilidad (cm/seg) - Grupo M0

Método: Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-wilk

1.- Hipótesis:

H₀: La variable Permeabilidad proviene de una población normal.

H₁: La variable Permeabilidad no proviene de una población normal.

2.- Significancia:

$\alpha = 5\% = 0.05$

		Descriptivos		
		Estadístico	Desv. Error	
Permeabilidad_M0	Media	2,9139E-007	4,26684E-009	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2,8239E-007	
		Límite superior	3,0040E-007	
	Media recortada al 5%	2,9155E-007		
	Mediana	2,9422E-007		
	Varianza	,000		
	Desv. Desviación	1,81027E-008		
	Mínimo	2,54E-007		
	Máximo	3,26E-007		
	Rango	7,15E-008		
	Rango intercuartil	2,94E-008		
	Asimetría	-,187	,536	
	Curtosis	-,414	1,038	

Fuente: Software IBM Statistic Visor.

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Permeabilidad_M0	0.146	18	0.200	0.955	18	0.509

Fuente: Software IBM Statistic Visor.

3.- P - Valor:

$P = 0.509$

4.- Decisión:

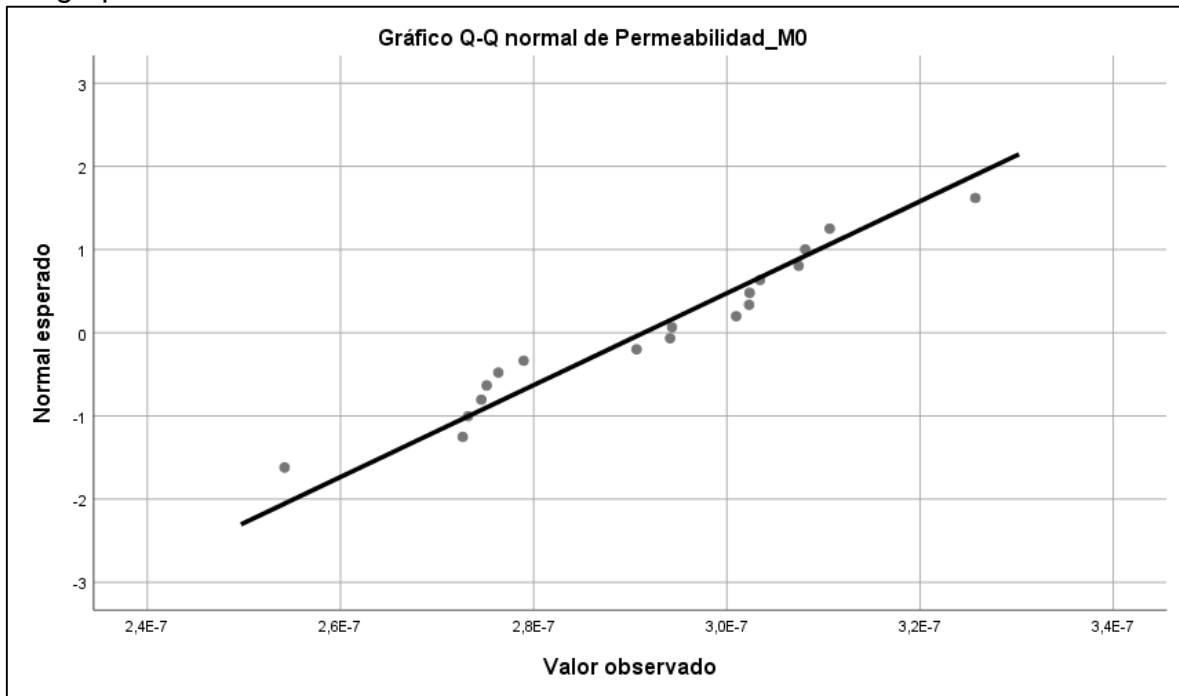
Si $p > \alpha$, entonces aceptamos H₀, Caso contrario aceptamos H₁

$0.509 > 0.05$, esto implica que debemos aceptar H₀.

5.- Conclusión:

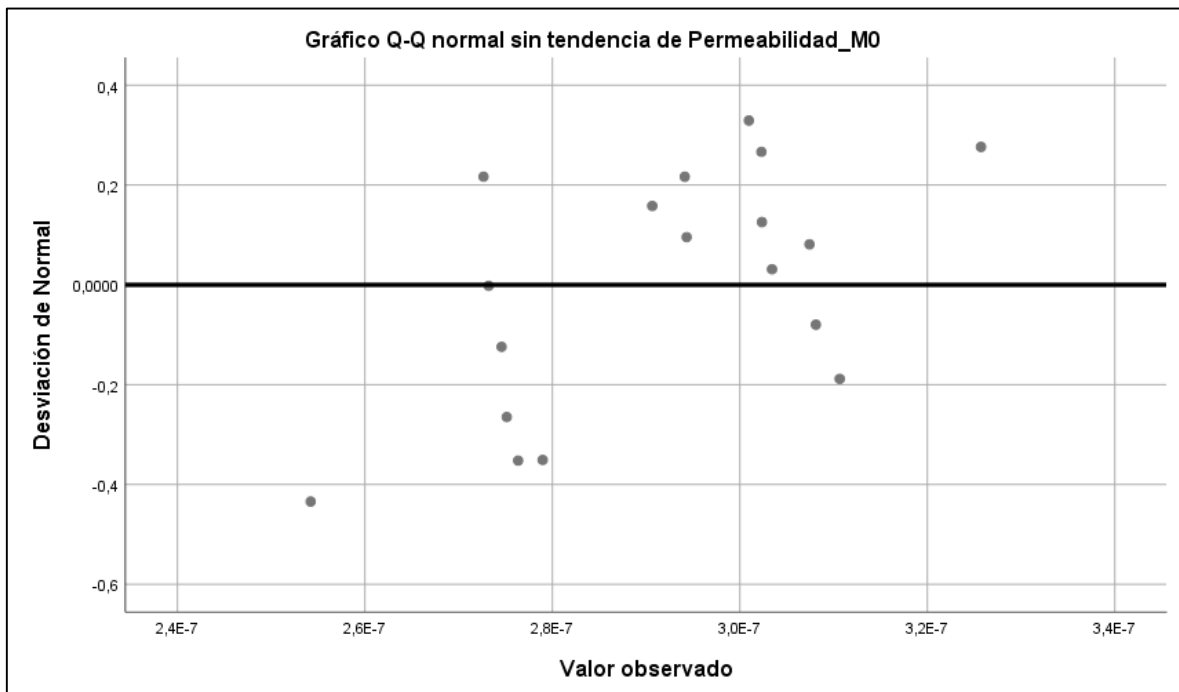
Los resultados de los ensayos de permeabilidad, SI CUMPLEN con una distribución normal.

Figura 23.- Residuos Vs % de Probabilidad Normal en función a la Permeabilidad del grupo M0



Fuente: Software IBM Statistic Visor.

Figura 24.- Residuos Vs Valor Observado en función a la Permeabilidad del grupo M0



Fuente: Software IBM Statistic Visor.

RESULTADOS DEL GRUPO EXPERIMENTAL M1

Tabla N°29.- Resultados de Ensayo de Absorción de Agua (%) del Grupo patrón sin aditivo impermeabilizante M1.

Grado de Absorción de agua, Grupo M1					
N°	%	N°	%	N°	%
1	12.04	7	13.46	13	13.55
2	12.15	8	12.11	14	12.18
3	12.32	9	13.39	15	12.67
4	12.18	10	13.46	16	13.24
5	13.65	11	12.68	17	13.28
6	12.88	12	12.97	18	13.86
Promedio	12.89	Desv. Estd.	0.62	Coef. Var.	4.77

Tabla N°30.- Resultados de Índice de vacíos permeables (%) del Grupo patrón sin aditivo impermeabilizante M1.

Índice de Vacíos Permeables, Grupo M1					
N°	%	N°	%	N°	%
1	16.00	7	15.55	13	14.94
2	15.94	8	16.35	14	15.30
3	16.54	9	15.74	15	16.45
4	16.35	10	14.89	16	17.31
5	17.07	11	15.54	17	15.46
6	16.89	12	16.46	18	15.35
Promedio	16.01	Desv. Estd.	0.71	Coef. Var.	4.46

Tabla N°31.- Resultados de la capilaridad [gr/(cm²*min)] del Grupo patrón sin aditivo impermeabilizante M1.

Capilaridad, Grupo M1					
N°	gr cm²*min	N°	gr cm²*min	N°	gr cm²*min
1	4.92E-03	7	5.32E-03	13	5.10E-03
2	5.16E-03	8	4.95E-03	14	5.05E-03
3	5.80E-03	9	5.69E-03	15	5.30E-03
4	5.13E-03	10	5.44E-03	16	5.62E-03
5	5.37E-03	11	4.95E-03	17	5.05E-03
6	5.77E-03	12	5.35E-03	18	5.65E-03
Promedio	5.31E-03	Desv. Estd.	2.95E-04	Coef. Var.	5.54

Tabla N°32.- Resultados de permeabilidad (cm/s) del Grupo patrón sin aditivo impermeabilizante M1.

Permeabilidad, Grupo M1					
N°	cm/s	N°	cm/s	N°	cm/s
1	1.67E-07	7	1.66E-07	13	1.76E-07
2	1.76E-07	8	1.76E-07	14	1.60E-07
3	1.52E-07	9	1.68E-07	15	1.70E-07
4	1.54E-07	10	1.54E-07	16	1.65E-07
5	1.68E-07	11	1.70E-07	17	1.54E-07
6	1.72E-07	12	1.59E-07	18	1.57E-07
Promedio	1.65E-07	Desv. Estd.	8.29E-09	Coef. Var.	5.04

Número de Intervalos de Clase (M): $5 \leq M \leq 20$

$$M = 1 + 3.32 * \log_{10} N$$

$$M = 1 + 3.32 * \log_{10} 18 = 5.17$$

Usamos el valor de $M = 6$

Tabla N°33.- Parámetros estadísticos suplementarios de ensayos del grupo M1.

ITEM	Grado de Absorción (%)	Índice de Vacíos permeables (%)	Capilaridad gr/(cm²*min)]	Permeabilidad (cm/s)
Numero de datos	18	18	18	18
Promedio	12.89	16.01	5.31E-03	1.65E-07
Desviación Estándar	0.62	0.71	2.95E-04	8.29E-09
Coef. de Variación	4.77	4.46	5.54	5.04
Mínimo	12.04	14.89	4.92E-03	1.52E-07
Máximo	13.86	17.31	5.80E-03	1.76E-07
Rango (R)	1.82	2.422	8.80E-04	2.44E-08
Ancho de Intervalo	0.303	0.404	1.47E-04	4.06E-09

Tabla N°34.-Frecuencia de resultados de grado de Absorción (%) del grupo M1.

Intervalo de Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Marca Clase	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Acumulado	
						Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
1	12.04	12.34	12.19	6	0.33	6	0.33
2	12.34	12.65	12.50	0	0.00	6	0.33
3	12.65	12.95	12.80	3	0.17	9	0.50
4	12.95	13.25	13.10	1	0.06	10	0.56
5	13.25	13.56	13.41	6	0.33	16	0.89
6	13.56	13.86	13.71	2	0.11	18	1.00

N: 18

Tabla N°35.-Frecuencia de resultados de Índice de Vacíos permeables (%) del grupo M1.

Intervalo de Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Marca Clase	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Acumulado	
						Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
1	14.89	15.29	15.09	2	0.11	2	0.11
2	15.29	15.70	15.50	5	0.28	7	0.39
3	15.70	16.10	15.90	3	0.17	10	0.56
4	16.10	16.50	16.30	4	0.22	14	0.78
5	16.50	16.91	16.71	2	0.11	16	0.89
6	16.91	17.31	17.11	2	0.11	18	1.00

N: 18

Tabla N°36-Frecuencia de resultados de Capilaridad [gr/(cm²*min)] del grupo M1.

Intervalo de Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Marca Clase	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Acumulado	
						Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
1	4.92E-03	5.07E-03	4.99E-03	3	0.17	3	0.17
2	5.07E-03	5.21E-03	5.14E-03	5	0.28	8	0.44
3	5.21E-03	5.36E-03	5.29E-03	3	0.17	11	0.61
4	5.36E-03	5.51E-03	5.43E-03	2	0.11	13	0.72
5	5.51E-03	5.65E-03	5.58E-03	2	0.11	15	0.83
6	5.65E-03	5.80E-03	5.73E-03	3	0.17	18	1.00

N: 18

Tabla N°37.-Frecuencia de resultados de Permeabilidad (cm/s) del grupo M1.

Intervalo de Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Marca Clase	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Acumulado	
						Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
1	1.52E-07	1.56E-07	1.54E-07	4	0.22	4	0.22
2	1.56E-07	1.60E-07	1.58E-07	2	0.11	6	0.33
3	1.60E-07	1.64E-07	1.62E-07	1	0.06	7	0.39
4	1.64E-07	1.68E-07	1.66E-07	5	0.28	12	0.67
5	1.68E-07	1.72E-07	1.70E-07	3	0.17	15	0.83
6	1.72E-07	1.76E-07	1.74E-07	3	0.17	18	1.00

N: 18

Pruebas de Normalidad en SPSS: Ensayos de Grado de Absorción - Grupo M1

Método: Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-wilk

1.- Hipótesis:

H₀: La variable Grado de Absorción proviene de una población normal.

H₁: La variable Grado de Absorción no proviene de una población normal.

2.- Significancia:

$\alpha = 5\% = 0.05$

		Descriptivos		
		Estadístico	Desv. Error	
Grado_Abs_M1	Media	12.8928	0.14506	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	12.5867	
		Límite superior	13.1988	
	Media recortada al 5%	12.8864		
	Mediana	12.9250		
	Varianza	0.379		
	Desv. Desviación	0.61544		
	Mínimo	12.04		
	Máximo	13.86		
	Rango	1.82		
	Rango intercuartil	1.28		
	Asimetría	-0.066	0.536	
	Curtosis	-1.548	1.038	

Fuente: Software IBM Statistic Visor.

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Grado_Absor_M1	0.158	18	0.200	0.908	18	0.081

Fuente: Software IBM Statistic Visor.

3.- P - Valor:

$P = 0.081$

4.- Decisión:

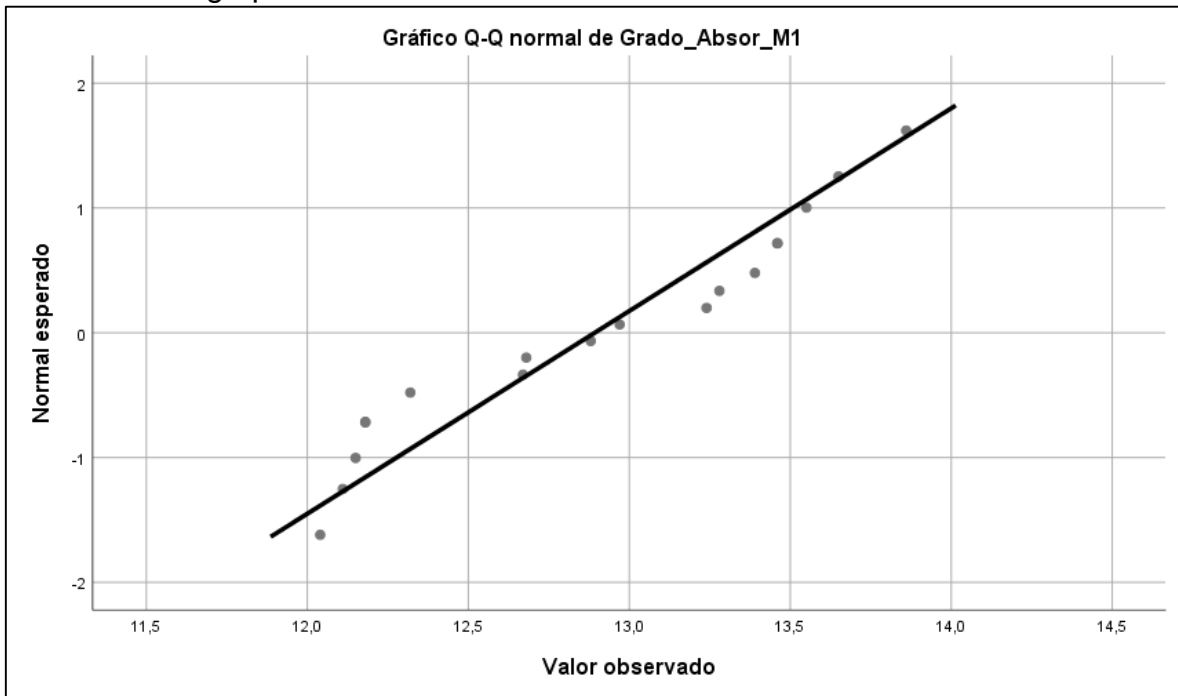
Si $p > \alpha$, entonces aceptamos H₀, Caso contrario aceptamos H₁

$0.081 > 0.05$, esto implica que debemos aceptar H₀.

5.- Conclusión:

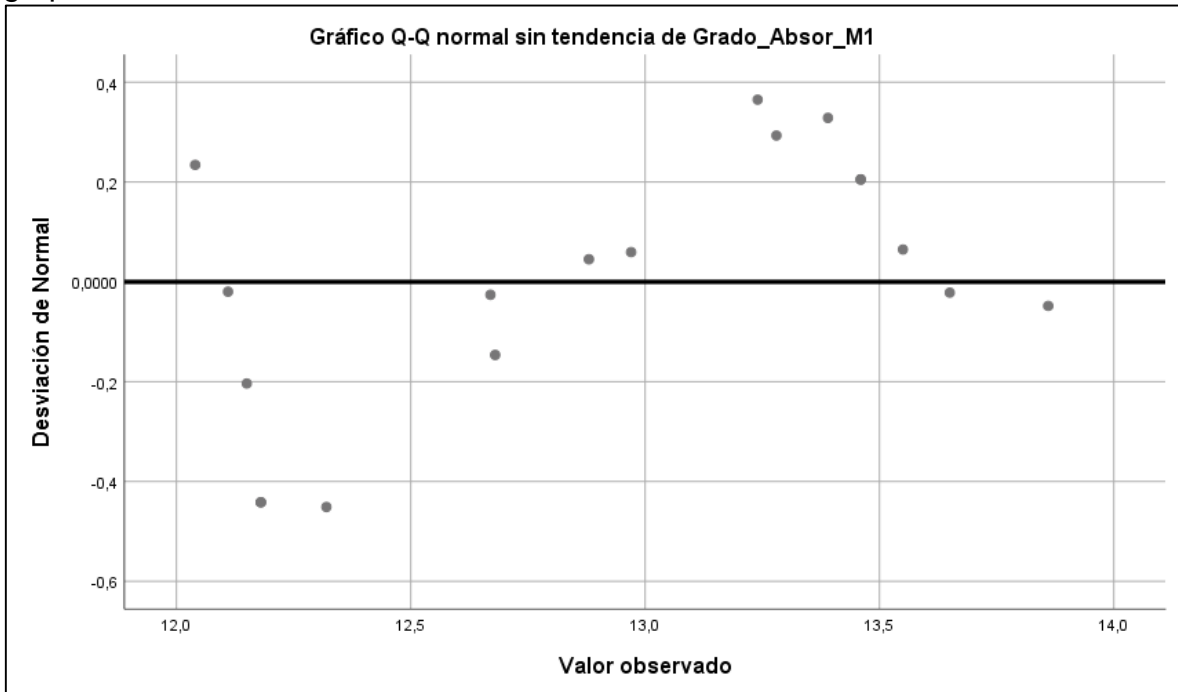
Los resultados de los ensayos del grado absorción SI CUMPLEN con una distribución normal.

Figura 25.- Residuos Vs % de Probabilidad Normal en función al grado de Absorción del grupo M1.



Fuente: Software IBM Statistic Visor.

Figura 26.- Residuos Vs Valor Observado en función al grado de Absorción del grupo M1.



Fuente: Software IBM Statistic Visor.

Pruebas de Normalidad en SPSS: Índice de Vacíos Permeables - Grupo M1

Método: Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-wilk

1.- Hipótesis:

H₀: La variable Índice de Vacíos Permeables proviene de una población normal.

H₁: La variable Índice de Vacíos Permeables no proviene de una población normal.

2.- Significancia:

$$\alpha = 5\% = 0.05$$

		Estadístico	Desv. Error	
Índ_Vac_Perm_M1	Media	16,0072	,16811	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	15,6525	
		Límite superior	16,3619	
	Media recortada al 5%	15,9969		
	Mediana	15,9700		
	Varianza	,509		
	Desv. Desviación	,71323		
	Mínimo	14,89		
	Máximo	17,31		
	Rango	2,42		
	Rango intercuartil	1,05		
	Asimetría	,161	,536	
	Curtosis	-,882	1,038	

Fuente: Software IBM Statistic Visor.

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Índ_Vac_Perm_M1	0.129	18	0.200	0.965	18	0.693

Fuente: Software IBM Statistic Visor.

3.- P - Valor:

$$P = 0.693$$

4.- Decisión:

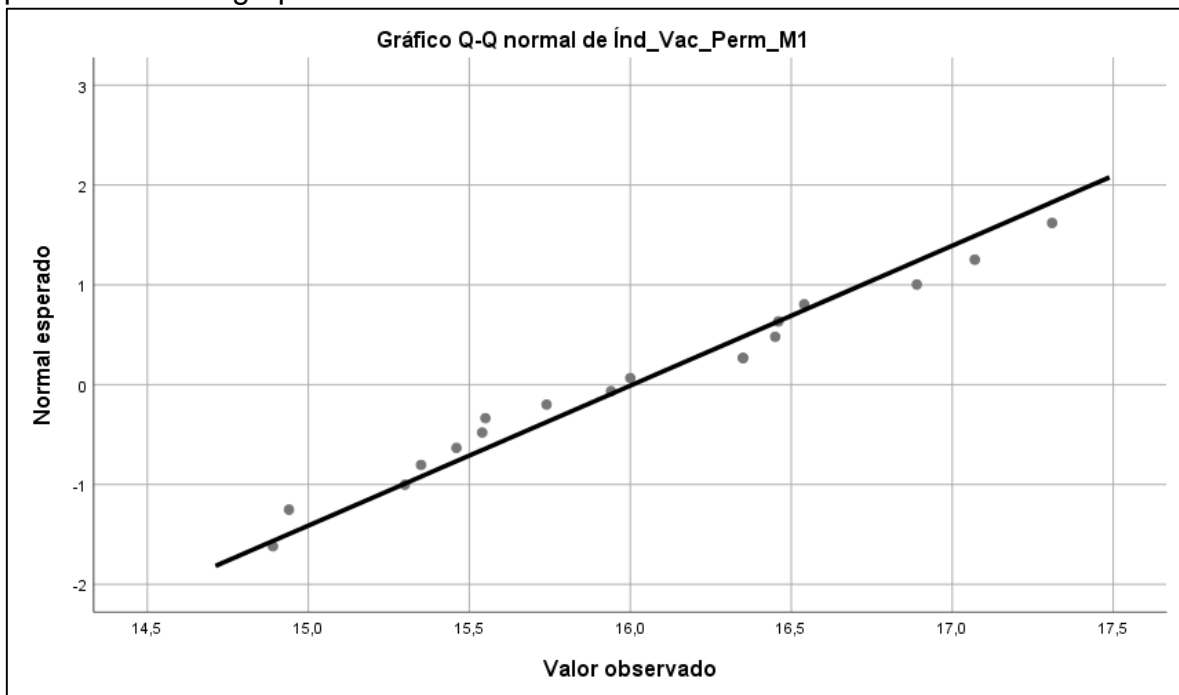
Si $p > \alpha$, entonces aceptamos H₀, Caso contrario aceptamos H₁

0.693 > 0.05, esto implica que debemos aceptar H₀.

5.- Conclusión:

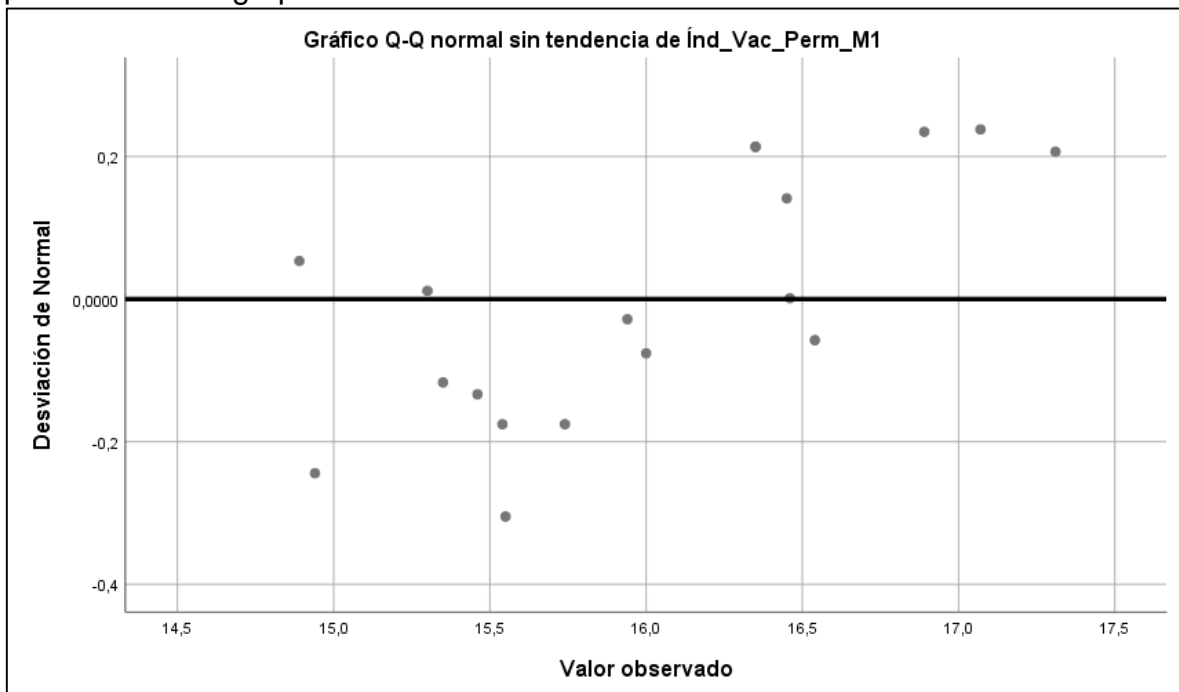
Los resultados del % de índice de vacíos permeables SI CUMPLEN con una distribución normal.

Figura 27.- Residuos Vs % de Probabilidad Normal en función al índice de vacíos permeables del grupo M1.



Fuente: Software IBM Statistic Visor.

Figura 28.- Residuos Vs Valor Observado en función al índice de vacíos permeables del grupo M1.



Fuente: Software IBM Statistic Visor.

Pruebas de Normalidad en SPSS: Capilaridad [gr/(cm²*min)] - Grupo M1

Método: Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-wilk

1.- Hipótesis:

H₀: La variable Capilaridad proviene de una población normal.

H₁: La variable Capilaridad no proviene de una población normal.

2.- Significancia:

$\alpha = 5\% = 0.05$

		Descriptivos		
		Estadístico	Desv. Error	
Capilaridad_M1	Media	,0053	,00007	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	,0052	
		Límite superior	,0055	
	Media recortada al 5%	,0053		
	Mediana	,0053		
	Varianza	,000		
	Desv. Desviación	,00029		
	Mínimo	,00		
	Máximo	,01		
	Rango	,00		
	Rango intercuartil	,00		
	Asimetría	,324	,536	
	Curtosis	-1,227	1,038	

Fuente: Software IBM Statistic Visor.

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Capilaridad_M1	0.142	18	0.200	0.925	18	0.157

Fuente: Software IBM Statistic Visor.

3.- P - Valor:

$P = 0.157$

4.- Decisión:

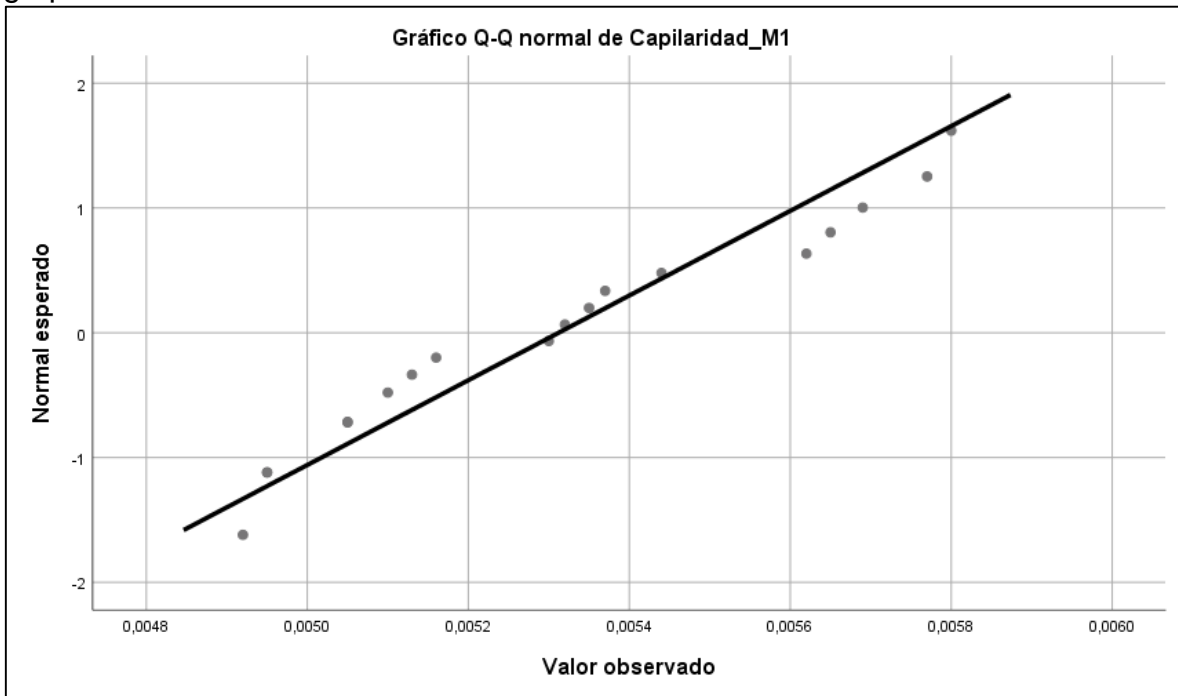
Si $p > \alpha$, entonces aceptamos H₀, Caso contrario aceptamos H₁

$0.157 > 0.05$, esto implica que debemos aceptar H₀.

5.- Conclusión:

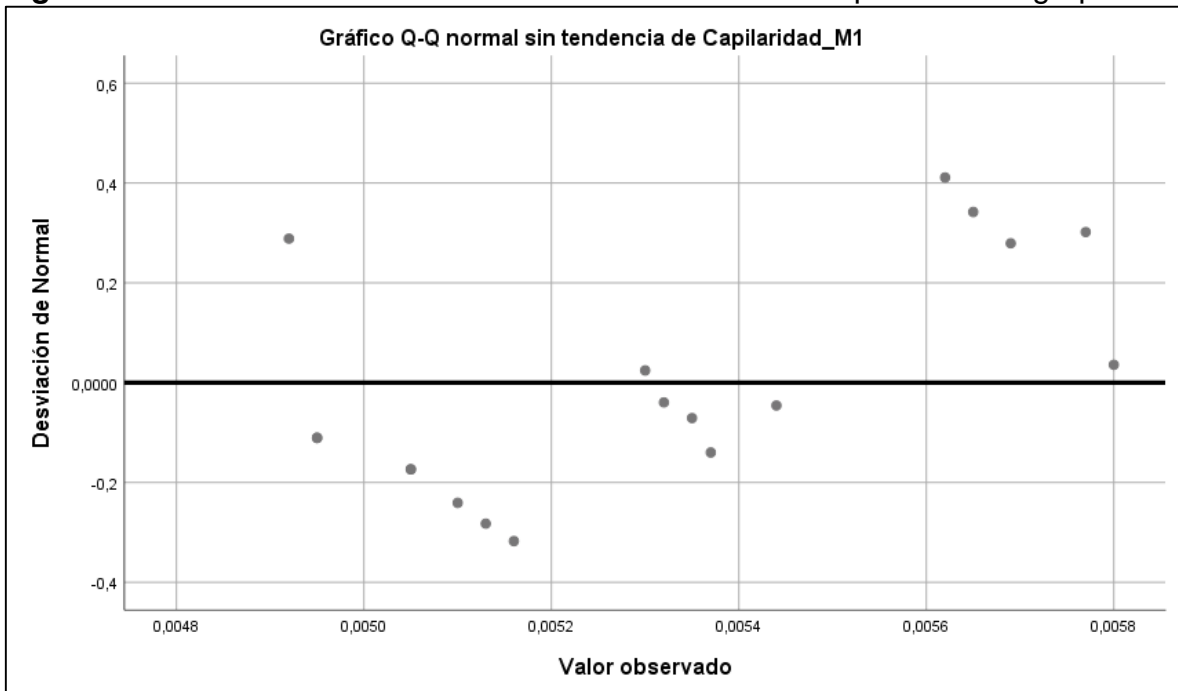
Los resultados de los ensayos de capilaridad, SI CUMPLEN con una distribución normal.

Figura 29.- Residuos Vs % de Probabilidad Normal en función a la Capilaridad del grupo M1.



Fuente: Software IBM Statistic Visor.

Figura 30.- Residuos Vs Valor Observado en función a la Capilaridad del grupo M1.



Fuente: Software IBM Statistic Visor.

Pruebas de Normalidad en SPSS: Permeabilidad (cm/seg) - Grupo M1

Método: Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-wilk

1.- Hipótesis:

H₀: La variable Permeabilidad proviene de una población normal.

H₁: La variable Permeabilidad no proviene de una población normal.

2.- Significancia:

$\alpha = 5\% = 0.05$

		Descriptivos		
		Estadístico	Desv. Error	
Permeabilidad_M1	Media	1,6457E-007	1,955E-009	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1,6044E-007	
		Límite superior	1,6869E-007	
	Media recortada al 5%	1,6463E-007		
	Mediana	1,6662E-007		
	Varianza	,000		
	Desv. Desviación	8,29457E-009		
	Mínimo	1,52E-007		
	Máximo	1,76E-007		
	Rango	2,44E-008		
	Rango intercuartil	1,44E-008		
	Asimetría	-,156	,536	
	Curtosis	-1,306	1,038	

Fuente: Software IBM Statistic Visor.

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Permeabilidad_M1	0.149	18	0.200	0.919	18	0.123

Fuente: Software IBM Statistic Visor.

3.- P - Valor:

$P = 0.123$

4.- Decisión:

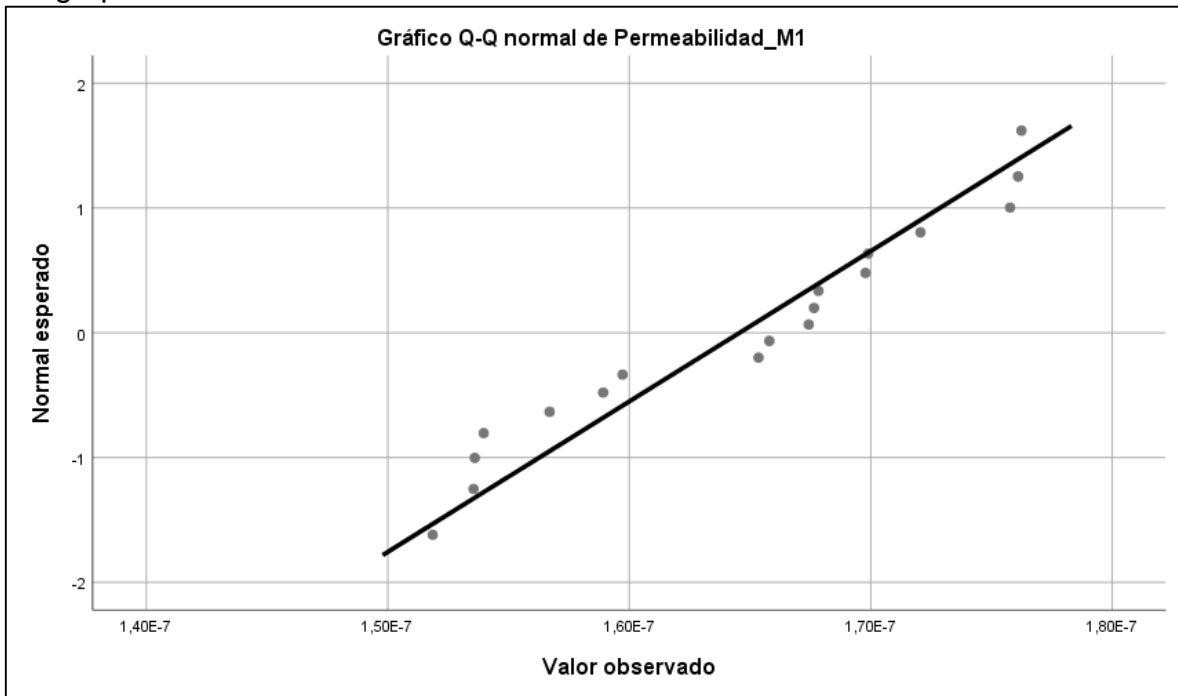
Si $p > \alpha$, entonces aceptamos H₀, Caso contrario aceptamos H₁

$0.123 > 0.05$, esto implica que debemos aceptar H₀.

5.- Conclusión:

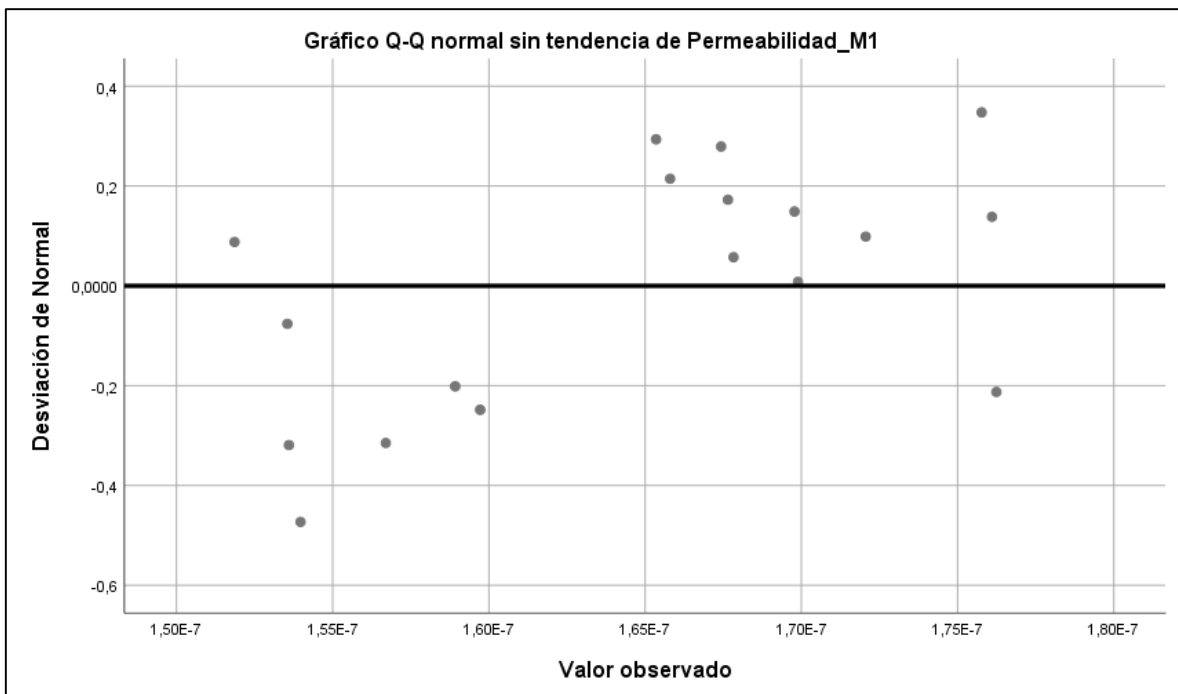
Los resultados de los ensayos de permeabilidad, SI CUMPLEN con una distribución normal.

Figura 31.- Residuos Vs % de Probabilidad Normal en función a la Permeabilidad del grupo M1.



Fuente: Software IBM Statistic Visor.

Figura 32.- Residuos Vs Valor Observado en función a la Permeabilidad del grupo M1.



Fuente: Software IBM Statistic Visor.

RESULTADOS DEL GRUPO EXPERIMENTAL M2

Tabla N°38.- Resultados de Ensayo de Absorción de Agua (%) del Grupo patrón sin aditivo impermeabilizante M2.

Grado de Absorción de agua, Grupo M2					
N°	%	N°	%	N°	%
1	13.78	7	12.87	13	14.15
2	14.23	8	14.33	14	13.88
3	14.11	9	12.39	15	12.44
4	13.45	10	13.13	16	14.43
5	14.40	11	13.48	17	12.86
6	12.65	12	13.12	18	12.92
Promedio	13.48	Desv. Estd.	0.70	Coef. Var.	5.22

Tabla N°39.- Resultados de Índice de vacíos permeables (%) del Grupo patrón sin aditivo impermeabilizante M2.

Índice de Vacíos Permeables, Grupo M2					
N°	%	N°	%	N°	%
1	19.23	7	17.63	13	19.45
2	17.13	8	18.65	14	18.93
3	18.95	9	17.62	15	18.32
4	17.25	10	17.99	16	19.21
5	19.11	11	18.45	17	17.41
6	18.85	12	17.53	18	17.64
Promedio	18.30	Desv. Estd.	0.78	Coef. Var.	4.24

Tabla N°40.- Resultados de la capilaridad [gr/(cm²*min)] del Grupo patrón sin aditivo impermeabilizante M2.

Capilaridad, Grupo M2					
N°	gr cm²*min	N°	gr cm²*min	N°	gr cm²*min
1	6.93E-03	7	7.42E-03	13	7.19E-03
2	7.56E-03	8	7.52E-03	14	6.90E-03
3	6.67E-03	9	6.80E-03	15	7.50E-03
4	7.18E-03	10	7.66E-03	16	6.69E-03
5	6.62E-03	11	7.31E-03	17	7.25E-03
6	6.70E-03	12	7.45E-03	18	6.60E-03
Promedio	7.11E-03	Desv. Estd.	3.69E-04	Coef. Var.	5.20

Tabla N°41.- Resultados de permeabilidad (cm/s) del Grupo patrón sin aditivo impermeabilizante M2.

Permeabilidad, Grupo M2					
N°	cm/s	N°	cm/s	N°	cm/s
1	2.01E-07	7	2.05E-07	13	2.24E-07
2	2.11E-07	8	2.29E-07	14	2.08E-07
3	2.06E-07	9	2.26E-07	15	2.26E-07
4	2.14E-07	10	2.02E-07	16	2.14E-07
5	2.02E-07	11	2.02E-07	17	2.02E-07
6	2.12E-07	12	2.04E-07	18	2.25E-07
Promedio	2.12E-07	Desv. Estd.	1.00E-08	Coef. Var.	4.72

Número de Intervalos de Clase (M): $5 \leq M \leq 20$

$$M = 1 + 3.32 * \log_{10} N$$

$$M = 1 + 3.32 * \log_{10} 18 = 5.17$$

Usamos el valor de $M = 6$

Tabla N°42.- Parámetros estadísticos suplementarios de ensayos del grupo M2.

ITEM	Grado de Absorción (%)	Índice de Vacíos permeables (%)	Capilaridad gr/(cm²*min)]	Permeabilidad (cm/s)
Numero de datos	18	18	18	18
Promedio	13.48	18.30	7.11E-03	2.12E-07
Desviación Estándar	0.70	0.78	3.69E-04	1.00E-08
Coef. de Variación	5.22	4.24	5.20	4.72
Mínimo	12.39	17.13	6.60E-03	2.01E-07
Máximo	14.43	19.45	7.66E-03	2.29E-07
Rango (R)	2.04	2.32	1.06E-03	2.83E-08
Ancho de Intervalo	0.340	0.387	1.77E-04	4.71E-09

Tabla N°43.-Frecuencia de resultados de grado de Absorción (%) del grupo M2.

Intervalo de Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Marca Clase	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Acumulado	
						Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
1	12.39	12.73	12.56	3	0.17	3	0.17
2	12.73	13.07	12.90	3	0.17	6	0.33
3	13.07	13.41	13.24	2	0.11	8	0.44
4	13.41	13.75	13.58	2	0.11	10	0.56
5	13.75	14.09	13.92	2	0.11	12	0.67
6	14.09	14.43	14.26	6	0.33	18	1.00

N: 18

Tabla N°44.-Frecuencia de resultados de Índice de Vacíos permeables (%) del grupo M2.

Intervalo de Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Marca Clase	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Acumulado	
						Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
1	17.13	17.52	17.32	3	0.17	3	0.17
2	17.52	17.90	17.71	4	0.22	7	0.39
3	17.90	18.29	18.10	1	0.06	8	0.44
4	18.29	18.68	18.48	3	0.17	11	0.61
5	18.68	19.06	18.87	3	0.17	14	0.78
6	19.06	19.45	19.26	4	0.22	18	1.00

N: 18

Tabla N°45.-Frecuencia de resultados de Capilaridad [gr/(cm²*min)] del grupo M2.

Intervalo de Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Marca Clase	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Acumulado	
						Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
1	6.60E-03	6.78E-03	6.69E-03	5	0.28	5	0.28
2	6.78E-03	6.95E-03	6.87E-03	3	0.17	8	0.44
3	6.95E-03	7.13E-03	7.04E-03	0	0.00	8	0.44
4	7.13E-03	7.31E-03	7.22E-03	4	0.22	12	0.67
5	7.31E-03	7.48E-03	7.40E-03	2	0.11	14	0.78
6	7.48E-03	7.66E-03	7.57E-03	4	0.22	18	1.00

N: 18

Tabla N°46.-Frecuencia de resultados de Permeabilidad (cm/s) del grupo M2.

Intervalo de Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Marca Clase	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Acumulado	
						Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
1	2.01E-07	2.06E-07	2.03E-07	8	0.44	8	0.44
2	2.06E-07	2.10E-07	2.08E-07	1	0.06	9	0.50
3	2.10E-07	2.15E-07	2.13E-07	4	0.22	13	0.72
4	2.15E-07	2.20E-07	2.18E-07	0	0.00	13	0.72
5	2.20E-07	2.25E-07	2.22E-07	2	0.11	15	0.83
6	2.25E-07	2.29E-07	2.27E-07	3	0.17	18	1.00

N: 18

Pruebas de Normalidad en SPSS: Ensayos de Grado de Absorción - Grupo M2

Método: Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-wilk

1.- Hipótesis:

H₀: La variable Grado de Absorción proviene de una población normal.

H₁: La variable Grado de Absorción no proviene de una población normal.

2.- Significancia:

$\alpha = 5\% = 0.05$

		Descriptivos	
		Estadístico	Desv. Error
Grado_Absor_M2	Media	13.4789	0.16580
	95% de intervalo de confianza para la media		
	Límite inferior	13.1291	
	Límite superior	13.8287	
	Media recortada al 5%	13.4865	
	Mediana	13.4650	
	Varianza	0.495	
	Desv. Desviación	0.70341	
	Mínimo	12.39	
	Máximo	14.43	
	Rango	2.04	
	Rango intercuartil	1.30	
	Asimetría	-0.072	0.536
	Curtosis	-1.478	1.038

Fuente: Software IBM Statistic Visor.

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Grado_Absor_M2	0.149	18	0.200	0.921	18	0.133

Fuente: Software IBM Statistic Visor.

3.- P - Valor:

$P = 0.133$

4.- Decisión:

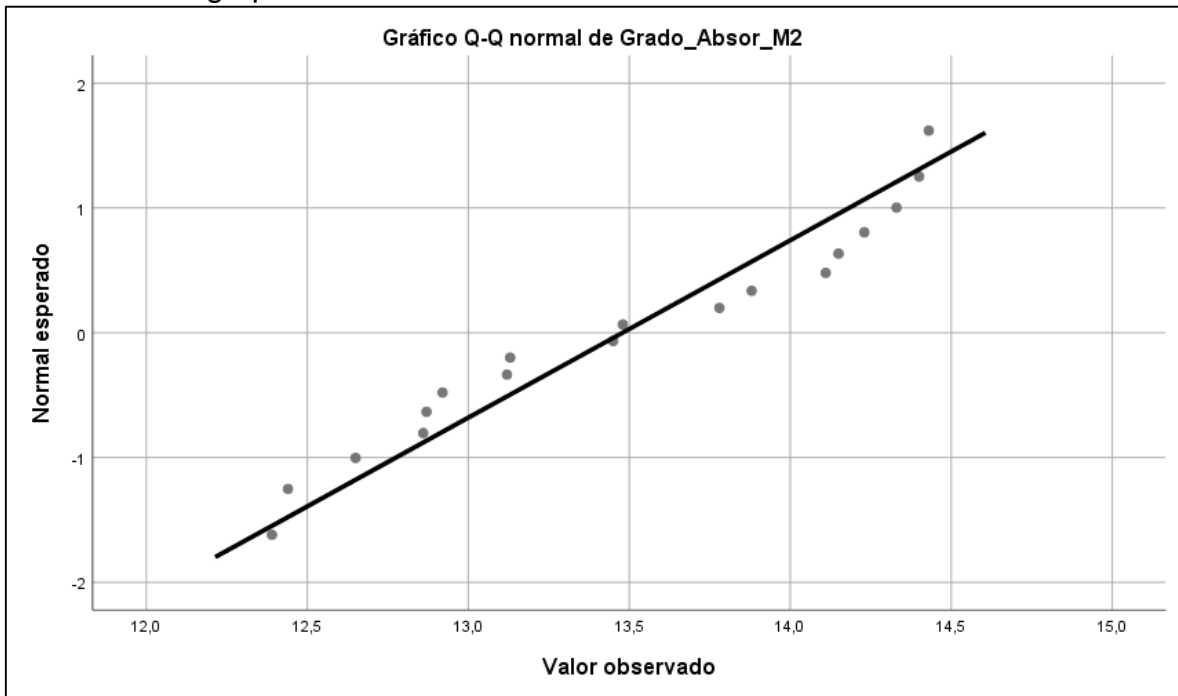
Si $p > \alpha$, entonces aceptamos H₀, Caso contrario aceptamos H₁

$0.133 > 0.05$, esto implica que debemos aceptar H₀.

5.- Conclusión:

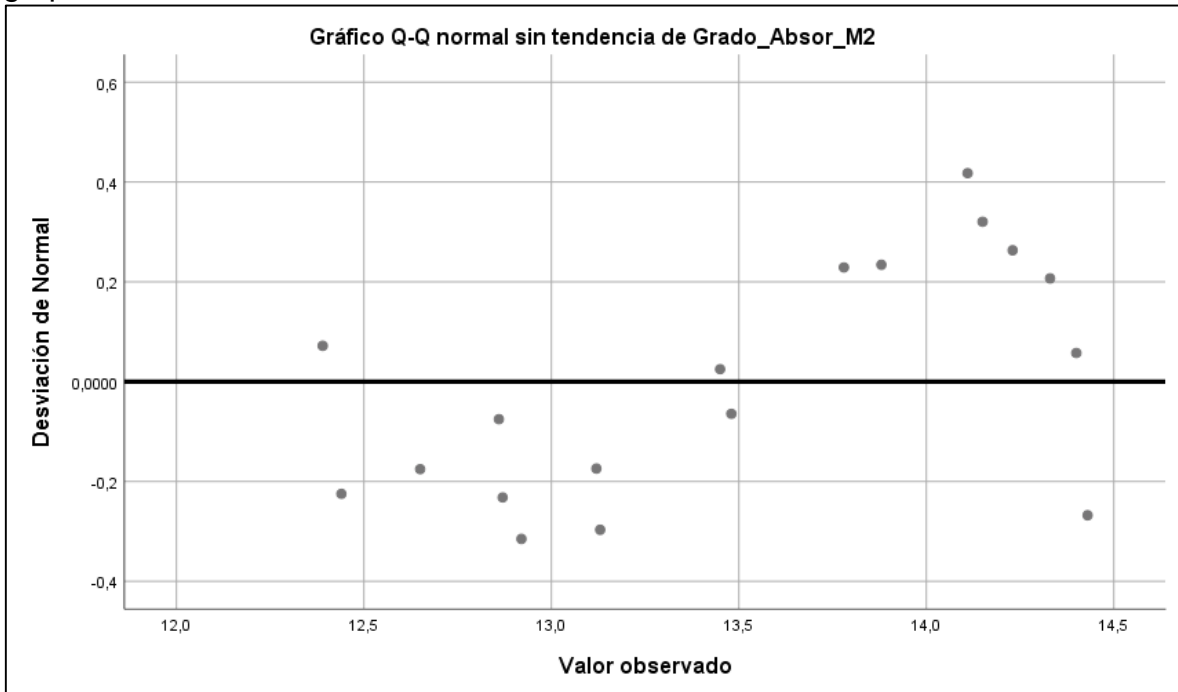
Los resultados de los ensayos del grado absorción SI CUMPLEN con una distribución normal.

Figura 33.- Residuos Vs % de Probabilidad Normal en función al grado de Absorción del grupo M2.



Fuente: Software IBM Statistic Visor.

Figura 34.- Residuos Vs Valor Observado en función al grado de Absorción del grupo M2.



Fuente: Software IBM Statistic Visor.

Pruebas de Normalidad en SPSS: Índice de Vacíos Permeables - Grupo M2

Método: Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-wilk

1.- Hipótesis:

H₀: La variable Índice de Vacíos Permeables proviene de una población normal.

H₁: La variable Índice de Vacíos Permeables no proviene de una población normal.

2.- Significancia:

$$\alpha = 5\% = 0.05$$

		Descriptivos		
		Estadístico	Desv. Error	
Índ_Vac_Perm_M2	Media	18.2972	0.18292	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	17.9113	
		Límite superior	18.6831	
	Media recortada al 5%	18.2980		
	Mediana	18.3850		
	Varianza	0.602		
	Desv. Desviación	0.77604		
	Mínimo	17.13		
	Máximo	19.45		
	Rango	2.32		
	Rango intercuartil	1.39		
	Asimetría	-0.060	0.536	
	Curtosis	-1.594	1.038	

Fuente: Software IBM Statistic Visor.

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Índ_Vac_Perm_M2	0.190	18	0.084	0.915	18	0.104

Fuente: Software IBM Statistic Visor.

3.- P - Valor:

$$P = 0.104$$

4.- Decisión:

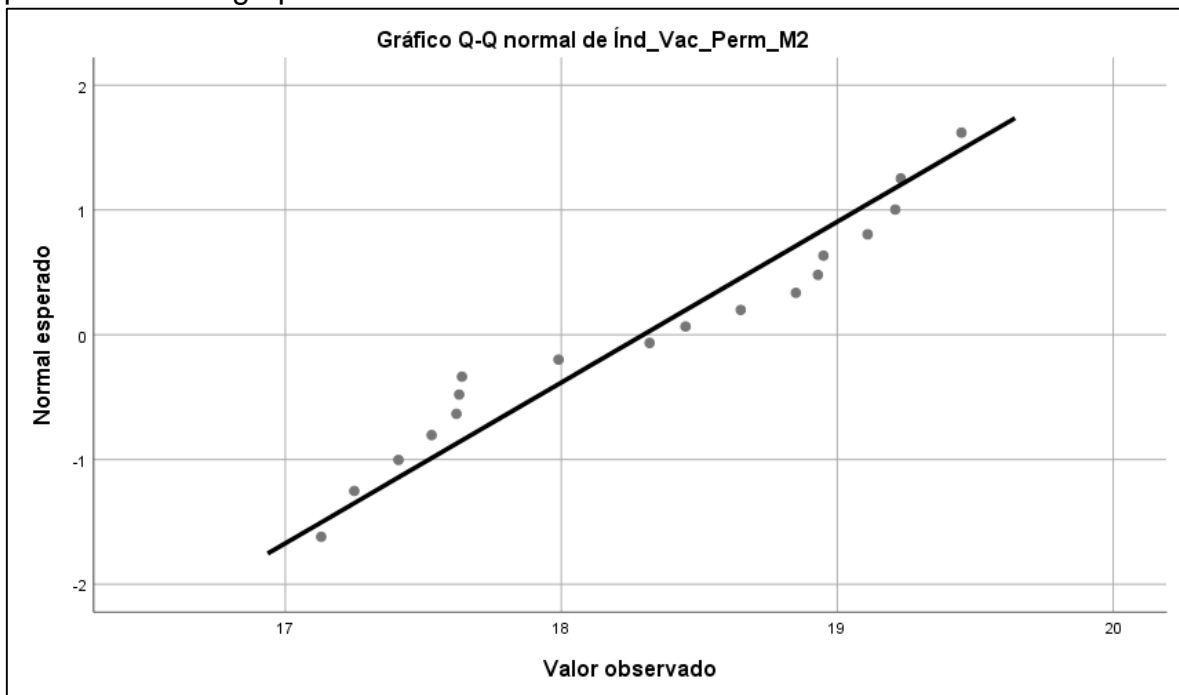
Si $p > \alpha$, entonces aceptamos H₀, Caso contrario aceptamos H₁

0.104 > 0.05, esto implica que debemos aceptar H₀.

5.- Conclusión:

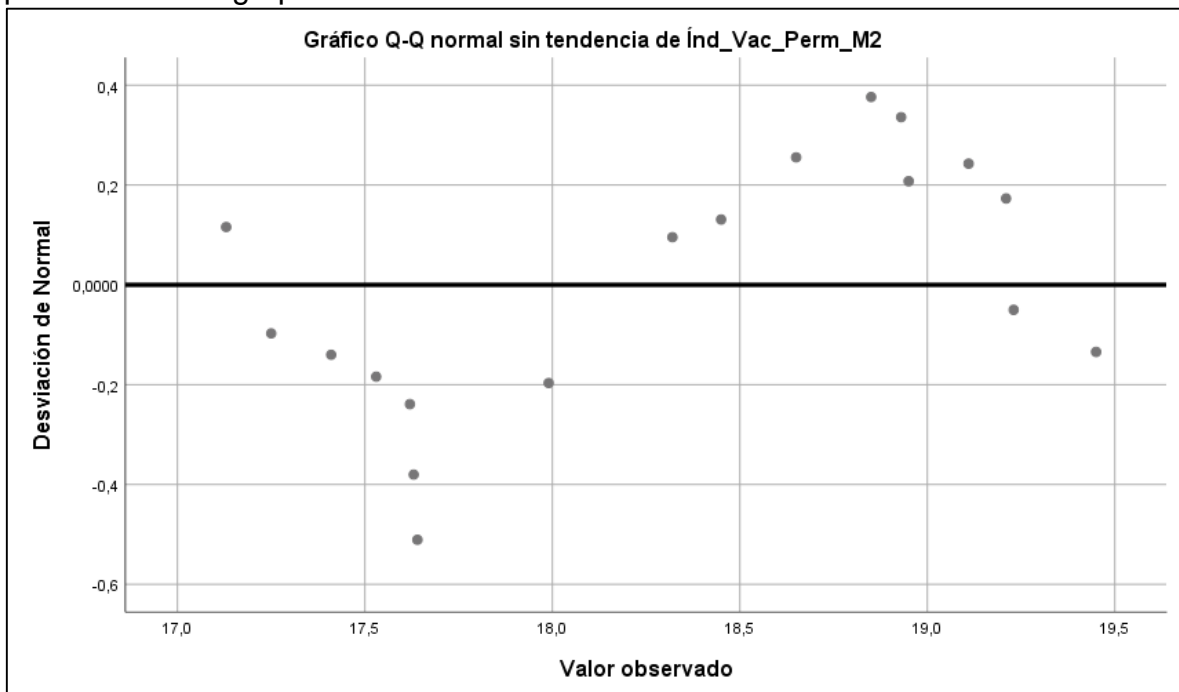
Los resultados del % de índice de vacíos permeables SI CUMPLEN con una distribución normal.

Figura 35.- Residuos Vs % de Probabilidad Normal en función al índice de vacíos permeables del grupo M2.



Fuente: Software IBM Statistic Visor.

Figura 36.- Residuos Vs Valor Observado en función al índice de vacíos permeables del grupo M2.



Fuente: Software IBM Statistic Visor.

Pruebas de Normalidad en SPSS: Capilaridad [gr/(cm²*min)] - Grupo M2

Método: Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-wilk

1.- Hipótesis:

H₀: La variable Capilaridad proviene de una población normal.

H₁: La variable Capilaridad no proviene de una población normal.

2.- Significancia:

$\alpha = 5\% = 0.05$

Descriptivos

		Estadístico	Desv. Error
Capilaridad_M2	Media	7,1083E-003	8,70476E-005
	95% de intervalo de confianza para la media		
	Límite inferior	6,9247E-003	
	Límite superior	7,2920E-003	
	Media recortada al 5%	7,1059E-003	
	Mediana	7,1850E-003	
	Varianza	,000	
	Desv. Desviación	3,69312E-004	
	Mínimo	6,60E-003	
	Máximo	7,66E-003	
	Rango	1,06E-003	
	Rango intercuartil	7,65E-004	
	Asimetría	-,060	,536
	Curtosis	-1,618	1,038

Fuente: Software IBM Statistic Visor.

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Capilaridad_M2	0.143	18	0.200	0.905	18	0.070

Fuente: Software IBM Statistic Visor.

3.- P - Valor:

$P = 0.07$

4.- Decisión:

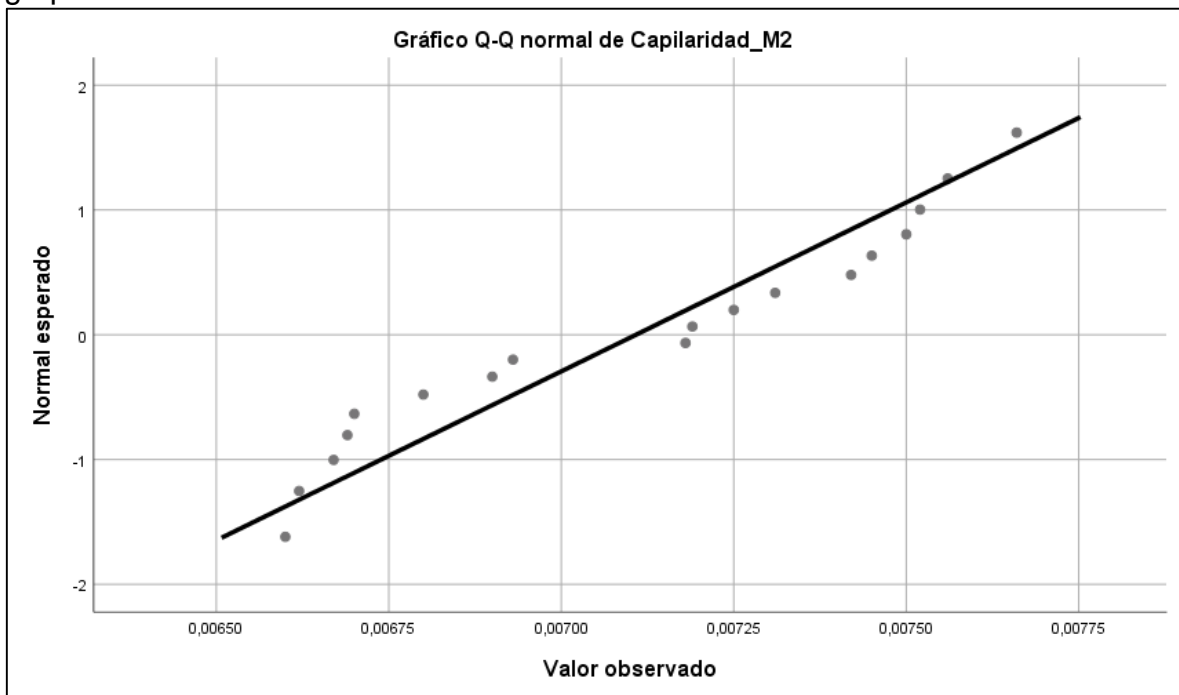
Si $p > \alpha$, entonces aceptamos H₀, Caso contrario aceptamos H₁

$0.07 > 0.05$, esto implica que debemos aceptar H₀.

5.- Conclusión:

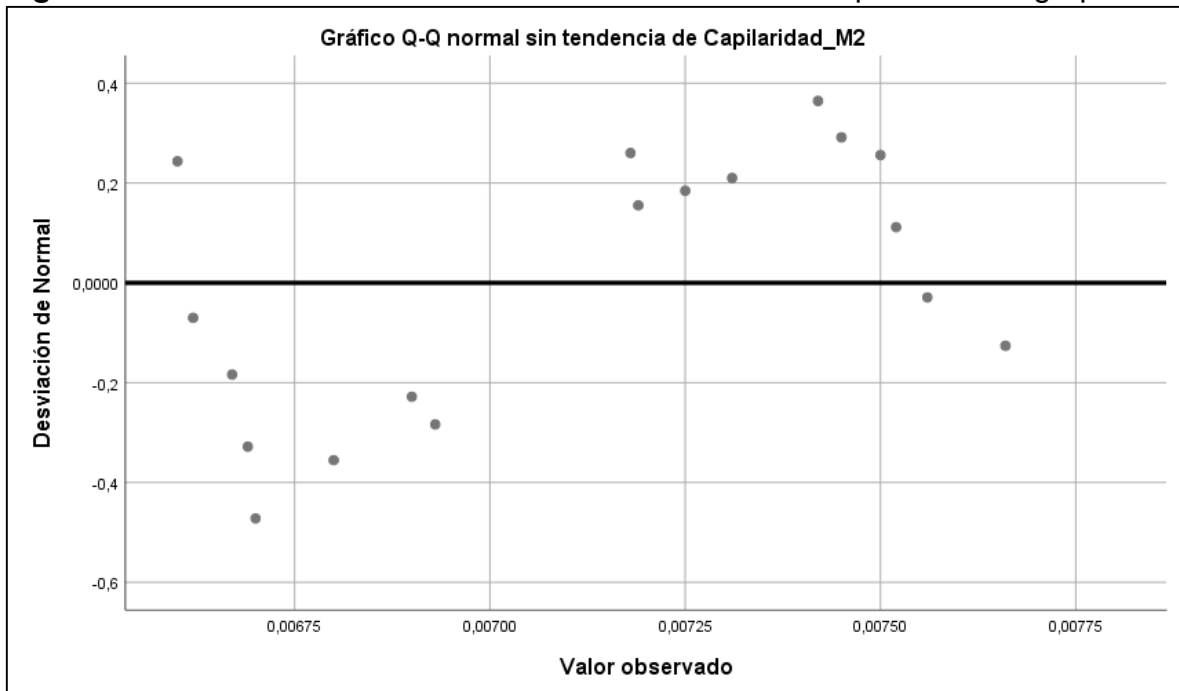
Los resultados de los ensayos de capilaridad, SI CUMPLEN con una distribución normal.

Figura 37.- Residuos Vs % de Probabilidad Normal en función a la Capilaridad del grupo M2.



Fuente: Software IBM Statistic Visor.

Figura 38.- Residuos Vs Valor Observado en función a la Capilaridad del grupo M2.



Fuente: Software IBM Statistic Visor.

Pruebas de Normalidad en SPSS: Permeabilidad (cm/s) - Grupo M2

Método: Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-wilk

1.- Hipótesis:

H₀: La variable Permeabilidad proviene de una población normal.

H₁: La variable Permeabilidad no proviene de una población normal.

2.- Significancia:

$\alpha = 5\% = 0.05$

		Descriptivos		
		Estadístico	Desv. Error	
Permeabilidad_M2	Media	2,1307E-007	2,18552E-009	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2,0846E-007	
		Límite superior	2,1768E-007	
	Media recortada al 5%	2,1284E-007		
	Mediana	2,1152E-007		
	Varianza	,000		
	Desv. Desviación	9,27238E-009		
	Mínimo	2,01E-007		
	Máximo	2,29E-007		
	Rango	2,83E-008		
	Rango intercuartil	1,96E-008		
	Asimetría	0,492	0,536	
	Curtosis	-1,105	1,038	

Fuente: Software IBM Statistic Visor.

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Permeabilidad_M2	0.166	18	0.200	0.902	18	0.061

Fuente: Software IBM Statistic Visor.

3.- P - Valor:

$P = 0.061$

4.- Decisión:

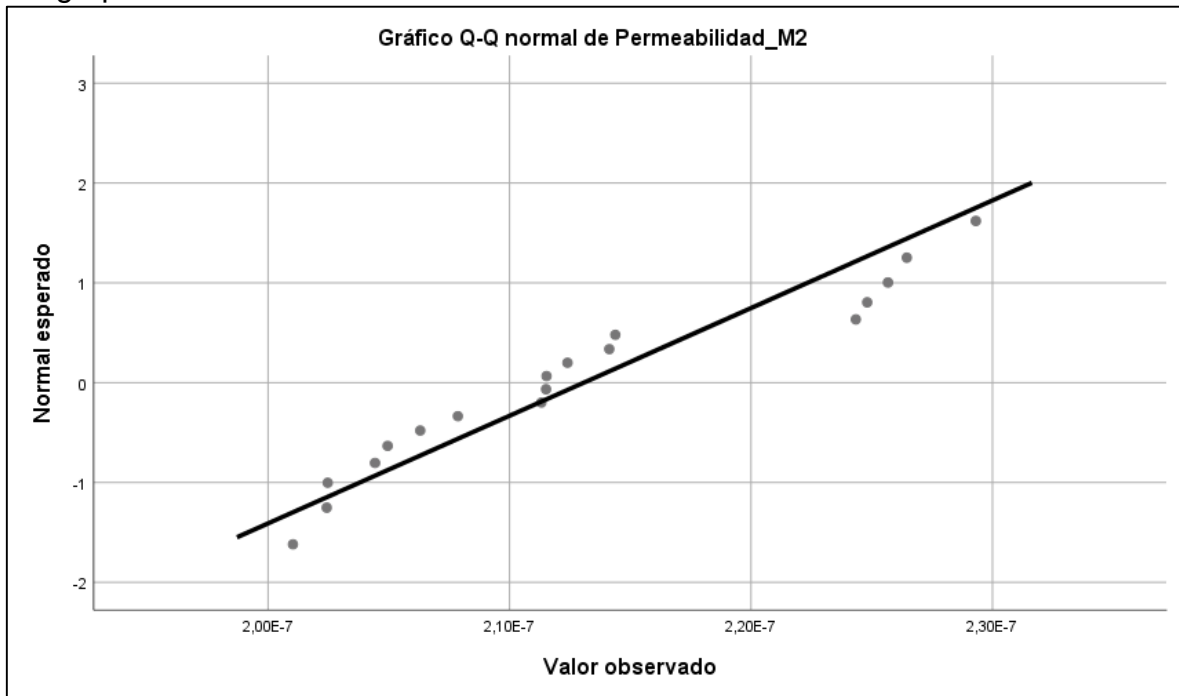
Si $p > \alpha$, entonces aceptamos H₀, Caso contrario aceptamos H₁

$0.061 > 0.05$, esto implica que debemos aceptar H₀.

5.- Conclusión:

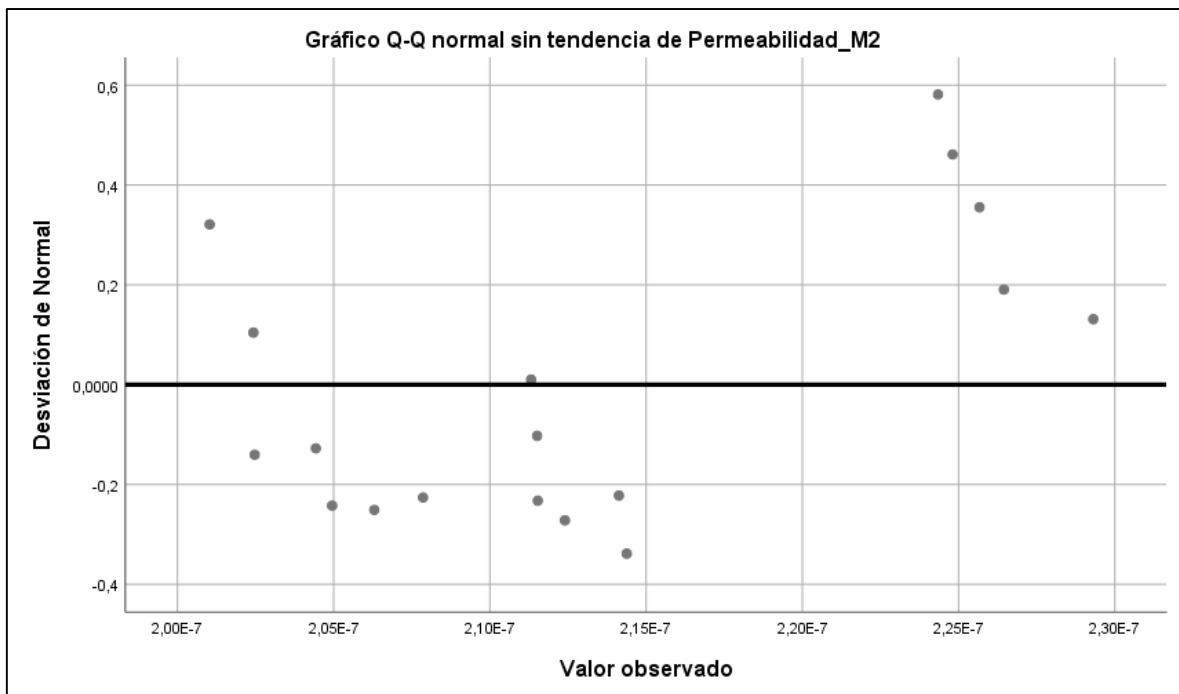
Los resultados de los ensayos de permeabilidad, SI CUMPLEN con una distribución normal.

Figura 39.- Residuos Vs % de Probabilidad Normal en función a la Permeabilidad del grupo M2.



Fuente: Software IBM Statistic Visor.

Figura 40.- Residuos Vs Valor Observado en función a la Permeabilidad del grupo M2.



Fuente: Software IBM Statistic Visor.

RESULTADOS DEL GRUPO EXPERIMENTAL M3

Tabla N°47.- Resultados de Ensayo de Absorción de Agua (%) del Grupo patrón sin aditivo impermeabilizante M3.

Grado de Absorción de agua, Grupo M3					
N°	%	N°	%	N°	%
1	11.25	7	12.06	13	12.22
2	10.87	8	10.25	14	11.70
3	10.72	9	11.62	15	11.53
4	11.05	10	10.90	16	10.53
5	10.59	11	11.48	17	10.81
6	11.60	12	11.72	18	10.67
Promedio	11.20	Desv. Estd.	0.57	Coef. Var.	5.05

Tabla N°48.- Resultados de Índice de vacíos permeables (%) del Grupo patrón sin aditivo impermeabilizante M3.

Índice de Vacíos Permeables, Grupo M3					
N°	%	N°	%	N°	%
1	14.78	7	13.65	13	13.22
2	15.18	8	14.19	14	14.01
3	13.51	9	14.23	15	13.17
4	13.48	10	13.15	16	14.49
5	14.73	11	14.21	17	14.32
6	14.95	12	14.28	18	15.11
Promedio	14.15	Desv. Estd.	0.66	Coef. Var.	4.69

Tabla N°49.- Resultados de la capilaridad [gr/(cm²*min)] del Grupo patrón sin aditivo impermeabilizante M3.

Capilaridad, Grupo M3					
N°	gr cm²*min	N°	gr cm²*min	N°	gr cm²*min
1	1.21E-03	7	1.22E-03	13	1.21E-03
2	1.19E-03	8	1.14E-03	14	1.25E-03
3	1.25E-03	9	1.18E-03	15	1.10E-03
4	1.11E-03	10	1.28E-03	16	1.19E-03
5	1.12E-03	11	1.18E-03	17	1.31E-03
6	1.23E-03	12	1.29E-03	18	1.24E-03
Promedio	1.21E-03	Desv. Estd.	6.08E-05	Coef. Var.	5.05

Tabla N°50.- Resultados de permeabilidad (cm/s) del Grupo patrón sin aditivo impermeabilizante M3.

Permeabilidad, Grupo M3					
N°	cm/seg	N°	cm/seg	N°	cm/seg
1	9.02E-08	7	9.08E-08	13	9.01E-08
2	1.01E-07	8	1.02E-07	14	8.91E-08
3	8.42E-08	9	9.14E-08	15	9.01E-08
4	9.41E-08	10	9.22E-08	16	9.32E-08
5	8.22E-08	11	8.55E-08	17	9.43E-08
6	9.13E-08	12	9.15E-08	18	9.00E-08
Promedio	9.13E-08	Desv. Estd.	4.95E-09	Coef. Var.	5.42

Número de Intervalos de Clase (M): $5 \leq M \leq 20$

$$M = 1 + 3.32 * \log_{10} N$$

$$M = 1 + 3.32 * \log_{10} 18 = 5.17$$

Usamos el valor de $M = 6$

Tabla N°51.- Parámetros estadísticos suplementarios de ensayos del grupo M3.

ITEM	Grado de Absorción (%)	Índice de Vacíos permeables (%)	Capilaridad gr/(cm²*min)]	Permeabilidad (cm/s)
Numero de datos	18	18	18	18
Promedio	11.20	14.15	1.21E-03	9.13E-08
Desviación Estándar	0.57	0.66	6.08E-05	4.95E-09
Coef. de Variación	5.05	4.69	5.05	5.42
Mínimo	10.25	13.15	1.10E-03	8.22E-08
Máximo	12.22	15.18	1.31E-03	1.02E-07
Rango (R)	1.97	2.03	2.10E-04	2.00E-08
Ancho de Intervalo	0.328	0.338	3.50E-05	3.33E-09

Tabla N°52.-Frecuencia de resultados de grado de Absorción (%) del grupo M3.

Intervalo de Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Marca Clase	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Acumulado	
						Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
1	10.25	10.58	10.41	2	0.11	2	0.11
2	10.58	10.91	10.74	6	0.33	8	0.44
3	10.91	11.24	11.07	1	0.06	9	0.50
4	11.24	11.56	11.40	3	0.17	12	0.67
5	11.56	11.89	11.73	4	0.22	16	0.89
6	11.89	12.22	12.06	2	0.11	18	1.00

N: 18

Tabla N°53.-Frecuencia de resultados de Índice de Vacíos permeables (%) del grupo M3.

Intervalo de Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Marca Clase	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Acumulado	
						Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
1	13.15	13.49	13.32	4	0.22	4	0.22
2	13.49	13.83	13.66	2	0.11	6	0.33
3	13.83	14.17	14.00	1	0.06	7	0.39
4	14.17	14.50	14.33	6	0.33	13	0.72
5	14.50	14.84	14.67	2	0.11	15	0.83
6	14.84	15.18	15.01	3	0.17	18	1.00

N: 18

Tabla N°54.-Frecuencia de resultados de Capilaridad [gr/(cm²*min)] del grupo M3.

Intervalo de Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Marca Clase	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Acumulado	
						Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
1	1.10E-03	1.14E-03	1.12E-03	4	0.22	4	0.22
2	1.14E-03	1.17E-03	1.15E-03	0	0.00	4	0.22
3	1.17E-03	1.21E-03	1.19E-03	6	0.33	10	0.56
4	1.21E-03	1.24E-03	1.22E-03	3	0.17	13	0.72
5	1.24E-03	1.28E-03	1.26E-03	3	0.17	16	0.89
6	1.28E-03	1.31E-03	1.29E-03	2	0.11	18	1.00

N: 18

Tabla N°55.-Frecuencia de resultados de Permeabilidad (cm/s) del grupo M3.

Intervalo de Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Marca Clase	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Acumulado	
						Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
1	8.22E-08	8.55E-08	8.38E-08	3	0.17	3	0.17
2	8.55E-08	8.88E-08	8.72E-08	0	0.00	3	0.17
3	8.88E-08	9.22E-08	9.05E-08	10	0.56	13	0.72
4	9.22E-08	9.55E-08	9.38E-08	3	0.17	16	0.89
5	9.55E-08	9.88E-08	9.72E-08	0	0.00	16	0.89
6	9.88E-08	1.02E-07	1.00E-07	2	0.11	18	1.00

N: 18

Pruebas de Normalidad en SPSS: Ensayos de Grado de Absorción - Grupo M3

Método: Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-wilk

1.- Hipótesis:

H₀: La variable Grado de Absorción proviene de una población normal.

H₁: La variable Grado de Absorción no proviene de una población normal.

2.- Significancia:

$\alpha = 5\% = 0.05$

		Descriptivos	
		Estadístico	Desv. Error
Grado_Absor_M3	Media	11,1983	0,13327
	95% de intervalo de confianza para la media		
	Límite inferior	10,9172	
	Límite superior	11,4795	
	Media recortada al 5%	11,1943	
	Mediana	11,1500	
	Varianza	0,320	
	Desv. Desviación	0,56542	
	Mínimo	10,25	
	Máximo	12,22	
	Rango	1,97	
	Rango intercuartil	0,93	
	Asimetría	0,152	0,536
	Curtosis	-1,011	1,038

Fuente: Software IBM Statistic Visor.

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Grado_Absor_M3	0.146	18	0.200	0.958	18	0.571

Fuente: Software IBM Statistic Visor.

3.- P - Valor:

$P = 0.571$

4.- Decisión:

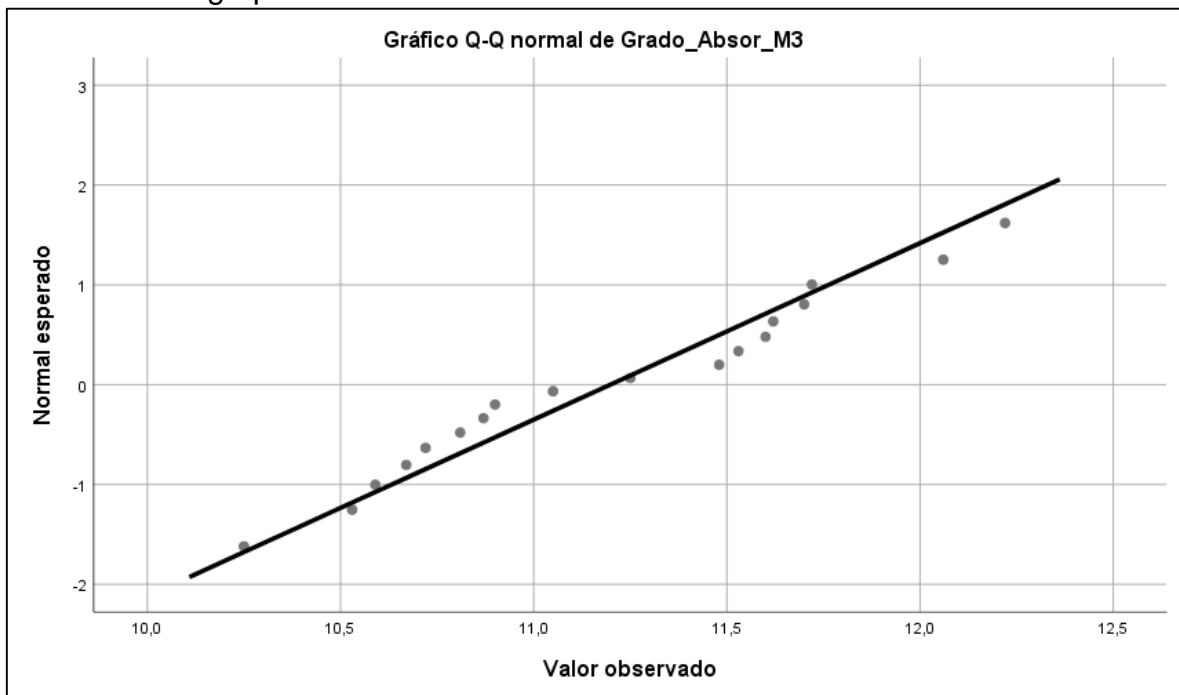
Si $p > \alpha$, entonces aceptamos H₀, Caso contrario aceptamos H₁

$0.571 > 0.05$, esto implica que debemos aceptar H₀.

5.- Conclusión:

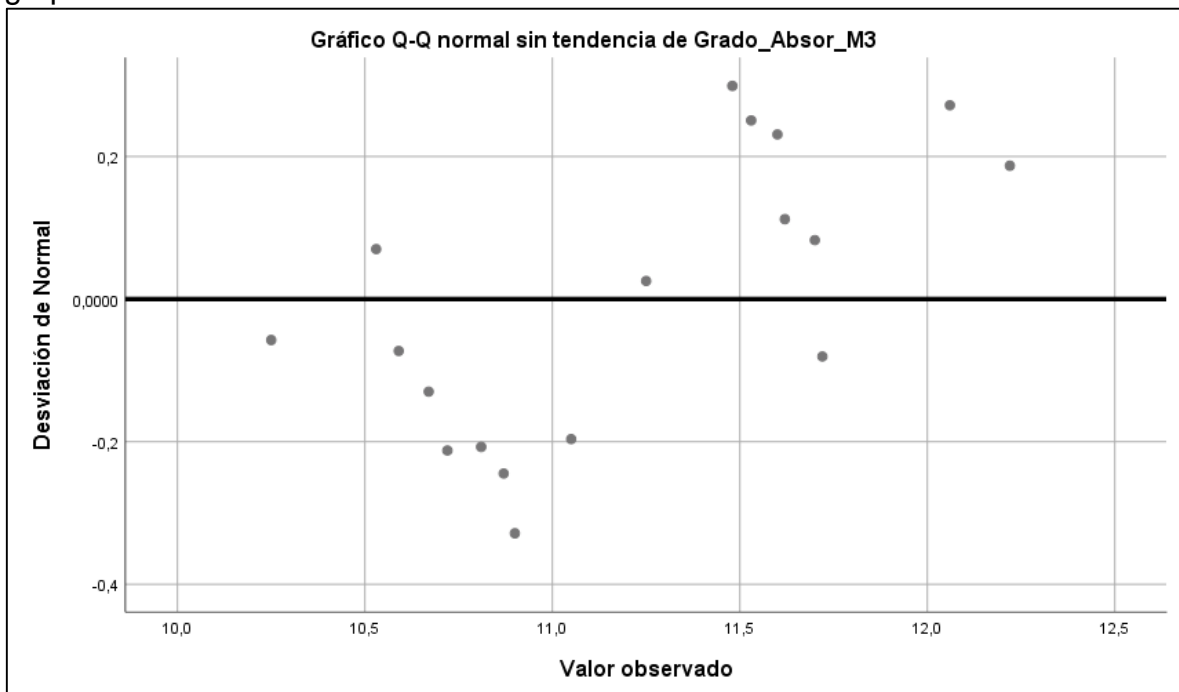
Los resultados de los ensayos del grado absorción SI CUMPLEN con una distribución normal.

Figura 41.- Residuos Vs % de Probabilidad Normal en función al grado de Absorción del grupo M3.



Fuente: Software IBM Statistic Visor.

Figura 42.- Residuos Vs Valor Observado en función al grado de Absorción del grupo M3.



Fuente: Software IBM Statistic Visor.

Pruebas de Normalidad en SPSS: Índice de Vacíos Permeables - Grupo M3

Método: Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-wilk

1.- Hipótesis:

H₀: La variable Índice de Vacíos Permeables proviene de una población normal.

H₁: La variable Índice de Vacíos Permeables no proviene de una población normal.

2.- Significancia:

$$\alpha = 5\% = 0.05$$

		Descriptivos		
		Estadístico	Desv. Error	
Índ_Vac_Perm_M3	Media	14,1478	0,15637	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	13,8179	
		Límite superior	14,4777	
	Media recortada al 5%	14,1459		
	Mediana	14,2200		
	Varianza	0,440		
	Desv. Desviación	0,66342		
	Mínimo	13,15		
	Máximo	15,18		
	Rango	2,03		
	Rango intercuartil	1,24		
	Asimetría	-0,092	0,536	
	Curtosis	-1,116	1,038	

Fuente: Software IBM Statistic Visor.

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Índ_Vac_Perm_M3	0.136	18	0.200	0.941	18	0.296

Fuente: Software IBM Statistic Visor.

3.- P - Valor:

$$P = 0.296$$

4.- Decisión:

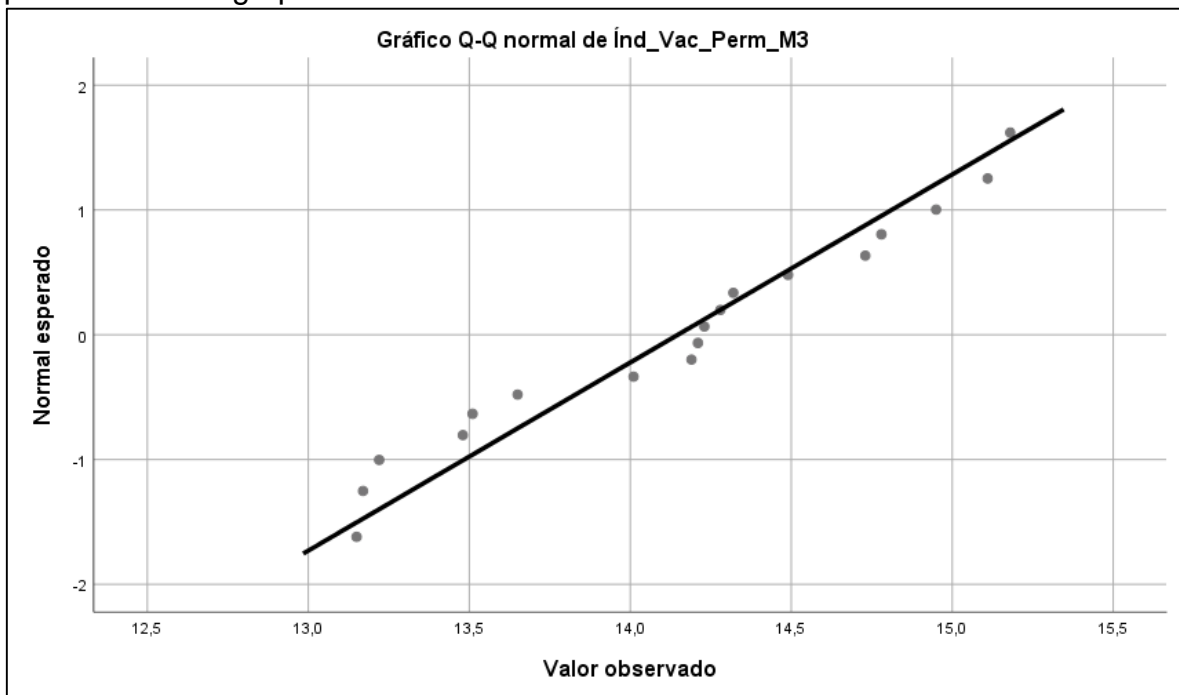
Si $p > \alpha$, entonces aceptamos H₀, Caso contrario aceptamos H₁

0.296 > 0.05, esto implica que debemos aceptar H₀.

5.- Conclusión:

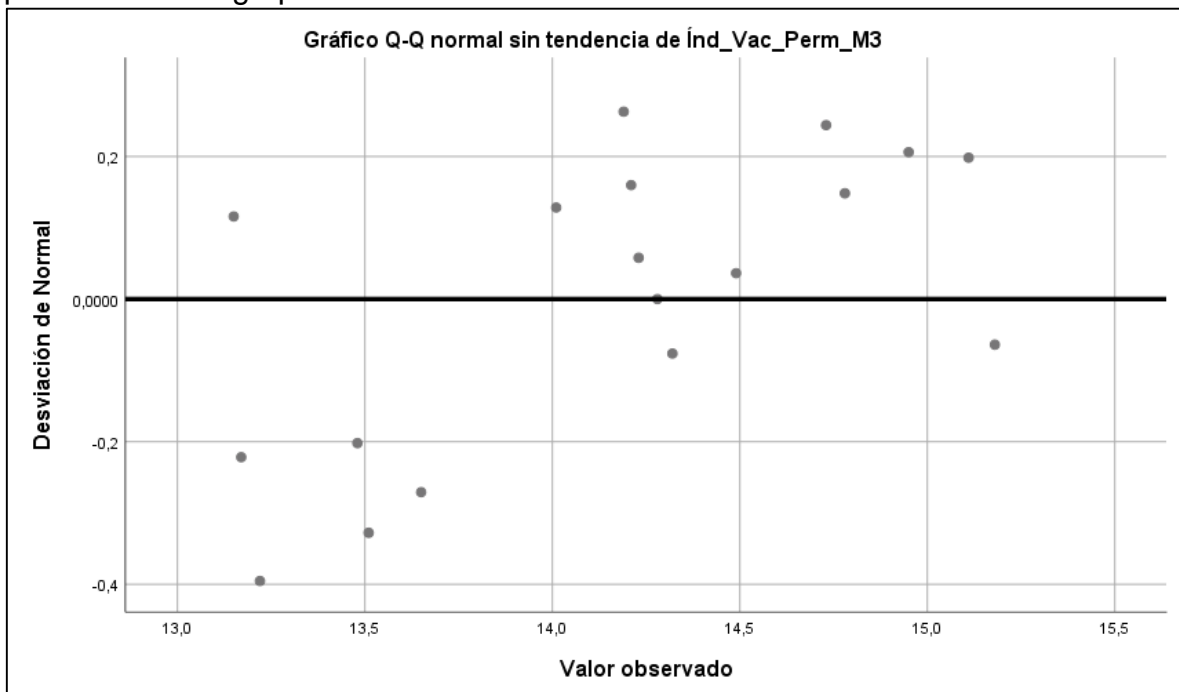
Los resultados del % de índice de vacíos permeables SI CUMPLEN con una distribución normal.

Figura 43.- Residuos Vs % de Probabilidad Normal en función al índice de vacíos permeables del grupo M3.



Fuente: Software IBM Statistic Visor.

Figura 44.- Residuos Vs Valor Observado en función al índice de vacíos permeables del grupo M3.



Fuente: Software IBM Statistic Visor.

Pruebas de Normalidad en SPSS: Capilaridad [gr/(cm²*min)] - Grupo M3

Método: Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-wilk

1.- Hipótesis:

H₀: La variable Capilaridad proviene de una población normal.

H₁: La variable Capilaridad no proviene de una población normal.

2.- Significancia:

$\alpha = 5\% = 0.05$

		Descriptivos	
		Estadístico	Desv. Error
Capilaridad_M3	Media	1,2056E-003	1,43764E-005
	95% de intervalo de confianza para la media		
	Límite inferior	1,1752E-003	
	Límite superior	1,2359E-003	
	Media recortada al 5%	1,2056E-003	
	Mediana	1,2100E-003	
	Varianza	0,000	
	Desv. Desviación	6,09939E-005	
	Mínimo	1,10E-003	
	Máximo	1,31E-003	
	Rango	2,10E-004	
	Rango intercuartil	8,00E-005	
	Asimetría	-0,178	0,536
	Curtosis	-0,641	1,038

Fuente: Software IBM Statistic Visor.

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Capilaridad_M3	0.115	18	0.200	0.968	18	0.755

Fuente: Software IBM Statistic Visor.

3.- P - Valor:

$P = 0.755$

4.- Decisión:

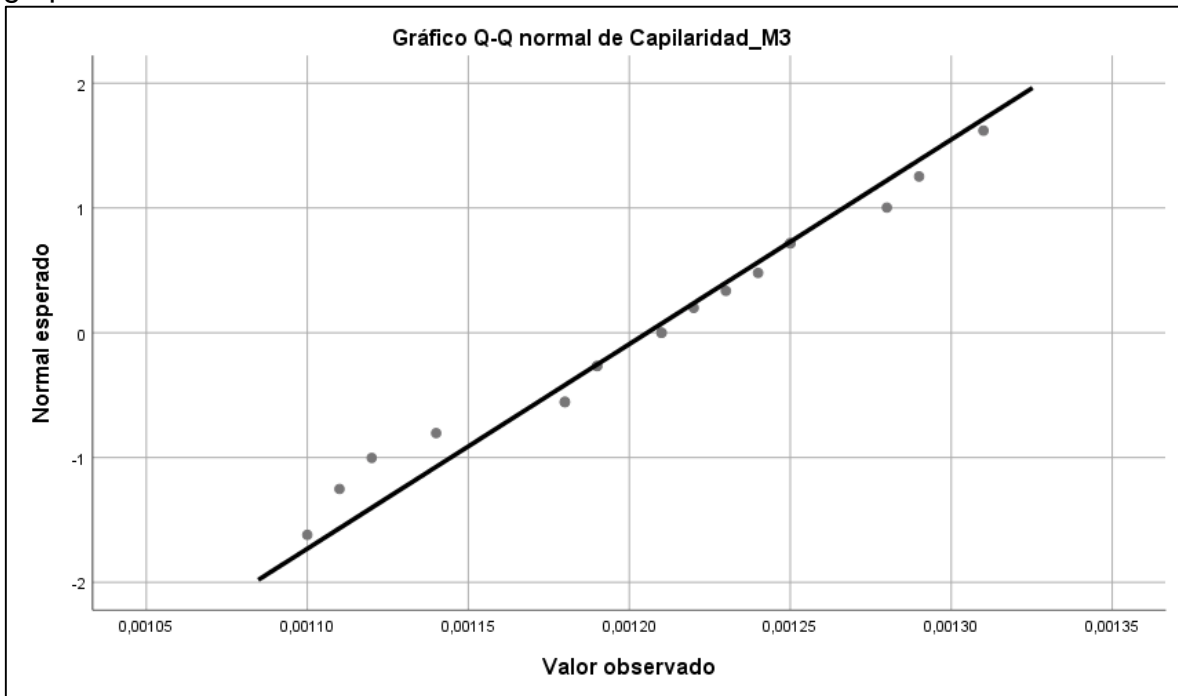
Si $p > \alpha$, entonces aceptamos H₀, Caso contrario aceptamos H₁

$0.755 > 0.05$, esto implica que debemos aceptar H₀.

5.- Conclusión:

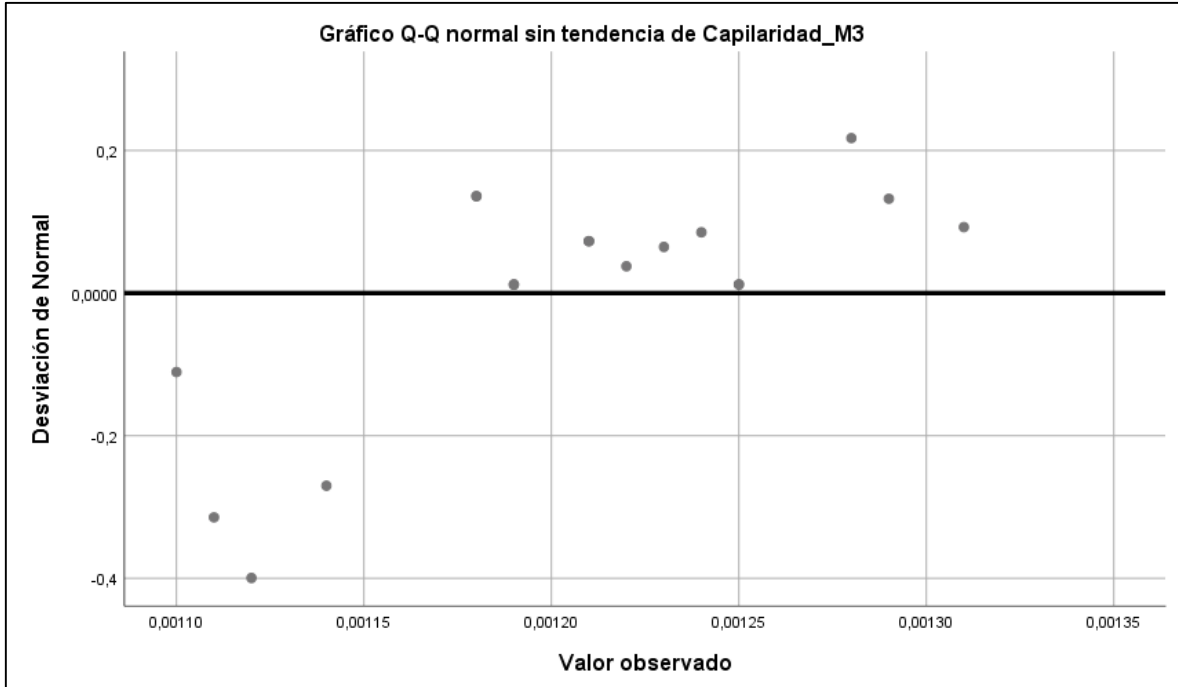
Los resultados de los ensayos de capilaridad, SI CUMPLEN con una distribución normal.

Figura 45.- Residuos Vs % de Probabilidad Normal en función a la Capilaridad del grupo M3.



Fuente: Software IBM Statistic Visor.

Figura 46.- Residuos Vs Valor Observado en función a la Capilaridad del grupo M3.



Fuente: Software IBM Statistic Visor.

Pruebas de Normalidad en SPSS: Permeabilidad (cm/s) - Grupo M3

Método: Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-wilk

1.- Hipótesis:

H₀: La variable Permeabilidad proviene de una población normal.

H₁: La variable Permeabilidad no proviene de una población normal.

2.- Significancia:

$\alpha = 5\% = 0.05$

		Descriptivos		
		Estadístico	Desv. Error	
Permeabilidad_M3	Media	9,1297E-007	1,16635E-008	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	8,8836E-007	
		Límite superior	9,3758E-007	
	Media recortada al 5%	9,1201E-007		
	Mediana	9,1045E-007		
	Varianza	0,000		
	Desv. Desviación	4,94840E-008		
	Mínimo	8,22E-007		
	Máximo	1,02E-006		
	Rango	2,00E-007		
	Rango intercuartil	3,66E-008		
	Asimetría	0,518	0,536	
	Curtosis	1,176	1,038	

Fuente: Software IBM Statistic Visor.

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Permeabilidad_M3	0.176	18	0.146	0.916	18	0.110

Fuente: Software IBM Statistic Visor.

3.- P - Valor:

$P = 0.11$

4.- Decisión:

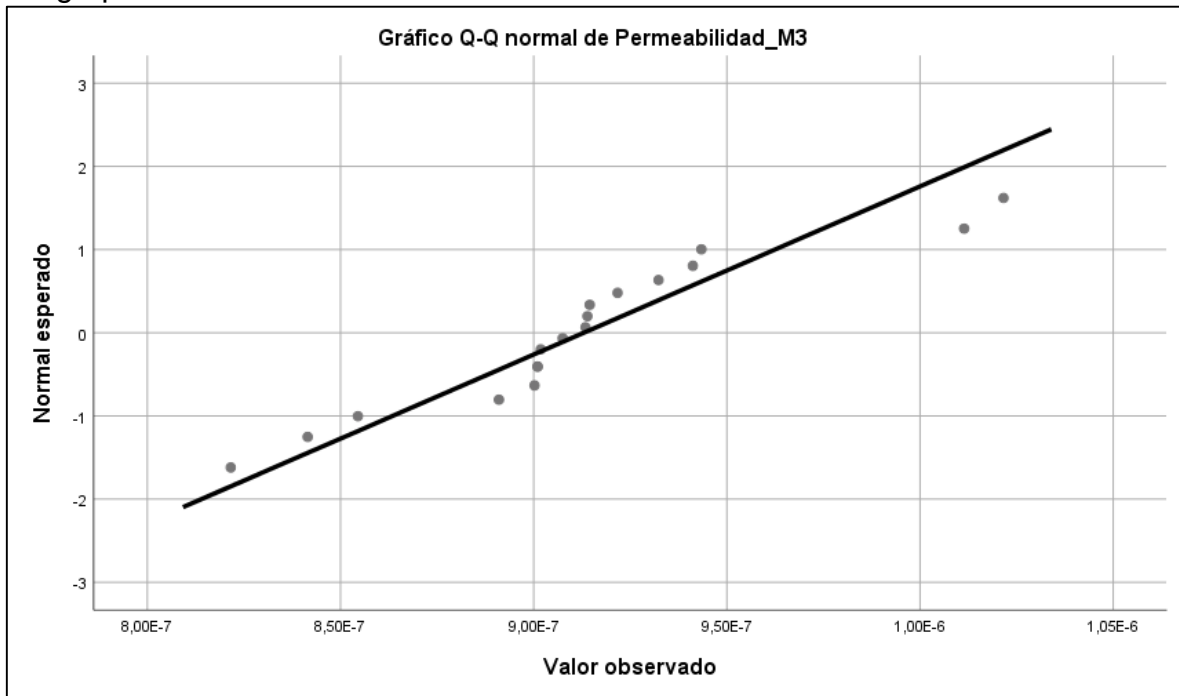
Si $p > \alpha$, entonces aceptamos H₀, Caso contrario aceptamos H₁

$0.11 > 0.05$, esto implica que debemos aceptar H₀.

5.- Conclusión:

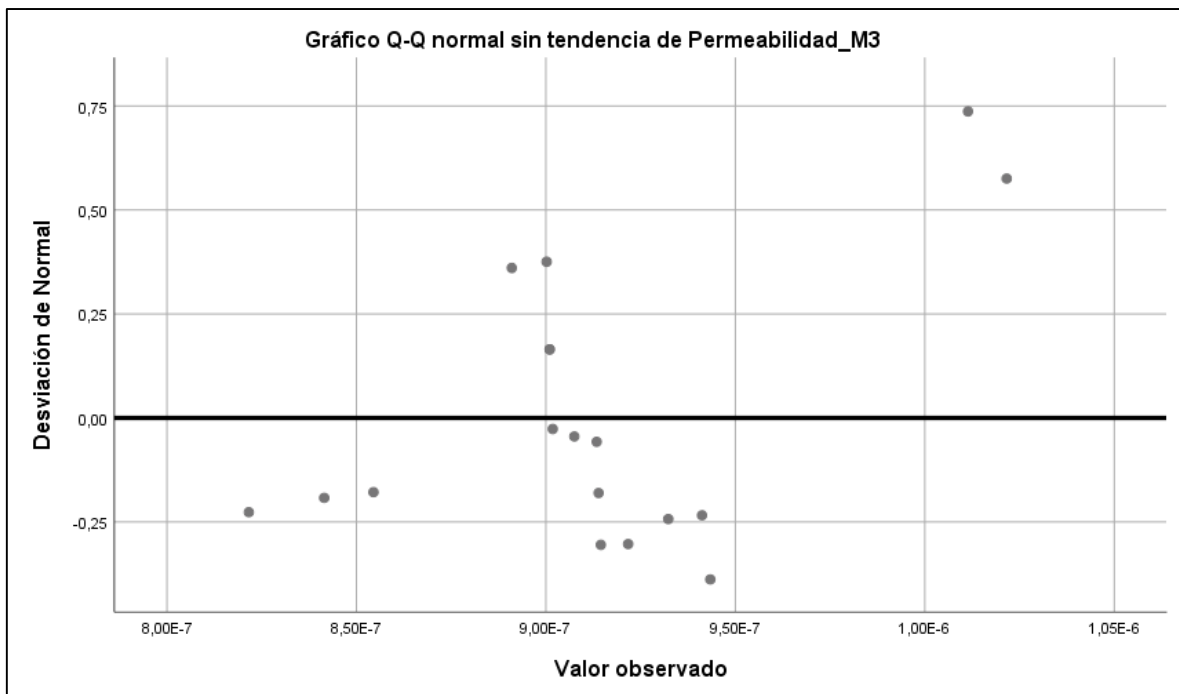
Los resultados de los ensayos de permeabilidad, SI CUMPLEN con una distribución normal.

Figura 47.- Residuos Vs % de Probabilidad Normal en función a la Permeabilidad del grupo M3.



Fuente: Software IBM Statistic Visor.

Figura 48.- Residuos Vs Valor Observado en función a la Permeabilidad del grupo M3.

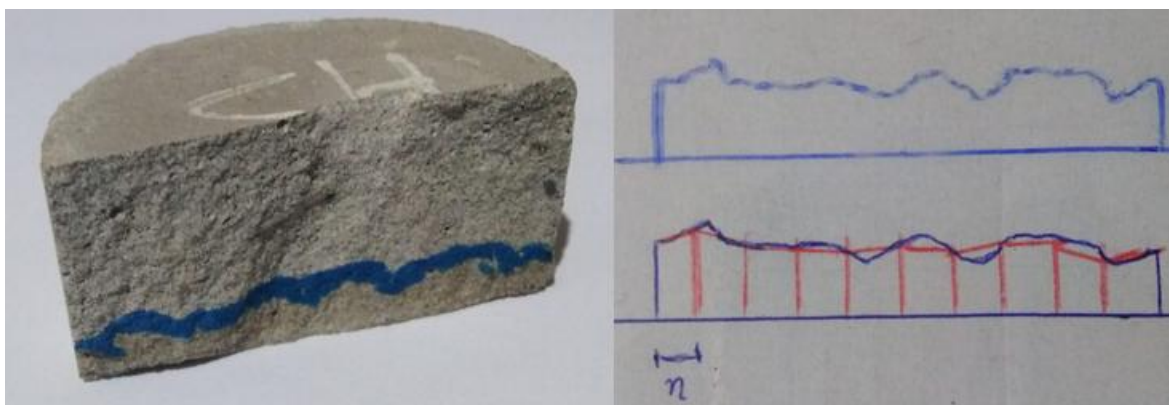


Fuente: Software IBM Statistic Visor.

APÉNDICE C

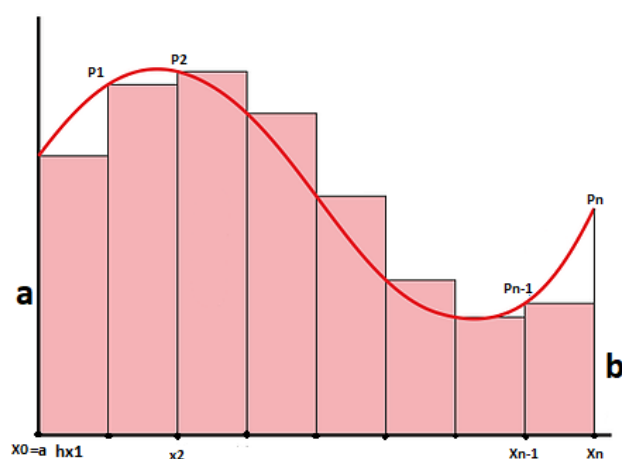
MÉTODO DE LOS TRAPECIOS

Figura 49.- Probeta Fracturada para la aplicación del método de los trapecios.



En la figura 49 se muestra la probeta ensayada, por absorción o permeabilidad, se parte en dos para visualizar el ingreso del agua en el interior, se marca y se calca en una hoja, para determinar el área con el método de los trapecios.

Figura 50.- Integral bajo la curva.



Fuente: Elaboración propia

$$h = \frac{b - a}{n}$$

$$\int_a^b f(x)dx = \int_a^{x_1} f(x)dx + \int_{x_1}^{x_2} f(x)dx + \dots + \int_{x_{n-1}}^b f(x)dx \cong \int_a^{x_1} P1(x)dx + \int_{x_1}^{x_2} P2(x)dx + \dots + \int_{x_{n-1}}^b Pn(x)dx$$

$$= \frac{f(x_0) + f(x_1)}{2} h + \frac{f(x_1) + f(x_2)}{2} h + \dots + \frac{f(x_{n-1}) + f(x_n)}{2} h$$

$$= \frac{h}{2} [f(x_0) + 2f(x_1) + \dots + 2f(x_{n-1}) + 2f(x_n)]$$

$$\int_a^b f(x)dx \cong \frac{h}{2} [f(x_0) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} f(x_i) + f(x_n)] = T_n$$

Estimación del error

$$|T_n - \int_a^b f(x)dx| = \frac{(b-a)^3}{12n^2} R''(\varepsilon), \varepsilon \in [a, b]$$

$$M = \max |f''(\varepsilon)| \Rightarrow \underbrace{\left| T_n - \int_a^b f(x)dx \right|}_{\text{ERROR}} \leq \frac{(b-a)^3}{12n^2} M$$

ERROR

ANEXO 1
ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS ADITIVOS
IMPERMEABILIZANTES

ANEXO 2
PANEL FOTOGRAFICO



Foto 1.- Peso Específico, método de la Fiola al agregado fino.



Foto 2.- Aditivo, cemento, agua y agregado fino pesado según diseño de mezcla, para preparación de probetas.



Foto 3.- Moldes usados para la preparación de probetas de mortero de cemento.



Foto 4.- Ensayo para determinar el grado de absorción.



Foto 5.- Secado al horno de probetas de mortero de cemento.



Foto 6.- curado de probetas de 5 cm de diámetro y materiales para pruebas de permeabilidad.



Foto 7.- Colocación de probeta, sellado y ajuste en columna de ensayo de permeabilidad.



Foto 8.- Ensayo no estandarizado de permeabilidad.