

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



TESIS

**“NUEVA PROPUESTA DE MEDICIÓN EN LA
PERMEABILIDAD DEL CONCRETO”**

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

ELABORADO POR

CALDERÓN BELTRÁN MOISÉS EDISON

ASESOR

Ing. CARLOS BARZOLA GASTELÚ

LIMA - PERÚ

2018

© 2018, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

**“El autor autoriza a la UNI a reproducir de la Tesis en su totalidad o en parte,
con fines estrictamente académicos.”**

Calderón Beltrán, Moisés Edison

mcalderonbe@gmail.com

943058452 – 6210320

DEDICADO A:

A mi Alma Máter la Universidad Nacional de Ingeniería
Los investigadores y nuevas generaciones
Mis seres queridos y a Ramsés mi hijo

AGRADECIMIENTO A:

Ing. Carlos Barzola Gastelu, mi Asesor
Laboratorio de Ensayo de Materiales 01 y 03
A mi madre Guilda
En memoria a Diana y Vidal

Mil gracias por el apoyo en la realización de este trabajo

	Pág.
RESUMEN	4
ABSTRACT	6
PRÓLOGO	7
LISTA DE CUADROS	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS	10
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	11
1.1 GENERALIDADES.	13
1.2 PROBLEMÁTICA	13
1.3 OBJETIVOS	14
1.3.1 Objetivo General	14
1.3.2 Objetivos Específicos.	14
CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO	16
2.1 CEMENTO PORTLAND	16
2.2 AGREGADO FINO	16
2.2.1 Generalidades	16
2.2.2 Peso Unitario del Agregado Fino	17
2.2.3 Peso Específico del Agregado Fino	18
2.2.4 Granulometría del Agregado Fino	19
2.2.5 Contenido de Humedad	20
2.2.6 Módulo de Finura	21
2.2.7 Superficie Específica	21
2.2.8 Porcentaje de Absorción	22
2.3 AGREGADO GRUESO	22
2.3.1 Generalidades del Agregado Grueso	22
2.3.2 Peso Unitario del Agregado Grueso	23
2.3.3 Peso Específico	25
2.3.3.1 <i>Peso Específico de Masa(P.E.M)</i>	25
2.3.3.2 <i>Peso de Masa Saturada Superficialmente Seca</i>	26
2.3.3.3 <i>Peso Específico Aparente</i>	26
2.3.4 Granulometría	27
2.3.5 Contenido de Humedad	28
2.3.6 Módulo de Finura	29
2.3.7 Superficie Específica	29

2.3.8	Porcentaje de Absorción	29
2.4	AGUA PARA EL CONCRETO	30
2.5	EQUIPO DE MEZCLADO	31
2.6	ENCOFRADO	32

CAPÍTULO III: LA PERMEABILIDAD

3.1	DEFINICIÓN DE PERMEABILIDAD	33
3.2	FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PERMEABILIDAD	34
3.2.1	Materiales Constituyentes	35
3.2.2	Procesos de Transformación	36
3.2.3	Elementos de Contención y Moldeo	37
3.2.4	Cuidados en el Concreto	38
3.3	MÉTODOS DE MEDICIÓN REFERIDOS A LA PERMEABILIDAD	39
3.3.1	Norma americana AASHTO 125-66 ASTM 2432; coeficiente De permeabilidad a presión constante	39
3.3.2	Norma europea UNE-EN 121390-8; profundidad de Penetración de agua bajo presión	40
3.3.3	Norma americana ASSTHO T277-15, ASTM C1202-12; Permeabilidad del ion cloruro	41
3.3.4	Norma Chilena NCh 2262; Profundidad de penetración de Agua bajo presión	42
3.3.5	Norma Colombiana NTC 4483; Método para determinar la Permeabilidad del concreto al agua	42
3.3.6	Tesis Uni; Ensayos de permeabilidad, manual de pruebas del Bureau of Reclamation, por el Ing. Idalesio Médranos Busios	42
3.3.7	Norma peruana NPT 339.041; Ensayos de permeabilidad en tubos de concreto simple	44
3.4	PROPUESTA DE MEDICIÓN	45
3.4.1	Diseño del Permeámetro	48
3.4.2	Construcción de la Cápsula de Presión	51
3.4.3	Manual de Operaciones	53

CAPÍTULO IV: DISEÑO DE MEZCLAS

4.1	GENERALIDADES	55
4.2	DISEÑO DE MEZCLA CON RELACION AGUA CEMENTO 0.70	59
4.3	DISEÑO DE MEZCLA CON RELACION AGUA CEMENTO 0.60	59
4.4	DISEÑO DE MEZCLA CON RELACION AGUA CEMENTO 0.50	60

4.5	DISEÑO DE MEZCLA CON RELACION AGUA CEMENTO 0.45	61
CAPÍTULO V: PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO		
5.1	INTRODUCCION	62
5.2	ASENTAMIENTO	62
5.3	EXTENSIBILIDAD DE LA MEZCLA	62
5.4	CONTENIDO DE AIRE	63
5.5	TIEMPO DE FRAGUADO	65
5.6	EXUDACION	65
5.7	PESO UNITARIO	66
CAPÍTULO VI: PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO.		
6.1	INTRODUCCION	67
6.2	RESISTENCIA A LA COMPRESION	67
6.3	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	68
6.4	MODULO DE ELASTICIDAD	69
6.5	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD	70
CAPÍTULO VII: PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO.		
7.1	AGREGADOS	93
7.2	ELABORACION DE CONCRETO	94
7.3	CONCRETO EN EL ESTADO FRESCO	95
7.4	CONCRETO EN EL ESTADO ENDURECIDO	99
CONCLUSIONES		107
RECOMENDACIONES		111
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		112
ANEXOS		113

RESUMEN

El presente texto describe la investigación lograda en la medición de la permeabilidad del concreto, un procedimiento para cuantificar la capa mojada que el concreto experimenta ante una presión hidráulica constante de agua, el tiempo que demora y el caudal efectivo que necesita para atravesarlo, aplicando los criterios de permeabilidad propuesto por el ingeniero francés Henry Philibert Gaspard Darcy.

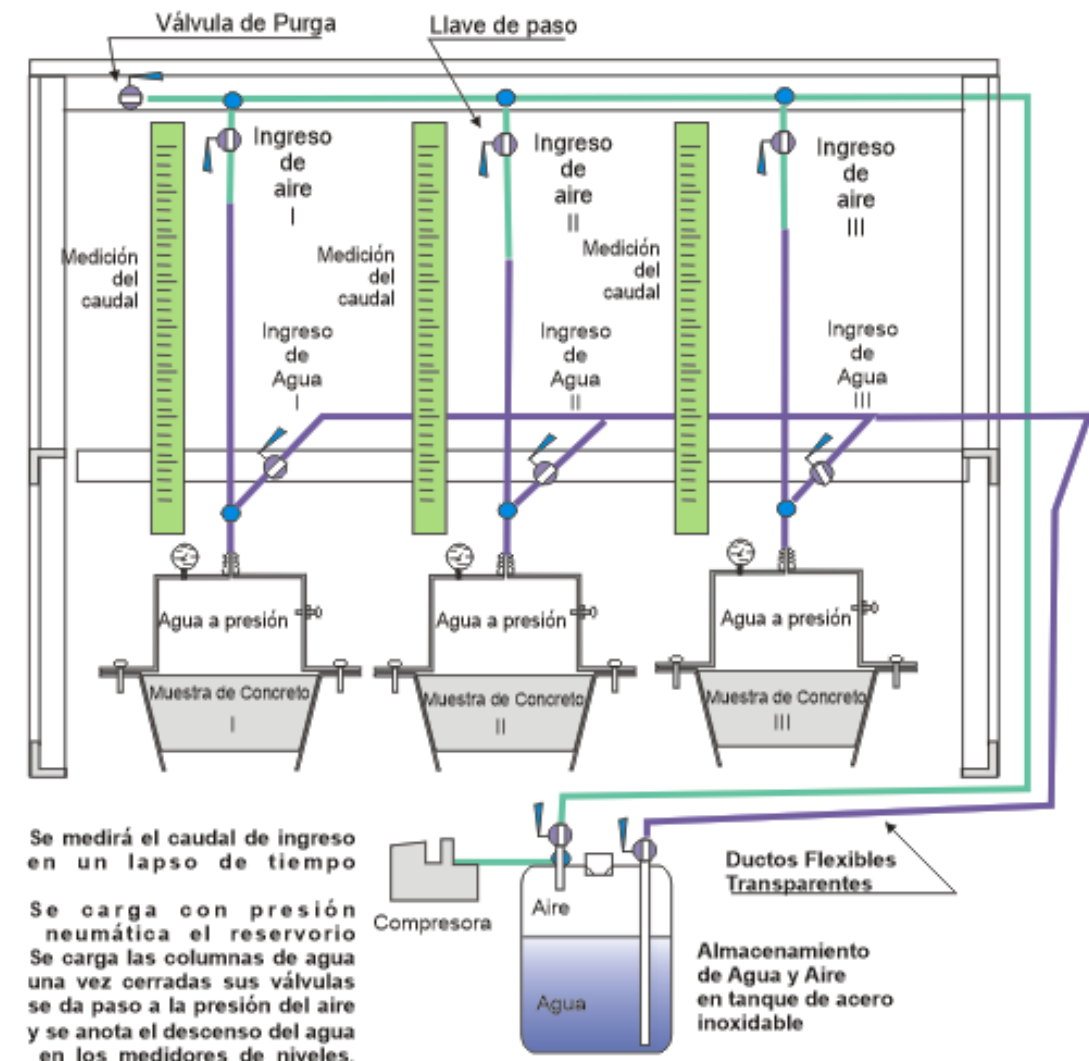
La presente tesis estudia al concreto normal de mediana y baja resistencia analizando 04 muestras de concreto aumentando progresivamente su concentración de cemento con las relaciones agua – cemento de 0.70, 0.60, 0.50, y 0.45 para determinar la permeabilidad característica de dichas muestras.

El examen de permeabilidad consiste en someter a la muestra de concreto que ha cumplido un curado bajo agua por 28 días a una presión de confinamiento unidireccional de 50 metros de columna de agua cumpliendo la edad de 28 días curados bajo agua. El equipo de sujeción y medición para la permeabilidad fue diseñado y fabricado por el investigador.

Se ha analizado los diversos métodos de medición como norma Europea UNE-EN 12390-8 Profundidad de penetración de agua bajo presión, Norma Chilena NCh 2262; Método de la penetración de agua bajo presión; Norma Colombiana NTC 4483; Método para determinar la permeabilidad del concreto al agua, que confirman la necesidad y valoración cuantitativa de dicha constante de rugosidad hidráulica

Los principales resultados de medición de la permeabilidad siguiendo la nueva propuesta alcanzan un coeficiente de permeabilidad K comprendido $1E-6$ (m/s) y $1E-12$ (m/s) clasificándolo mediante AASTHO T125 como material “prácticamente impermeable” a los concretos A/C: 0.70, 0.50, 0.45 y un reducido grupo de concreto A/C: 0.60 como material “impermeable”.

Equipo de medición de la permeabilidad con muestras de concreto



ABSTRACT

This text describes the research achieved in measuring the permeability of concrete, a procedure to quantify the wet layer that the concrete undergoes with a constant hydraulic pressure of water, the time it takes and the effective flow it needs to pass through it, applying the Permeability criteria proposed by the French engineer Henry Philibert Gaspard Darcy.

This thesis studies the normal concrete of medium and low resistance analyzing 04 concrete samples progressively increasing its concentration of cement with the water - cement ratios of 0.70, 0.60, 0.50, and 0.45 to determine the permeability characteristic of these samples.

The permeability test consists of submitting to the concrete sample that has been cured under water for 28 days at a unidirectional confining pressure of 50 meters of water column, reaching the age of 28 days cured under water. The clamping and measuring equipment for permeability was designed and manufactured by the researcher.

The different measurement methods have been analyzed as European standard UNE-EN 12390-8 Depth of penetration of water under pressure, Chilean Standard NCh 2262; Method of water penetration under pressure; Colombian Standard NTC 4483; Method to determine the permeability of concrete to water, which confirm the need and quantitative assessment of said hydraulic roughness constant

The main results of measurement of permeability following the new proposal reach a coefficient of permeability K comprised $1E-6$ (m / s) and $1E-12$ (m / s) classified by AASTHO T125 as material "practically impermeable" to concrete A / C: 0.70, 0.50,0.45 and a small group of concrete A / C: 0.60 as "impermeable" material.

PRÓLOGO

Con mucha satisfacción he de presentar la investigación referida a la medición de la permeabilidad del concreto y que tuviera lugar con motivo de la búsqueda de índices o constantes que nos acerquen a la conservación de los elementos de concreto.

La investigación se apoya en la teoría de Darcy el cual describe el movimiento del agua en medios porosos que en nuestro caso es el concreto se trata de medir la constante experimental que requiere su fórmula matemática, en este esfuerzo destacamos la innovación tecnológica de construir un equipo que realice esencialmente la filtración del agua al concreto y de manera adelantada obtener la capa comprometida en esta prueba, las respuestas alcanzadas servirán de comparación a condiciones similares.

El desarrollo del presente trabajo pone a prueba 04 tipos de concreto normales con relaciones A/C 0.70, 0.60, 0.50 y 0.45 para los cuales se determinará el caudal de filtración a una determinada presión hidráulica de confinamiento programada en 50 metros de columna de agua.

Se revisaron las propiedades físicas y mecánicas de cada uno de los concretos extendiéndose a la prueba hidráulica de permeabilidad.

CARLOS BARZOLA GASTELÚ
ASESOR
DOCENTE UNI - FIC

LISTA DE CUADROS

	pag.	
Cuadro N° 1	Peso unitario suelto del agregado fino	17
Cuadro N° 2	Peso unitario compactado del agregado fino	18
Cuadro N° 3	Determinación del peso específico del agregado fino	19
Cuadro N° 4	Granulometría del agregado fino	20
Cuadro N° 5	Contenido de humedad del agregado fino	20
Cuadro N° 6	Superficie específica del agregado fino	22
Cuadro N° 7	Peso unitario suelto del agregado grueso	24
Cuadro N° 8	Peso unitario compactado del agregado grueso.	25
Cuadro N° 9	Peso específico del agregado grueso	27
Cuadro N° 10	Granulometría del agregado grueso	28
Cuadro N° 11	Contenido de humedad del agregado grueso	28
Cuadro N° 12	Superficie específica del agregado grueso	29
Cuadro N° 13	Evaluación de la permeabilidad según el paso de corriente	41
Cuadro N° 14	Propiedades del agregado fino	56
Cuadro N° 15	Propiedades del agregado grueso	57
Cuadro N° 16	peso unitario de la combinación de los agregados	57
Cuadro N° 17	Dosificación de mezcla para concreto por m ³	58
Cuadro N° 18	Resumen de tiempos de fragua inicial y final	63
Cuadro N° 19	Valores de porcentaje de aire atrapado	64
Cuadro N° 20	Resumen de tiempos de fragua inicial y final	65
Cuadro N° 21	Valores de exudación	66
Cuadro N° 22	Valores de peso unitario para el concreto fresco	66
Cuadro N° 23	Valores de resistencia a la compresión según edad	68
Cuadro N° 24	Valores de tracción por compresión diametral	69
Cuadro N° 25	Valores de módulo elástico para cada tipo de mezcla	70
Cuadro N° 26	Clasificación de la permeabilidad según K de Darcy	72
Cuadro N° 27	Estimación del vacío hidráulico inicial	72
Cuadro N° 28	Estimación del vacío hidráulico en muestras de diseño C070	73
Cuadro N° 29	Estimación del vacío hidráulico en muestras de diseño C060	73
Cuadro N° 30	Estimación del vacío hidráulico en muestras de diseño C050	74
Cuadro N° 31	Estimación del vacío hidráulico en muestras de diseño C045	74
Cuadro N° 32	Conclusión porcentual del vacío hidráulico en muestras de concreto endurecido de 28 días de edad	74
Cuadro N° 33	Coeficiente de permeabilidad en muestra C070-1	75
Cuadro N° 34	Coeficiente de permeabilidad en muestra C070-2	76
Cuadro N° 35	Coeficiente de permeabilidad en muestra C070-3	77
Cuadro N° 36	Coeficiente de permeabilidad en muestra C060-1	78
Cuadro N° 37	Coeficiente de permeabilidad en muestra C060-2	79
Cuadro N° 38	Coeficiente de permeabilidad en muestra C060-3	80

Cuadro N° 39	Coeficiente de permeabilidad en muestra C050-1	81
Cuadro N° 40	Coeficiente de permeabilidad en muestra C050-2	82
Cuadro N° 41	Coeficiente de permeabilidad en muestra C050-3	83
Cuadro N° 42	Coeficiente de permeabilidad en muestra C050-4	84
Cuadro N° 43	Coeficiente de permeabilidad en muestra C050-5	85
Cuadro N° 44	Coeficiente de permeabilidad en muestra C050-6	86
Cuadro N° 45	Coeficiente de permeabilidad en muestra C050-7	87
Cuadro N° 46	Coeficiente de permeabilidad en muestra C050-8	88
Cuadro N° 47	Coeficiente de permeabilidad en muestra C050-9	89
Cuadro N° 48	Coeficiente de permeabilidad en muestra C045-1	90
Cuadro N° 49	Coeficiente de permeabilidad en muestra C045-2	91
Cuadro N° 50	Coeficiente de permeabilidad en muestra C045-3	92
Cuadro N° 51	Características de los agregados	93
Cuadro N° 52	Mediciones realizadas de K, capa permeada y % de vacíos hidráulicos	104
Cuadro N° 53	Desempeño promedio de K, capa permeada y comparación	105
Cuadro N° 54	Comparación final de la permeabilidad del concreto	106

LISTA DE FIGURAS

	Pág.	
Figura N° 1	Permeabilidad presión constante	40
Figura N° 2	Permeámetro K-900	44
Figura N° 3	Progreso de la permeabilidad	46
Figura N° 4	Permeámetro de Investigación	48
Figura N° 5	Elemento principal del permeámetro de investigación	50
Figura N° 6	Curva granulométrica del agregado fino según ASTM C 33	55
Figura N° 7	Curva granulométrica del agregado grueso según ASTM C 33	56
Figura N° 8	Peso unitario compactado de la combinación de los agregados	57
Figura N° 9	Cono de abrams; asentamiento del concreto fresco	62
Figura N° 10	Mesa de prueba de fluidez	63
Figura N° 11	Equipo de prueba del contenido de aire en el concreto fresco	64
Figura N° 12	Moldes metálicos para muestras de concreto y permeabilidad	67
Figura N° 13	Evaluación de la permeabilidad en C070-1	75
Figura N° 14	Evaluación de la permeabilidad en C070-2	76
Figura N° 15	Evaluación de la permeabilidad en C070-3	77
Figura N° 16	Evaluación de la permeabilidad en C060-1	78
Figura N° 17	Evaluación de la permeabilidad en C060-2	79
Figura N° 18	Evaluación de la permeabilidad en C060-3	80
Figura N° 19	Evaluación de la permeabilidad en C050-1	81
Figura N° 20	Evaluación de la permeabilidad en C050-2	82
Figura N° 21	Evaluación de la permeabilidad en C050-3	83
Figura N° 22	Evaluación de la permeabilidad en C050-4	84
Figura N° 23	Evaluación de la permeabilidad en C050-5	85
Figura N° 24	Evaluación de la permeabilidad en C050-6	86
Figura N° 25	Evaluación de la permeabilidad en C050-7	87
Figura N° 26	Evaluación de la permeabilidad en C050-8	88
Figura N° 27	Evaluación de la permeabilidad en C050-9	89
Figura N° 28	Evaluación de la permeabilidad en C045-1	90
Figura N° 29	Evaluación de la permeabilidad en C045-2	91
Figura N° 30	Evaluación de la permeabilidad en C045-3	92
Figura N° 31	Curva granulométrica del agregado global 44.6%Ar y 55.4% Pd	94
Figura N° 32	Dosificaciones y mezclas empleadas	95
Figura N° 33	Consistencia de los tipos de mezclas	95
Figura N° 34	Contenido del aire atrapado	96
Figura N° 35	Tiempo de fragua; desempeño	96
Figura N° 36	Tiempo de fraga; conclusión	97
Figura N° 37	Exudación de C070	97
Figura N° 38	Exudación de C060	98

Figura N° 39	Exudación de C050	98
Figura N° 40	Exudación de C045	98
Figura N° 41	Exudación y vacío hidráulico por exudación respecto al peso seco de la mezcla	99
Figura N° 42	Peso unitario del concreto en estado fresco	99
Figura N° 43	Desempeño de la resistencia a la compresión	100
Figura N° 44	Resistencia a la tracción por compresión diametral	100
Figura N° 45	Módulo de elasticidad.	101
Figura N° 46	Equipo de medición de la permeabilidad: capsulas	101
Figura N° 47	Equipo de medición de la permeabilidad y muestras de concreto	102
Figura N° 48	Recolección y registro de permeabilidad en el concreto	102
Figura N° 49	Porcentaje de Vacío hidráulico promedio	103
Figura N° 50	Coefficiente de Darcy del concreto (K) vs relación A / C	105

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

SÍMBOLO:

%:	Porcentaje.
”:	Pulgada.
+/- :	Más o menos.

SIGLA:

a/c :	Relación agua/cemento en peso.
ASTM:	American Society for Testing and Materials.
cc:	Centímetro cúbico.
cm.:	Centímetros.
cm2:	Centímetros cuadrados.
CV:	Coefficiente de variación.
f'c :	Resistencia a la compresión.
gr:	Gramos.
hr. :	Hora.
kg.:	Kilógramos.
Kg/cm2:	Kilógramo por centímetro cuadrado.
Kg/m3:	Kilógramo por metro cúbico.
Lb/pulg2:	Libra por pulgada cuadrada.
m3:	Metro cúbico.
ml:	Mililitro.
min.:	Minutos.
mm.:	Milímetros.
NTP :	Norma Técnica Peruana.
P.U.S.:	Peso unitario suelto.
P.U.C.:	Peso unitario compactado.
pulg2:	Pulgadas cuadradas.
seg.:	Segundos.
t :	Tiempo.
T.F.I.:	Tiempo de fragua inicial.
T.F.F.:	Tiempo de fragua final.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES.

La presente tesis estudia al concreto en el papel de conductor del agua basado en la necesidad de conocer cuál es el alcance o zona comprometida en los problemas de humedecimiento forzoso o inundación de los elemento de concreto, tomando una presión hidráulica de confinamiento unidireccional.

El objeto de esta tesis es verificar las mediciones de los diferentes ingredientes que toma en consideración el experimento de Darcy para hallar la constante de corrección hidráulica para el concreto, estudiándose 04 tipos de concreto a 28 días de edad y curados por inmersión en agua.

1.2 PROBLEMÁTICA.

El concreto es un material que gracias a la plasticidad en su forma inicial y a la resistencia en su forma sólida es frecuentemente utilizado en la construcción.

La calidad del concreto es clasificada y medida por su resistencia mecánica, pero en su desempeño a lo largo del tiempo poco o casi nada se ha podido argumentar; los ensayos de durabilidad en el concreto son en resúmenes comparativos y descriptivos.

Innumerables investigadores han tratado de analizar el paso del agua en el concreto con los principios de permeabilidad y en la actualidad no se ha tiene una norma que emplee el resultado de las experiencias alcanzadas.

El paso del agua en el concreto permite el transporte de sustancias dañinas al interior del concreto tales como las sales y los sulfatos para el cual se desarrollará el análisis de Darcy tomando como conductor al concreto y agente permeable al agua potable.

En la actualidad se utiliza la norma AASHTO 125 para la medición de la permeabilidad a presión constante en los suelos; la norma europea UNE-EN 12390-8 de Profundidad de penetración de agua bajo presión en el concreto; la norma Chilena NCh 2262, Método de la penetración de agua bajo presión en el concreto; la norma Colombiana NTC 4483, Método para determinar la permeabilidad del concreto; y la NTP 339.041, Ensayo de permeabilidad en tubos

de concreto; los cuales reportan resultados comparativos descriptivos a excepción de la norma AASHTO que reporta un resultado analítico.

1.3 OBJETIVOS

El objetivo principal verificar y conseguir resultados propios del coeficiente de permeabilidad en los concretos normales de mediana y baja resistencia medidas en muestras que cumplen 28 días de edad y con el óptimo cuidado de hidratación con el curado bajo agua.

La prueba hidráulica será sobre la superficie de la muestra de concreto que resulta de un encofrado metálico liso.

1.3.1 Objetivo General

El concreto manifiesta una absorción natural a los líquidos del cual no se conoce el comportamiento de dicha transmisión de líquidos ya sea por gravedad o presión forzada, por el que se define como objetivo principal obtener una constante de corrección experimental ante el tránsito del agente permeante a través del cuerpo de concreto apoyados en la teoría de Darcy el cual estudió estos comportamientos para los suelos.

La presente investigación pretende medir el coeficiente de permeabilidad del concreto sobre una variedad de cuatro concretos, los cuales están diferenciados por la relación A/C a fin de compararlos y comparar su desempeño frente a los resultados registrados por los materiales del tipo de suelo que encontramos en las fuentes bibliográficas.

1.3.2 Objetivos Específicos

En la búsqueda de la medición de la permeabilidad la presente tesis ha realizado dos requisitos; una para la elaboración del concreto de prueba y otra para la elaboración del instrumento que ha de medir esta propiedad debido a que no se cuenta con un procedimiento ni un equipo que cumpla con los lineamientos de Darcy motivo por el cual se precisó cumplir los siguientes objetivos:

Para la elaboración del concreto de prueba:

- Identificar las propiedades del cemento.
- Identificar las propiedades físicas del agregado fino.
- Identificar las propiedades físicas del agregado grueso.
- Desarrollar las técnicas de diseño de mezcla; agregado global.
- Obtención de las muestras de concreto; fresco y endurecido.
- Ejecución de las diversas pruebas de desempeño para el concreto fresco.
- Curado y maduración en las muestras de concreto endurecido.

- Ejecución de las diversas pruebas de desempeño para el concreto endurecido.

Para la elaboración del instrumento de medición de la permeabilidad el investigador precisó cumplir con los siguientes objetivos:

- Diseño y construcción de un compartimento de sello lateral practico.
- Diseño y construcción del arnés de conexiones.
- Pruebas mecánicas de capacidad hidráulica de la cápsula de prueba.
- Diseño y construcción del dispositivo de carga hidráulica.
- Medición del caudal de filtración y el respectivo tiempo consumido.
- Determinación de la porosidad del concreto no afecto del agua en lo que se denominará vacío hidráulico del concreto.
- Determinación del coeficiente de permeabilidad.
- Comparaciones de uniformidad de resultados.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 CEMENTO PORTLAND.

Es un aglomerante hidrófilo que debe su nombre a la piedra de portland, fue descubierto por Joseph Aspin (1824) quien pulveriza la caliza arcillosa a 1,300 grados Celsius y obtiene un elemento que llamamos Clinker el que se muele hasta obtener un polvo muy fino que al tomar contacto con el agua adquiere propiedades resistentes y adherentes dicho material lo llamamos cemento.

Se fabrican cinco tipos de cemento, en la presente tesis se utilizó el cemento Sol tipo I el cual cumple con la norma técnica peruana NTP 334.009

Las características físicas de este material son:

- Peso Específico del cemento es de 3.150 kg / l determinada por el método del frasco volumétrico de Le Chatelier.
- Densidad Aparente es de 1.5 kg/Litro.
- Peso unitario Suelto es de 1.139Kg/Litro.
- Resistencia a la compresión de una pasta de cemento es de 269 Kg / cm² a los 3 días; 331 Kg / cm² a los 7 días y 392 Kg / cm² a los 28 días.

Fuente: Cementos Lima S.A., "Información de Control de Calidad del Cemento Sol", Lima, 2011

La condición de almacenamiento del cemento fue; el reembolsando nuevamente del material usándose bolsas plásticas, apilándose en unidades no mayor de 10 bolsas bajo techo y aisladas del suelo.

2.2 AGREGADO FINO

2.2.1 Generalidades

Se define agregado a aquellos elementos inertes ante el cemento y el agua que son aglomerados por la pasta de cemento para formar en conjunto una materia resistente al que lo llamamos concreto.

Para tener un óptimo control del agregado se procede a separar las partes gruesas de las partes finas definiendo al agregado fino como el material que pasa al 100 % por la malla de 3/8". Para su identificación y clasificación se utilizó mallas cuadrículadas en dimensiones normalizadas con referencia al análisis para el concreto, las mallas utilizadas son: 3/8", No 4, No 8, No 16, No 30, No 50, No 100, y No 200 que corresponden a una abertura de: 9.50 mm, 4.75 mm, 2.36 mm, 1.18 mm, 0.60 mm, 0.30 mm, 0.15 mm y 0.0737 mm respectivamente.

La estabilidad y dureza de sus partículas es analizada por el ensayo de desgaste el cual no se ha realizado en este estudio.

Las propiedades del agregado fino determinan el anclaje para las partículas gruesas destinadas al concreto, dentro de las partículas del agregado fino destaca la porción que se retiene en las malla N° 100 al N° 200 el cual no debe pasar el 10% de la muestra el cual perjudica la calidad del concreto, un examen adicional para los agregados finos es determinar contenido de sales que pudiera admitirse el cual para este estudio no se determinó.

Es el agregado fino utilizado en esta investigación fue de la cantera LA MOLINA, material que pasa la malla 3/8" de origen natural de color amarillo.

2.2.2 Peso Unitario del Agregado Fino

Es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen del recipiente que lo contenga, dicho recipiente es de una forma geométrica básica en interpretación de la Norma Técnica Peruana **400.017**, ASTM C 29 y que adicionalmente si se compacta se obtiene el Peso Unitario Compactado (PUC).

Peso Unitario Suelto del Agregado Fino.- Se toma una muestra del árido y se calcula el coeficiente del peso de este y se divide entre el volumen del recipiente, se necesita que el recipiente sea de forma cilíndrica con un volumen de $1/10 \text{ Pie}^3$ equivalente a 2.8 L. y en donde no se efectúa algún tipo de compactación. Se realizó el siguiente procedimiento (ver cuadro N°1):

- Utilizar el balde metálico de $1/10 \text{ Pie}^3$; seco y limpio.
- Llenar el balde metálico con el agregado en un solo proceso.
- Después de enrasar hallar el peso del agregado.
- Hallar el volumen de agua que ocupó dicho agregado en el balde.
- El PUS es el cociente del peso y volumen.

Se toma como referencia que el volumen de agua en cm^3 es numéricamente igual al peso de esta en gr. Si no sucede esto calibrar la balanza.

Cuadro N° 1: Peso Unitario Suelto del Agregado fino.

ENSAYO		No 1	No 2	No 3
A	Peso de Arena Suelta + Vasija gr	10,460	10,444	10,461
B	Peso de la Vasija gr	2,814	2,814	2,814
C	Peso de Arena Suelta gr	7,646	7,630	7,647
D	Constante $1/(1/10 \text{ pie}^3)$ cc	5,856	5,856	5,856
E	Peso unitario suelto (C/D) 1000 Kg/m ³	1,306	1,303	1,306
PESO UNITARIO SUELTO		1,305	Kg/m ³	

Elaboración propia

Peso Unitario Compactado del Agregado Fino.- Al igual que la definición anterior, el Peso Unitario Compactado se obtiene con un procedimiento adicional de compactación, se utiliza el mismo recipiente que el procedimiento de Peso unitario Suelto, se hallará el cociente del agregado compactado en la vasija y el volumen que ocupó, se procedió de la forma siguiente:

- Se utiliza el balde de 1/10 Pie³ Seco y limpio.
- Se llena el balde en tres capas y veinticinco golpes por capa con una varilla lisa de 5/8" de punta semiesférica, la última capa se llena por exceso.
- Se halla el peso del agregado después de enrasado.
- Se halla el volumen de agua que ocupa dicho agregado compactado y enrasado en el balde.
- El Peso Unitario Compactado (PUC) es el cociente entre el peso y el volumen que hallamos (ver cuadro N° 2).

Cuadro N°2: Peso Unitario Compactado del Agregado Fino

ENSAYO		No 1	No 2	No 3
A	Peso de Arena Suelta + Vasija gr	11,049	11,026	11,063
B	Peso de la Vasija gr	2,806	2,806	2,806
C	Peso de Aena compactada gr	8,243	8,220	8,257
D	Constante 1/(1/10 pie 3) cc	5,856	5,856	5,856
E	Peso unit. Comp. (C/D)x1000 Kg/m3	1,408	1,408	1,408
PESO UNITARIO COMPACTADO		1.407	Kg/m3	

Elaboración propia

Se toma como referencia que el volumen de agua en cm³ es numéricamente igual al peso de esta en gr, si no sucede esto calibrar la balanza.

2.2.3 Peso Específico del Agregado Fino

Es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen efectivo de las partículas.

Se siguió el procedimiento según la Norma Técnica Peruana 400.022 y la Norma Americana ASTM C – 128, en el que dependiendo de las condiciones de saturación del agregado para el momento de la prueba, se observa tres tipos de condiciones para el peso específico los que son: Peso Específico de Masa, Peso Específico de Masa Saturada Superficialmente Seca y Peso Específico Aparente y la capacidad de absorción del agregado referido a un porcentaje de su peso.

Se desarrolla el ensayo con los pasos siguientes:

- Se consiguió una muestra representativa mediante el método del cuarteo.
- Se tomó una muestra de 3.0 kg.
- Se lleva a saturación bajo agua por 24 horas.
- Se debe alcanzar el estado Saturado Superficialmente Seco por exposición de la muestra al aire.
- Se tiene un agregado saturado superficialmente seco para los agregados finos cuando pasa la prueba del cono de Arena.
- Se consigue una muestra de 500.0 gr, del agregado S.S.S.
- Se consigue un balón de 500.0 cm³ de capacidad.
- Se seca la muestra con ayuda de un horno a una temperatura de 115 °C.

Cuadro N°3: Determinación del peso específico del agregado fino

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	
A	W Area sss	500.00	500.00	500.00		gr
B	W probeta	165.27	200.70	165.80		gr
C	W Ar+prob+Agua	977.22	1016.50	981.20		gr
D	W Ar seca+prob	662.95	697.80	662.50		gr
E=c-a-d	W Agua(Arss+prob)	311.95	315.80	315.40		gr
F=d-b	W Ar seca.horno	497.68	497.10	496.70		gr
G=500-e	V Ar (SSS)	188.05	184.20	184.60		cc
H=500-f	V Ar seca.variación	2.32	2.90	3.30		cc
I=f/g	P.E.Masa	2.65	2.70	2.69	2.68	gr/cc
J=a/g	P.E.sss	2.66	2.71	2.71	2.69	gr/cc
K=f/(g-h)	P.E.Aparente	2.68	2.74	2.74	2.72	gr/cc
L=(a-f)/f*100	% Absorción	0.466	0.583	0.664	0.57	%

Elaboración propia

2.2.4 Granulometría del Agregado Fino

Es la metodología de representar la cantidad de partículas que componen un agregado mediante el uso de tamices de abertura cuadrada en concordancia con **NTP 400.012** o también en la norma ASTM C 136 – 71, los valores hallados se representan gráficamente de manera porcentual.

En esta etapa el análisis granulométrico es lo más importante y fundamental para las actuales técnicas de diseños de mezcla (ver cuadro N°4), y su aceptación es permitida por límites para obtener un concreto óptimo, para concretos transportados por tubería estos requisitos son aún más exigentes, en el desarrollo de la presente tesis se tomará criterios de mejor combinación de los agregados para un mayor peso unitario compactado.

El desarrollo de este ensayo es el siguiente:

- Obtener una muestra representativa en el depósito del agregado tomado en la mitad de su altura, como lo define la norma NTP 400.010
- Conseguir por el método del cuarteo una muestra final de la que separa 500 gr y para varios ensayos.
- Limpiar y ordenar las mallas de la siguiente forma : 3/8", No 4, No 8, No 16, No 30, No 50, No 100 y No 200.
- Realizar el proceso de zarandear mecánicamente por un periodo de 1,5 minutos o a criterio del operador cuando el zarandeo es manual.
- El material retenido en cada malla será pesado y registrando permitiéndose un error de 1% en el recuento total.

Cuadro N° 4: Granulometría del Agregado Fino

TAMIZ	Muestra 1 (gr)	Muestra 2 (gr)	Muestra 3 (gr)	Promedio (gr)	Ret Prom (%)	Ret Acum. (%)	Acum Pasa (%)
1/2"	0	0	0	0	0	0	100
3/8"	7.5	6.2	6.7	6.8	1.4%	1%	99%
N° 4	8.7	6.9	9.6	8.4	1.7%	3%	97%
N° 8	45.0	49.0	64.2	52.7	10.6%	14%	86%
N° 16	97.7	96.1	101.6	98.5	19.8%	34%	67%
N° 30	99.5	97.9	97.0	98.1	19.7%	53%	47%
N° 50	88.1	85.9	80.1	84.7	17.0%	70%	30%
N° 100	68.5	68.1	61.3	66.0	13.2%	83%	17%
N° 200	45.7	48.0	42.9	45.5	9.1%	93%	8%
FONDO	37.8	39.7	35.6	37.7	7.6%	100%	0%
TOTAL	498.5	497.8	499.0	498.4	100%		

Los resultados en Tamiz N° 8 y 16 presenta varianza superior a 8% , se valido el promedio simple. Elaboración propia.

2.2.5 Contenido de Humedad.

Es la relación entre el peso del agua y el peso del agregado secado al horno y se expresa en porcentaje, referido a aquella agua que contiene el agregado según NTP 339.185 y ASTM C566.

Realizando los procedimientos respectivos elaboramos el cuadro N° 5.

Cuadro N° 5: Contenido de Humedad del Agregado fino

DESCRIPCION		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
A	W Arena natural (gr)	1,000.0	1,000.0	1,000.0
B	W Arena seca.horno (gr)	994.2	994.2	995.1
$C=(a-b)/b*100$	Contenido de Humedad (%)	0.583	0.583	0.492
Promedio	Contenido de Humedad	0.55 %		

Elaboración propia.

2.2.6 Módulo de Finura

Es una medida numérica de la distribución volumétrica de las partículas de los agregados, es uno de los legados más importantes de Duff Abrams 1,925 y se define como la suma de los porcentajes retenidos acumulados de la serie estándar de tamices hasta el tamiz No 100 y que dividido entre 100 se observa un número que es un promedio logarítmico, y que se aplica para el agregado fino, el agregado grueso y al agregado global.

Se toma como referencia la norma ASTM C136

Formula del módulo de finura

$$M.F. = \frac{3'' + 1\frac{1}{2}'' + \frac{3}{4}'' + \frac{3}{8}'' + N_{o4} + N_{o8} + N_{o16} + N_{o30} + N_{o50} + N_{o100}}{100}$$

Fuente: Duff Adams 1925

Tomando los datos del cuadro N°4 en la columna siete del % retenido acumulado en la formula se obtiene el Modulo de Finura = 2.58

2.2.7 Superficie Específica.

En el concreto los agregados juegan un papel importante que es ofrecer la resistencia a la deformación, más el cemento es un elemento que junto con el agua funcionan como un pegamento de los diferentes agregados y es por ello que se debe evaluar cuanto pegamento se necesita para una cantidad de agregado, de esta manera se puede modificar el rendimiento en medida de cubrir la superficie que cubrirá el pegamento, que en nuestro caso es el cemento.

Se define la Superficie específica como el área superficial total de las partículas de agregados, referidos al peso o al volumen absoluto.

Es importante apuntar que en nuestro análisis nos referimos al área por unidad de peso del agregado, idealizando cada partícula del agregado en forma de cubo y por ello el área de dicho cubo es 6 veces el área del cuadrado característico. Se toma 100 cm³ del volumen total del agregado. Tomamos los datos del cuadro N°4 y las columnas 1 y 6 para evaluar el presente índice (ver cuadro N°6).

Cuadro N° 6: Superficie Especifica del agregado fino

TAMIZ	Abertura	Peso Retenido (%)	Diametro Promedio (cm)	Peso/Dp (% / cm)
3/4"	1.90000			
3/8"	0.95100	1.4	1.42550	0.98
No 4	0.47500	1.7	0.71300	2.38
No 8	0.23600	10.6	0.35550	29.82
No 16	0.11800	19.8	0.17700	111.86
No 30	0.05900	19.7	0.08500	222.60
No 50	0.02950	17.0	0.04425	384.18
No 100	0.01475	29.9	0.02213	1,351.41
P.E masa Ar=2.679gr/cc		Σ		2,103.23
Superficie Especifica=(0.06/Pemasa)xΣ				47.1 cm ² /gr

Elaboración propia

2.2.8 Porcentaje de Absorción

Se define absorción como la capacidad de un elemento de poder contener la mayor cantidad de agua con respecto al elemento seco, es una repuesta capilar del agua en llenar los vacíos de las pequeñas hendiduras del elemento, si el elemento tiene una gran fuente de agua el elemento tendrá agua absorbida y agua adherida o libre de los efectos de la absorción.

Los procesos de cálculo del tema lo hemos desarrollado en el Cuadro N°3, se toma como referencia la NTP 400.022 y ASTM C127 donde hallamos el valor de 0.571% de Absorción del agregado fino

2.3 AGREGADO GRUESO

2.3.1 Generalidades del agregado grueso

El agregado grueso comparte la definición del agregado Fino, en cuanto no produce reacción química notable con la hidratación del cemento, pero es el que otorga la resistencia en compresión y abrasión en el concreto endurecido. Se define al agregado grueso para el concreto a todo elemento pétreo que pueda ser retenido en el tamiz 9.5 mm o tamiz No 4, el agregado grueso puede provenir de la desintegración natural o mecánica de las rocas, llamándose gravas a aquellos agregados en su forma natural posiblemente de lechos de ríos, y piedra chancada a los elementos pétreos triturados en forma artificial.

Se tienen buenos resultados cuando las partículas que conforman la mezcla del concreto tienen una configuración escalonada y la cantidad necesaria

para que las partículas pequeñas queden contenidas en los espacios vacíos que quedan entre las de mayor tamaño y por ello se tiene una mayor área de contacto para la pasta del cemento.

La clasificación por tamaño de las partes que lo conforman al agregado grueso se realiza con el uso de las siguientes mallas: 4", 3 1/2", 3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8" para el agregado grueso y que corresponden a una abertura de : 100mm, 90mm, 75mm, 63mm, 50mm, 37.5mm, 25.0mm, 19.0mm, 12.5mm, y 9.5mm respectivamente.

Es de preferencia que los fragmentos del agregado grueso deben tener un perfil semi angular, con la finalidad de tener un mecanismo de engrampe siendo perjudicial las partículas blandas, presencia de escamas micas o la presencia de arcillas.

La cantera de trabajo en esta investigación fue de procedencia del río Rímac para la obra "Remodelación de la Plaza Dos de Mayo" y resulta de la trituración del material de excavación, llamándolo **UNICOM Sector T**.

2.3.2 Peso Unitario del Agregado Grueso.

Es el cociente de dividir el peso del agregado entre el volumen que ocupa, se toma como volumen al que necesita para contener dicho agregado, en este sentido la Norma Técnica Peruana 400.017 y ASTM C29, dependiendo de la compactación que se le puede incluir diferencia un Peso unitario Suelto (PUS) y un Peso Unitario Compactado (PUC).

Peso Unitario Suelto (P.U.S.) del Agregado Grueso.- Se toma una muestra representativa del agregado almacenado teniendo cuidado de posibles segregaciones de las partículas gruesas, se calcula el cociente numérico entre el peso del árido y el volumen de la vasija que se utilizó.

La norma señala el examen de cinco muestras y concluye con el promedio aritmético de estas, detallaremos el procedimiento a seguir y los procesos de cálculo del tema lo vemos en el Cuadro N° 7.

- Obtener una muestra del agregado almacenado según NTP 400.010
- Conseguir muestras menores del agregado por el método del cuarteo.
- Utilizar el balde metálico de 1/2 pie³ seco y limpio.
- Llenar dicho balde con el agregado grueso el cual será enrasado.
- Hallar el peso del agregado cuidadosamente enrasado.
- Hallar el volumen de agua que ocupo dicho agregado en el balde.
- El P.U.S. es el cociente del peso y el volumen ya hallados.

Calibrando el recipiente metálico se toma en cuenta que el volumen de agua (cc.) es numéricamente igual al peso del mismo en gramos para una temperatura alrededor de 15° C, realizando dicho pesaje del recipiente metálico cargado al máximo de agua se anota que el volumen que contiene es 14,158 cc.

El recipiente metálico según norma tiene como capacidad nominal de $\frac{1}{2}$ pie³ o equivalente a 14,158 cc, con dimensiones de 25 ± 0.5 cm, altura de 28 cm ± 0.5 cm y con un espesor de 4.5 mm en el cuerpo con refuerzo en la boca y la base, así como contará con asas reforzadas.

El elemento de enrase es una varilla de 5/8" redondo liso y con punta semiesférica de 60 cm de longitud.

Cuadro N° 7: Peso Unitario Suelto del agregado grueso

ENSAYO		No 1	No 2	No 3	No 4	No 5
A Peso de Piedra suelta + balde	gr	29,500	29,500	29,200	29,600	29,200
B Peso del balde	gr	9,700	9,700	9,700	9,700	9,700
C Peso de Piedra suelta=a-b	gr	19,800	19,800	19,500	19,900	19,500
D Constante $\frac{1}{2}$ pie ³	cc	14,158	14,158	14,158	14,158	14,158
E Peso unit. suelto (c/d)*1000	kg/m ³	1,399	1,399	1,377	1,406	1,377
PESO UNITARIO SUELTO		1393	Kg/m ³			

Elaboración propia

Peso Unitario Compactado (P.U.C.) del Agregado Grueso.- Es la relación numérica entre el peso del agregado grueso con un procedimiento de compactación y el volumen del recipiente en que se compacto el agregado, la varilla encargada de compactar el agregado servirá para el enrase es la en el balde metálico, se examinará cinco muestras con el siguiente procedimiento:

- Obtener una muestra que represente al agregado según la NTP 400.01
- Conseguir cinco muestras por el método del cuarteo.
- Se utiliza el balde metálico de $\frac{1}{2}$ pie³ seco y limpio.
- Se llena el balde en tres capas y cada capa con una compactación de 25 golpes con la varilla redonda lisa de 5/8", se termina enrasando el material.
- Hallar el volumen de agua que ocupó dicho agregado en el balde.
- El Peso Unitario Compactado es el cociente de dividir el peso y el volumen ya hallados.

Cuadro N° 8: Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso

ENSAYO		No 1	No 2	No 3	No 4	No 5
A Peso de Piedra Compac + balde	gr	31,200	32,000	31,200	31,800	31,800
B Peso del balde	gr	9,700	9,700	9,700	9,700	9,700
C Peso de Piedra Compac=a-b	gr	21,500	22,300	21,500	22,100	22,100
D Constante 1/2 pie 3	cc	14,158	14,158	14,158	14,158	14,158
E Peso Unit. Comp (c/d) *1000	Kg/m3	1519	1575	1519	1519	1519
PESO UNITARIO COMPACTADO		1,547	Kg/m3			

Elaboración propia

2.3.3 Peso Específico del Agregado Grueso

Es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen de las mismas, en este caso el volumen que interviene es el que ocuparía las partículas sin tomar en cuenta los vacíos que pueda haber como separación entre partículas del agregado según NTP 400.021 y ASTM C127.

Dependiendo del grado de saturación del agregado en el momento de la prueba, la norma introduce tres tipos de relaciones para el peso específico los que son : Peso Específico de Masa, Peso Específico de Masa Saturada Superficialmente Seca y Peso Específico Aparente y la capacidad de absorción del agregado referido a un porcentaje de su peso.

2.3.3.1 *Peso Específico de Masa (P.E.M)*

Es el cociente entre el peso y el volumen del árido, en donde se toma el peso del árido completamente seco y el volumen considerado es el que envuelve al árido incluyendo el agua que puede contener por efecto de absorción, en otras palabras es el volumen del árido Saturado Superficialmente Seco, según NTP 400.021 y ASTM C127 (ver formula N° 2).

Formula del peso específico de masa

$$P.E.M = \frac{W_{\text{seco}}}{W_{\text{saturado}} - W_{\text{saturado sumergido}}} = \frac{W_{\text{seco}}}{V_{\text{saturado}}}$$

Fuente apuntes de clase tecnología de materiales

2.3.3.2 *Peso de Masa Saturada Superficialmente Seca (P.E.sss)*

Es el cociente entre el peso y el volumen de árido, en donde se toma al agregado con contenido de agua en su interior y que para los áridos grandes se consigue sumergiéndolo en agua para luego secarlo en su superficie lo mejor posible, de

modo que no aporte ni disminuya el agua que entre en contacto con otro árido, el peso y el volumen son tomados en estas condiciones, se toma al árido acompañado con el agua que puede contener en su interior, según NTP 400.021 y ASTM C128.

Fórmula del peso específico de masa saturada superficialmente seca

$$P.E.sss = \frac{W_{\text{saturado}}}{W_{\text{saturado}} - W_{\text{saturado sumergido}}} = \frac{W_{\text{saturado}}}{V_{\text{saturado}}}$$

Fuente apuntes de clase tecnología de materiales

2.3.3.3 **Peso Específico Aparente (P.E.A. = P.E.)**

Es el cociente entre el peso y el volumen de un árido, en donde se toma al agregado en condición totalmente seco mediante un horno, en estas condiciones se toma el peso y el volumen. El volumen hidráulico es hallado por diferencia entre el peso seco y el peso en condición sumergida del mismo árido, según NTP 400.021 y ASTM C128 (ver formula N°4).

Fórmula del peso específico aparente

$$P.E.A = \frac{W_{\text{seco}}}{W_{\text{seco}} - W_{\text{saturado sumergido}}} = \frac{W_{\text{seco}}}{V_{\text{seco}}}$$

Fuente apuntes de clase tecnología de materiales

El procedimiento seguido fue el siguiente:

- Se obtuvo una muestra representativa mediante el método del cuarteo.
- Se consiguió 6.0 Kilogramos aproximadamente de esta muestra.
- Se tamiza con la malla No 4 o de 4.75 mm eliminando el material pasante.
- La muestra restante es sumergida en agua por 24 ± 4 horas.
- Retirada la muestra del agua debe secarse cada grano del árido con ayuda de un paño y alcanzar el estado Saturado Superficialmente Seco cuando desaparece una película visible de humedad por evaporación.
- Se obtuvo una muestra aproximada de cinco kilos anotando el peso de la muestra con una precisión de 0.5 gr.
- Esta muestra será pesada en una balanza hidrostática anotando el peso sumergido del árido con una precisión de 0.5 gramos.
- Se recupera la muestra y es llevada a un horno con una temperatura de $115 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 24 ± 4 horas
- Se dejó enfriar de una a tres horas y luego se anota el peso de la muestra.

Cuadro Nº 9: Ensayo del Peso Específico del Agregado Grueso.

DESCRIPCION DEL ENSAYO		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	
A	W piedra sss	4723.0	5000.0	5000.0		gr
B	W sss+cesta sumergida	4782.0	5057.0	5061.0		gr
C	W cesta sumergida	1810.0	1810.0	1810.0		gr
D	W piedra sss sumergida	2970.0	3150.0	3147.0		gr
E	W piedra seca (horno)	4668.0	4945.0	4941.0		gr
E=a-d	V piedra sss	1753.0	1850.0	1853.0		cc
F=e-d	V piedra seca (horno)	1698.0	1795.0	1794.0		cc
I=e/(a-d)	P.E.Masa	2.66	2.67	2.67	2.67	gr/cc
J=a/(a-d)	P.E.M.sss	2.69	2.70	2.70	2.70	gr/cc
K=e/(e-d)	P.E.Aparente	2.75	2.75	2.75	2.75	gr/cc
L=(a-e)/e*100	% Absorción	1.178	1.112	1.194	1.162	%

Elaboración propia

2.3.4 Granulometría del Agregado Grueso

Es una forma de medir los diferentes tamaños de las partículas que conforman al árido grueso, en este proceso de clasificación se usan tamices con abertura cuadrículada y que se encuentran normalizadas en la NTP 400.012 que tiene como antecedente a la norma ASTM C 136. Los valores hallados se llevan a graficar en el sistema de coordenadas semi - logarítmico en el que se puede apreciar su distribución.

El **Tamaño máximo** es el menor tamiz por el que puede pasar todo el árido y que en otras palabras indica el mayor tamaño que se puede encontrar entre sus granos, es de mayor utilidad identificar un **Tamaño Nominal Máximo** que es el tamiz inmediato superior al que puede retener el 15% o más del agregado acumulado, esta definición señala al de mayor constancia y de mayor tamaño.

De igual forma en que se señaló para el agregado fino, la granulometría es el estudio fundamental de las actuales técnicas de diseños de mezcla, la NTP 400.037 utiliza trece usos para admitirlo como apto en el uso del concreto, tiene como antecedente la norma ASTM C - 33.

Para el ensayo de granulometría se debe tomar una cantidad de muestra representativa y esta es mayor de acuerdo al tamaño máximo de las partículas según lo señala la NTP 400.012. Es así que tomamos 12 kg de muestra para un tamaño máximo de 1" y procedemos de la forma siguiente:

- Obtener una muestra representativa de acuerdo a la NTP 400.010
- Para desarrollar el ensayo usaremos unidades de 6 kg en cinco muestras cubriendo grandemente los 12 kg como mínimo.
- La muestra debe ser secada al horno por 24 ± 4 horas y enfriada de 1 a 3 horas.
- Limpiar y ordenar las mallas en sentido vertical y de mayor a menor: 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$, N° 4 y el fondo.
- Realizar un proceso de zarandeo a la muestra por un periodo de 1.5 minutos
- Recoger y pesar el material retenido en cada malla anotando estos datos.

En este procedimiento se permite un error de ± 1 % en peso en la suma de sus partes a causa de pérdidas o falta de precisión en la lectura de la balanza, el cual puede ser convenientemente corregido asumiéndolo al de mayor cantidad.

Cuadro N° 10: Granulometría del Agregado Grueso

TAMIZ	Muestra 1 (gr)	Muestra 2 (gr)	Muestra 3 (gr)	PROMEDIO		Ret. Acum (%)	Acum Pasa (%)
				(gr)	(%)		
1 1/2"	0	0	0	0	0.0%	0.0%	100.0%
1"	428.0	381.4	244.0	351.1	5.9%	5.9%	94.1%
3/4"	2,042.0	1,537.7	1,781.0	1,786.9	29.9%	35.8%	64.2%
1/2"	2,073.5	2,306.5	2,074.0	2,151.3	36.0%	71.8%	28.2%
3/8"	706.5	911.9	805.0	807.8	13.5%	85.3%	14.7%
N° 4	599.0	715.2	803.5	705.9	11.8%	97.1%	2.9%
FONDO	122.5	107.3	285.0	171.6	2.9%	100.0%	0.0%
TOTAL	5,971.5	5,960.0	5,992.5	5,974.7	100.0%		

Elaboración propia

2.3.5 Contenido de Humedad

Es la relación entre el peso de agua que cuenta el árido y el peso del árido, en donde el peso es tomado después de secado al horno y libre de humedad, según NTP 339.185 y ASTM C566 se expresa en porcentaje.

Cuadro N°11: Contenido de Humedad del Agregado Grueso

DESCRIPCION DEL ENSAYO		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
A	W piedra natural (gr)	1000.0	1000.0	1000.0
B	W Piedra seca horno (gr)	971.1	972.5	971.5
C=(a-b)/b*100	Conteido de humedad (%)	2.976	2.828	2.934
Promedio	Contenido de Humedad	2.91 %		

Elaboración propia

2.3.6 Módulo de Finura

Es la representación numérica de la distribución volumétrica de las partículas de los agregados, concepto ya definido en el artículo 1.2.6 (ver formula 1) Se toma como referencia la norma ASTM C136 con el cual analizamos al agregado grueso en estudio para lo cual obtenemos los datos del cuadro N° 10 y de ello los datos de la columna de denominación % retenido acumulado obteniendo como módulo de Finura para el agregado grueso un valor adimensional de 7.182

2.3.7 Superficie Específica.

Se define a la Superficie Especifica como el área superficial total de las partículas de agregados, referido al peso o al volumen absoluto de dicho agregado.

Es importante apuntar que en nuestro análisis nos referimos al área por unidad de peso del agregado, idealizando a cada partícula del agregado en forma de cubo en donde el área de dicho cubo es seis veces el área del cuadrado característico. Se toma 100 cm³ del volumen total del agregado.

Cuadro N° 12: Superficie Especifica del Agregado Grueso

TAMIZ	Abertura	Peso Retenido (%)	Diámetro Promedio (cm)	Peso/Dp (%/cm)
1 1/2"	3.75			
1"	2.5	5.9	3.125	1.89
3/4"	1.9	29.9	2.2	13.59
1/2"	1.25	36	1.575	22.86
3/8"	0.95	13.5	1.1	12.27
No 4	0.475	11.8	0.7125	16.56
No 8	0.236	2.9	0.3555	8.16
P.E. massa Pd =2.667 gr/cc		Σ		75.33
Superficie Especifica=		(0.6/Pemasa)x Σ		1.70 cm ² /gr

Elaboración propia

2.3.8 Porcentaje de Absorción

Se define la absorción como la capacidad de un elemento de poder contener la mayor cantidad de agua teniendo como referencia al elemento seco, es una repuesta capilar del agua en llenar los vacíos de las pequeñas hendiduras del elemento, si el elemento tiene una gran fuente de agua el elemento tendrá agua absorbida y agua adherida o libre de los efectos de la absorción.

Los procesos de cálculo del tema lo hemos desarrollado en el Cuadro N° 9 donde hallamos el valor de 1.162 % de Absorción en el agregado grueso

Fuente NTP 400.021 y ASTM C127.

2.4 AGUA PARA EL CONCRETO

El Agua es el elemento de mayor cantidad del planeta de fórmula química H_2O es responsable de la transformación dinámica del medio ambiente y es el punto de referencia en pesos y medidas en la actualidad dándose que 1gr de agua mide 1 cm^3 utilizaremos este elemento en la elaboración del concreto y en la prueba de permeabilidad.

El agua en el concreto cumple dos papeles importantes: Físico y Químico, el efecto Físico es que funciona como lubricante en la etapa inicial del concreto fresco, el agua en esta etapa está sujeta a fuerzas de tensión superficial y luego una sedimentación de las partículas sólidas.

El agua deja un camino o conducto llamado poro capilar por donde se realiza el proceso de exudación, el efecto Químico es porque puede ser un medio de conducción para muchos minerales disueltos en ella y que en el proceso de hidratación forma parte de la estructura del concreto endurecido, no existe un patrón definitivo en cuanto a las limitaciones en composición química que debe tener el agua de mezcla, ya que incluso aguas no aptas para el consumo humano sirven para la preparación del concreto, por otro lado depende del tipo de cemento y la limpieza de los demás ingredientes.

(Pasquel Enrique "Tópicos de Tecnología del concreto en el Perú")

El agua de amasado de las muestras de concreto proviene de la red pública y se estima que cumple la NTP 339.088 anotando los siguientes requisitos:

- El contenido máximo de materia orgánica expresada en oxígeno consumido será de 3 ppm.
- El contenido de residuo sólido no será mayor de 5,000 ppm.
- El pH estará comprendido entre 5.5 y 8
- El contenido de sulfatos expresado en ion SO_4 será menor de 600 ppm.
- El contenido de cloruros, expresado en ion Cl , será menor de 1,000 ppm.
- El contenido de carbonatos y bicarbonatos alcalinos (alcalinidad total) expresada en $NaHCO_3$, será menor de 1,000 ppm.

El criterio que establece la NTP 339.088 y ASTM C1602 para evaluar y determinar el agua a emplearse en el concreto consiste en preparar cubos de mortero de acuerdo a la norma ASTM C – 109 usando el agua dudosa y compararlos con cubos similares elaborados con agua potable, si la resistencia en compresión a 7 y 28 días de los cubos con el agua en prueba no es menor del 90% de los cubos de control se acepta el agua como apta para su uso en el concreto tanto en la mezcla como el curado.

El agua que utilizaremos en la elaboración del concreto es potable y surtida por SEDAPAL.

El agua que utilizaremos en la prueba de permeabilidad también será potable y hervida eliminando en lo posible el cloro.

2.5 EQUIPO DE MEZCLADO

El tema del mezclado está definido como la aplicación de una energía de batido para uniformizar la distribución de los ingredientes de la mezcla en nuestro caso del concreto. Es así que la ingeniería aplicada en esta tesis realizó un análisis de rutina para la producción de un concreto plástico sin aditivos para obtener muestras comunes para ser probadas por permeabilidad.

El concreto en estudio se encuentra definido con asentamientos de 3" a 4" el cual ha de ser una masa plástica por lo tanto elegimos una mezcladora de **tambor y eje inclinado** por el control de los materiales evitando desperdicios.

El equipo necesita un carguío manual de los materiales previamente dosificados por peso de los ingredientes.

La mezcladora empleada en la tesis tiene las siguientes características:

- Tiene un tambor de 60 cm de diámetro por 80 cm de largo.
- La rotación del tambor es de 32 RPM con carga.
- Eje inclinado de 23° respecto a la horizontal, batiendo al material.
- Motor eléctrico monofásico de 220 vol 60 CPS, ¾ HP.
- Peso aproximado de 50 Kg.
- Capacidad máxima de 120 Kg ó 54 Litros de concreto fresco.
- Aletas de corte y movilización adosados en el interior del tambor.

La duración por ciclo de mezclado en cada muestra fue de 2.5 minutos

Se evita el mezclado con diferentes tipos de diseños limpiando el equipo rutinariamente.

El proceso de mezclado realizó los siguientes pasos:

- Se introduce el 50% de agua en el tambor.
- Se introduce el 100% del agregado grueso.
- Se introduce el 100% del cemento el que estará encima del agua.
- Se introduce del 50 al 100% del agregado fino, se inicia el batido.
- Se termina de introducir el agregado fino y el agua
- En el caso de formarse bolsas de agregados se detiene el batido y con

ayuda de un bastón se deshace esta formación, prosiguiendo el batido. Los agregados inicialmente necesitan mayor volumen hasta el batido.

2.6 ENCOFRADO

Considerando a todo elemento de contención que acompaña al concreto desde su etapa inicial de moldeo, mencionaremos los defectos que imprime en el concreto, en especial a la textura que es de gran influencia en la protección superficial contra los líquidos, en donde la permeabilidad resulta variable de acuerdo a los tipos de encofrados

En la fabricación de elementos de concreto el molde o encofrado recibe una presión de confinamiento el cual se manifiesta como adherencia al momento del desencofrado, la muestra expuesta a la prueba hidráulica será afectada al tipo de encofrado empleado, de otra parte la calidad del concreto es mayor cuanto más altura tenga, razón por la cual elegiremos un concreto con 3" de espesor para las muestras de permeabilidad aplicando los mismos criterios de compactación en la etapa de concreto fresco.

El encofrado a ser tomado en cuenta afecto a la prueba de permeabilidad es de característica metálica el cual es colocando como base para la capsula de permeabilidad el material que ayuda al desmolde será petróleo.

El encofrado que solicitamos que sea impermeable con el concreto es de naturaleza de caucho siliconado el cual es una membrana cónica que separa la capsula de permeabilidad y al concreto en 4 mm, es preciso anotar que dicho material resiste el álcalis del concreto.

Por razones técnicas el encofrado de caucho y el metálico son untadas con una capa de petróleo con la finalidad que ayude en el desmolde de las muestras de concreto para permeabilidad.

CAPÍTULO III LA PERMEABILIDAD

3.1 DEFINICION DE LA PERMEABILIDAD

Se define a la permeabilidad como la capacidad que tiene un material de permitir el tránsito de un líquido sin que este altere en su estructura interna (Henry Philibert Gaspard Darcy – 1856)

La impermeabilidad por el contrario es cuánto de agua no deja pasar mediante el material en estudio que en nuestro caso es el concreto.

Sabiendo que las propiedades del agua varían en función a su temperatura tomaremos como referencia el agua dulce que podemos encontrar en las redes de agua potable de la ciudad de Lima y a una temperatura de 15 ° Celsius a la sombra y a 1 atmósfera de presión para esta investigación.

Las líneas básicas del pensamiento del notable científico francés el siguiente enunciado: **“El caudal de agua permeada es directamente proporcional al área de la muestra, en donde la velocidad es proporcional a la energía”**.

De estas observaciones se tejen soluciones analíticas de las que destacan entre ellas las que utilizan variables complejas, (Transformación del plano hidrográfico, transformaciones Schwarz – Christopher, la fusión Zhukovsky, etc), la teoría de Dupuit (1863) y las que derivan a partir de esta como lo es Casagrande, Pavlosky, Koseny, etc.

La complejidad de las soluciones analíticas para condiciones de borde y características del medio, se dio una alternativa con analogía y modelos a escala reducida.

La primera es con el modelo de flujo viscoso Helen Shawn (1897).

La segunda es con el flujo eléctrico Pavlosky (1918).

Los modelos a escala reducida: Forchheimer (1898) con el primer modelo de arena para el estudio de los pozos de agua.

Estudios teóricos en los cuales se han forjado un reducido número de normas que interpretan la permeabilidad como: la Norma española UNE EN 12390-8 “Medición de penetración del agua bajo presión”; Norma Chilena NCh 2262 “Determinación de la impermeabilidad al agua – Método de la penetración de agua bajo presión”; y Norma Colombiana NTC 4483 “Método para determinar la permeabilidad del concreto al agua”. En cuanto a una norma peruana encontramos a NTP 339.041 que reemplaza a NTP 339.066 “Método de ensayo de presión hidrostática 2da ed.”

Es nuestro propósito reiterar el experimento que efectuó Darcy sobre el paso del agua en una muestra de arena, entonces reemplazaremos la arena por el concreto y pasaremos a registrar mediciones de tiempo y el caudal superando barreras técnicas en cuanto a la hermeticidad para conservar la siguiente ecuación analítica del científico francés.

Formula de permeabilidad según Darcy

$$K_t = \frac{Q.e}{A.h.t}$$

Dónde:

Q = Volumen de Agua Permeada. (cm³)

t = tiempo en que se realiza el examen (seg)

A = área de la sección transversal del espécimen (cm²)

h = energía hidráulica en columna de agua (cm)

e = espesor de la muestra (cm)

K = Coeficiente de Permeabilidad (cm/seg)

El flujo que pudiera existir en el concreto se dará en los espacios vacíos que contiene la pasa de cemento en lo que muchos especialistas describen con el nombre de poros y aire atrapado por lo que asumimos que ha terminado la reacción química con el agua, la fórmula de Darcy es válida cuando el flujo es constante a lo largo del espesor "e" que dicho de otra manera se encuentre mojada.

3.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PERMEABILIDAD

Las normas técnicas en cuanto a la permeabilidad de suelos advierten su aplicación sobre materiales granulados que no contengan más del 10% de suelos que pasan por el tamiz N° 200, de otra parte las normas para el concreto analizan o trabajan con la permeabilidad emplean nuevos conceptos como el estado de permeabilidad, la absorción y/o la penetración del agua, los cuales no explican claramente el sustento numérico de su respectivo método de medición.

La permeabilidad en el concreto se debe a la capa superficial y a los vacíos que se forman al interior del cuerpo de concreto, los ductos que se forman permiten el flujo por el cual solo anotamos las características tomadas en cuenta en la presente investigación:

- a) Materiales Constituyentes.
- b) Procesos de transformación.
- c) Elementos de contención o moldeo que imprimen el tipo de superficie.
- d) Procesos de cuidado en el Concreto que permite su uniformidad.

3.2.1 Materiales Constituyentes.

En la elaboración de un concreto debemos conocer y cumplir actuales disposiciones de la Norma Técnica Peruana a fin de conseguir un concreto promedio por ello revisar los materiales constituyentes: Cemento, Agua, Agregados y Aditivos.

a) Cemento.-

Es el material químico de mayor importancia, sus variedades van dirigidas a resistir condiciones ambientales definidas, para la permeabilidad tiene mucha influencia en la configuración de los poros que se forman en la pasta de cemento y que se ve reflejada en la exudación, contracción y la retracción observada en todo concreto fresco, debido a que no existe estudios al respecto realizaremos el estudio para el cemento portland tipo I en la variedad producida por la fábrica Sol debido a que cumple con la NTP 334.009



Se usará para los ensayos el Cemento Sol tipo I

b) Agregados

Los agregados deben de cumplir con la NTP 400.037 el tamaño máximo del agregado grueso no debe de exceder los 25mm se considera arena o agregado fino a las partículas menores a 4.75 mm equivalente a la malla ASTM No 4. Los materiales no deben tener materiales deleznable o que aumentan de volumen en contacto con el agua, así también los finos del agregado global (retenido en malla N^a 100 y fondo) no debe exceder de 10% debido a que influye en la retracción del concreto, la humedad será conservada de los cambios ambientales, los agregados utilizados

en este estudio son: Piedra Chancada Unicon Sector T y Arena Gruesa La Molina.



Foto: representativa de los materiales en cantera.

c) Agua.

Es el elemento indispensable en la hidratación del cemento y el desarrollo de sus propiedades, contribuye con la trabajabilidad del conjunto, puede contener impurezas que pueden alterar el comportamiento de la pasta de cemento, el agua para la mezcla y el curado debe cumplir la NTP 339.088, el agua utilizada en el presente estudio es de la red pública y para el experimento de permeabilidad es previa mente hervida.

d) Aditivo.

Todos los aditivos actúan con el cemento existiendo variedades como reductores de agua, acelerantes, retardadores, plastificantes y Expansivos. El presente estudio no se aplicación aditivo alguno.

3.2.2 Procesos de Transformación.

Teniendo los materiales el proceso de transformación que influye en la permeabilidad consiste en todos aquellos factores que llevan a un óptimo cuidado en la formación de dicho concreto procesos como el mezclado, transporte, colocación y cuidado del concreto antes de su entrega y puesta a servicio concluyen con el control y calidad del producto fabricado.

El primer paso lo vemos en la etapa de concreto fresco, la dosificación es una de las partes importantes de los procesos de transformación y se refiere a la integración de los agregados, por peso o por volumen teniendo los mejores resultados cuando se dosifica por peso. El tipo de mezcladora y el tiempo de mezclado consigue un concreto homogéneo en su etapa inicial, existe técnicas y artificios por conseguir concretos compactos o

cuando se usan aditivos o se manipulación en la granulometría para resultar concretos bombeables.

El segundo paso es tener cuidado en el transporte y colocación del concreto fresco donde existe la posibilidad de separación entre los materiales pesado y los finos causados por las vibraciones en la masa de concreto resultando la formación de espacios vacíos y que afectaría grandemente las propiedades de permeabilidad, de otra parte la incorporación de aire atrapado debe suponer originada por la caída a alturas en que el agregado embolsa el aire y este no puede subir a la superficie en corto tiempo o por una falta de compactación, en estas condiciones no se está seguro de sus influencias pues cada burbuja puede formar una capa impermeable a su alrededor por lo que estudiaremos los efectos de un agregado global de 1" en un concreto sin aditivos el cual se ha verificado que contienen 1.50% de aire atrapado.

El tiempo prolongado en espera permite la exudación del agua por sedimentación de otra parte la exposición a vientos o calor tienen influencia a la capa protectora del concreto, estudiaremos al concreto en que el agua de la exudación es conservada hasta el inicio del proceso del curado y esto lo logramos con un encofrado más alto del nivel de vaciado así se logra cuidar las muestras contra el viento.

3.2.3 Elementos de Contención y Moldeo.

Los elementos de contención son todo aquello que conocemos como encofrado, más allá del cálculo en que han sido diseñados para soportar los esfuerzos que conocemos se manifiesta el concreto en su etapa de moldeo y para el seguimiento de los estudios de permeabilidad los analizamos desde un punto de vista de imprimación para el concreto, estos encofrados los podemos encontrar con diferentes acabados superficiales, debido a su constitución como material madera acero plástico o caucho a la protección que puede llevar el encofrado barnizados o líquidos aceitosos, no se ha establecido una relación numérica de esta de la influencia en estos desmoldantes pero se puede notar que en el proceso de fabricación las vibraciones que resiste el encofrado separan y acercan las partículas finas a sus paredes, formando así una capa protectora al concreto por el encofrado.

Los elementos de contención no cubren la superficie libre por el que se debe imprimir manualmente una capa impermeable, que se consigue frotando al concreto después de la exudación en el momento en que empieza a absorber el agua exudada.

En el desarrollo de esta tesis la superficie del concreto en contacto para la prueba hidráulica es por encofrado metálico y la superficie del mismo concreto en contacto para el sello lateral es de caucho.

La formación de poros capilares del concreto coincide con dirección de aplicación de la carga hidráulica del agua, el sentido a estudiar en la permeabilidad será desde la superficie de encofrado metálico a la superficie natural de la muestra de concreto.

3.2.4 Cuidados en el Concreto.

Terminado los procesos de moldeo empieza los cuidados al concreto en las primeras horas de formación del concreto conociendo las recomendaciones de realizar las muestras de permeabilidad a temperaturas mayores de 15° C , se conservará el agua de la exudación y se dejará 24 horas dentro del encofrado y se presume una liberación al molde que lo contiene por la forma cómica y el sello de caucho, recogiendo los procesos de curado del concreto llevaremos a la muestra de concreto al curado por inmersión de agua apropiada, junto con las muestras de concreto a resistencia nos referimos a los cilindros de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.

Con estas apreciaciones para el sistema de permeabilidad, el molde tiene bordes sobresalientes que permite contener al agua de exudación así como su regreso al interior del concreto.

3.3 METODOS DE MEDICIÓN DE LA PERMEABILIDAD

Los estudios referidos a la permeabilidad empiezan en los suelos granulares adjudicándose la teoría básica con el que se inició estos experimentos, llevando estos procedimientos al concreto.

Para la labor de investigación con respecto a la permeabilidad encontramos trabajos que refieren a institutos prestigiosos que realizaron la medición de la permeabilidad en el concreto los cuales describimos:

- ❖ Norma Americana AASTHO T215, ASTM D2434-68; Coeficiente de permeabilidad con presión constante.
- ❖ Norma Europea UNE-EN 12390-8; Profundidad de penetración de agua bajo presión.
- ❖ Norma Americana AASTHO T277-12, ASTM C1202; Permeabilidad de Ion cloruro,
- ❖ Norma Chilena NCh 2262; Método de la penetración de agua bajo presión.
- ❖ Norma Colombiana NTC 4483; Método para determinar la permeabilidad del concreto al agua.
- ❖ Tesis UNI; Ensayo de permeabilidad en el concreto, según el manual de la Bureau of Reclamation, tesis del ing. Idalesio Médrano Busios.
- ❖ Norma Peruana NTP 339.041 1981; Ensayo de permeabilidad en tubos de concreto simple.

3.3.1 Norma Americana AASHTO T125, ASTM D 2434; Coeficiente de Permeabilidad a Presión Constante en Suelos.

Consiste en someter a una muestra de suelo a la acción de la presión hidráulica en forma constante durante un tiempo establecido (180 Segundos), dicha muestra se coloca en un tubo de ensayo mediante la compactación manual, luego es conjunto de muestra y tubo de ensayo se satura bajo agua durante 24 horas, la presión hidráulica atraviesa al suelo en forma ascendente con ayuda de un difusor y filtros luego del cual es medido el caudal de salida captado al pie de un rebose, anotando los elementos de la ecuación de Darcy.

Además se anotará la temperatura del ambiente en grados Celsius.

Se efectúa el cálculo del coeficiente de permeabilidad según Darcy

pero por efectos de viscosidad del agua a diferente temperatura se corregirá con un factor a 20 grados Celsius.

$$k = \frac{Q \cdot e}{A \cdot H \cdot t}$$

Con el fin de limitar las influencias de consolidación durante las pruebas, este procedimiento se limita a los suelos granulares perturbados que no contengan más del 10% de suelo que pasa por la malla -200.

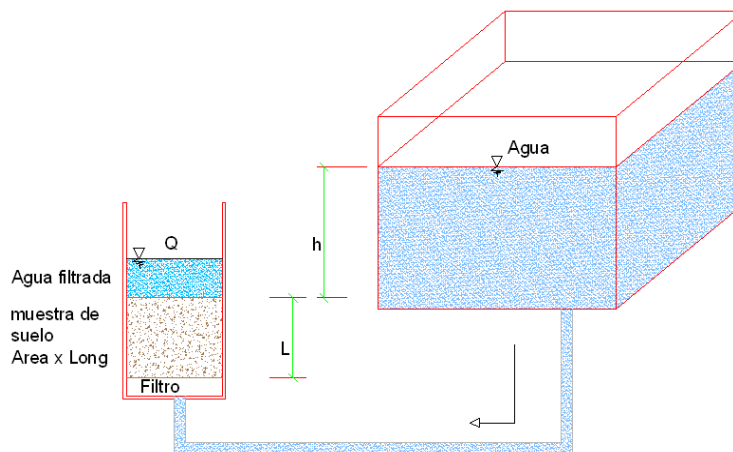


Figura Nº 1: Permeabilidad a presión constante

Fórmulas de conversión de presión

1 Pascal	=	Newton/m ²
1 Bar	=	10 ⁵ Pascal
1 Bar	=	14.7 Libra F /pulg ²
1 Bar	=	Atmosfera
1 Bar	=	10.33 m de columna de Agua
1 Kg f	=	9.807 Newton = 2.205 Lb f
1 m col agua	=	1.423 PSI

3.3.2 NORMA EUROPEA UNE-EN 12390-8; Profundidad de penetración de agua bajo presión.

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 2000-02-18 que es el comité europeo de normalización para los países: Alemania, -Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza .

El ensayo consiste en aplicar presión hidráulica sobre la cara de la probeta de 28 días con una presión de 500 ± 50 kPa durante 3 días, de no existir filtraciones se rompe la muestra longitudinalmente para evaluar la zona húmeda en lo que se considera profundidad de penetración.

3.3.3 Norma Americana ASSTHO T277–15, ASTM C1202–12; Permeabilidad del Ion Cloruro

En esta prueba se somete a un disco de concreto a un proceso de saturación al vacío con una solución salina, para colocarlo a un sistema eléctrico de campos magnéticos con una definida diferencia de potencial en un lapso de 6 horas en el que se registra la carga que puede transmitir.

La muestra de concreto es el resultado del corte diamantino en el concreto con una broca de 4 pulgadas resultando un cilindro de 3.75 pulgadas y luego cortado en un espesor de 2 pulgadas. La saturación será en vacío con una duración de 3 horas y con -1 mm Hg.

Se coloca la muestra con flexiglas entre dos celdas que llevarán alojados al contacto con una solución de 3% de NaCl (-) y en la otra parte 0.3 N de NaOH (+).

Se inicia el paso de corriente de 60 ± 0.1 Voltios y obtener el amperaje inicial y a cada 30 minutos durante 12 horas y utilizando la siguiente fórmula:

Formula de carga eléctrica permeada

$$Q = 900 * (I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + 2I_{90} + \dots + 2I_{360})$$

Dónde:

Q = carga permeada (coulomb)

I_n = corriente en el tiempo t (Amperios)

Corregir si el diámetro de la muestra es diferente a 3.75 con la fórmula:

$$Q = Q_s (3.75 / X)^2$$

Y usar la tabla de referencia:

Cuadro N° 13: Evaluación de la Permeabilidad según el paso de corriente

Carga Pasada (Coulombs)	Permeabilidad del Cloruro	Procedencia
> 4,000	Alta	A/C > 0.60
2,000 a 4,000	Moderada	A/C entre 0.40 y 0.50
1,000 a 2,000	Baja	A/C < 0.40
100 a 1,000	Muy baja	Concreto modificado con latex o sellado
< 100	Impermeable	Concreto con polímero o impregnado

Fuente Norma ASTM C1202 – 12

3.3.4 Norma Chilena NCh 2262; Profundidad de penetración de agua bajo presión.

Esta norma somete al espécimen de concreto a la acción de una presión hidráulica constante aplicada en forma escalonada, el espécimen a los 10 ± 3 días es retirada la capa de pasta de cemento por raspado, a los 28 días se aplica una presión de agua de 0,1 MPa, durante 48 h. A continuación se aplican presiones de 0,3 MPa y 0,7 MPa durante 24 h cada una de ellas, terminado la aplicación se rompe la probeta para medir la penetración en promedio estadístico siendo resultado final del ensayo.

El espécimen de concreto puede ser placa, cubo o cilindro cortado o moldeado, con una altura mayor igual a 100 mm.

3.3.5 Norma Colombiana NTC 4483; Método para determinar la permeabilidad del concreto al agua.

En esta norma determina el coeficiente de permeabilidad (k) del concreto endurecido por dos métodos los cuales son flujo constante y profundidad de penetración.

Es la única norma que recomienda una permeabilidad asociada a una profundidad de penetración, clasificándolo en tres tipos; Permeabilidad Baja, Media y Alta en profundidades de 30 y 60 mm. Donde los concretos de baja permeabilidad son aquellos con coeficiente de permeabilidad menor a 10^{-12} m/s. Concretos de alta permeabilidad son aquellos con coeficiente mayor a 10^{-10} m/s.

La presión de confinamiento es de 50 m de agua.

3.3.6 TESIS UNI; Ensayos de Permeabilidad, Manual de Pruebas del Bureau of Reclamation, por el Ing. Idalesio Médranos Busios.

En el desarrollo de la obra hidroeléctrica del Mantaro se dedicó un especial cuidado a la propiedad de la permeabilidad del concreto a ser usado como revestimiento del túnel y que iba a estar sujeto a la acción de aguas sulfatadas con altas presiones de agua por donde atraviesa dicho túnel de esta forma se inicia los primeros estudios respectivos en nuestro medio.

La empresa Electro Watt Ingenieros Consultores S.A y Societé Generale Pour L' Industrie Supervisores adquirieron el equipo de medición de la permeabilidad llamado permeámetro modelo K – 900 de la compañía Soiltest Inc. Y el manual de pruebas de la Bureau of Reclamation y que es

presentado en tesis con el título de: Algunos estudios acerca de la permeabilidad, por el Ing. Idalesio Médranos Busios.

El sistema de aplicación de presión utiliza la presión neumática constante a partir de un reservorio de aire comprimido a 52 Kg/cm² el que es reducido mediante válvulas en presiones efectivas en la muestra de 0 a 35 Kg/cm² los accesorios conductos y uniones son de calidad extra pesadas para conducir estas presiones.

El sistema ensaya tres especímenes en forma separada, dependiendo del sellado realmente se puede aplicar presiones de 0 a 21 Kg/cm² (300 PSI).

Para el ensayo se utiliza agua destilada.

Cuenta con un sistema de medición del flujo, un medidor de vidrio señala el volumen de agua ingresado en el sistema desde un reservorio de agua y opcionalmente se mide el flujo liberado al exterior.

Cuenta como cápsula de presión con un cuerpo de forma cilíndrica de níquel acerado de amplia resistencia (35.6 Kg/cm²) provista de una pestaña en el fondo para la suspensión de la muestra y la retención del material que sella las paredes de la muestra con un espesor de ½ pulgada. La cápsula de presión se cierra en su parte superior con un distribuidor de presión que se unirá al cuerpo en forma pernada y con un sello de caucho.

La muestra de concreto para permeabilidad será tomado de las muestras cilíndricas 6" x 12" y que luego serán llevadas a corte diamantino eliminando un disco de 2 "de espesor de la parte superior e inferior y que serán eliminado un aro de sección de 1" x1" en el perímetro circular en los dos bordes dejando una apariencia escalonada en su sección transversal.

La muestra será centrada y se usará brea como material de sello, el que se verterá en forma fundida, en este punto un mal sellado invalida o limita el ensayo ante fugas de agua. El desmolde se realiza calentando el cuerpo de la cápsula derritiendo la brea.

La prueba ha sido continuada por un periodo de 500 a 600 horas.

En la Bureau of Reclamation la permeabilidad se define como: el volumen de agua que pasa a través de un área de sección del material en un año bajo la acción de una unidad de gradiente hidráulico. El valor así logrado está basado a la temperatura de 20 ° C un factor que generalmente no está considerado en las determinaciones de campo.

El coeficiente de permeabilidad ha sido derivado de la ley de Darcy's para flujo viscoso a través de pequeños vacíos ínter conectados en las que nos dice que para condiciones físicas constantes la descarga es proporcional a la gradiente hidráulica.

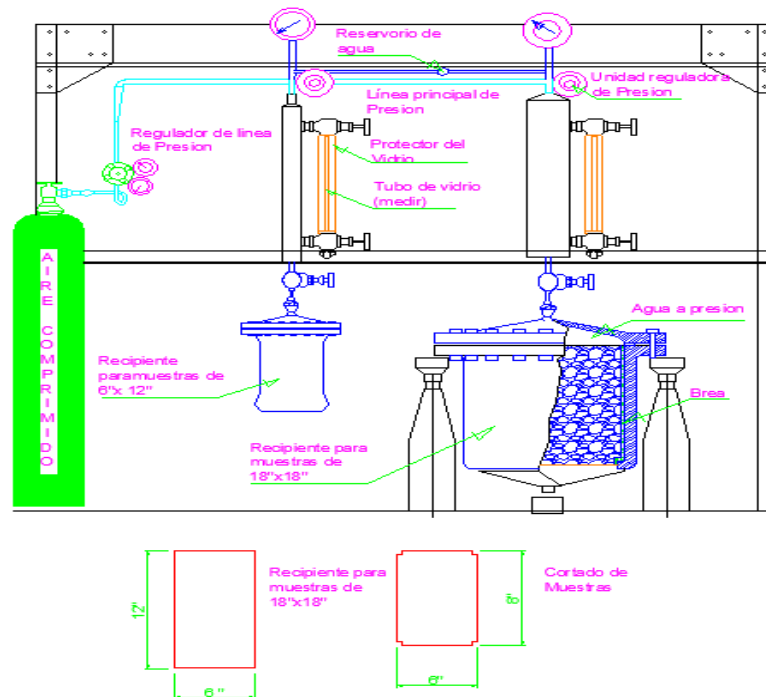


Figura Nº 2: Permeámetro K-900.

3.3.7 Normas Peruanas NTP 339.041; Ensayos de permeabilidad en tubos de concreto simple.

En nuestro medio no se ha presentado mayor acercamiento a la permeabilidad, se ha realizado investigaciones con sistemas parecidos a la cápsula de presión con resultados en mayor acercamiento a la absorción del concreto, la única prueba de durabilidad con una influencia de la permeabilidad lo tenemos en la NTP 339.067 con el título: Tubo de hormigón (concreto) simple de sección circular para la conducción de líquidos sin presión, ensayo de permeabilidad. En el que se evalúa una acción hidráulica por gravedad al someter a un tubo lleno con agua y convenientemente sellado con brea derretida en un recipiente por la boca de forma de campana, se evalúa las fugas de agua en los 15 primeros minutos y tras 24 horas se evalúa la superficie mojada alrededor del tubo identificando y registrando el % de área mojada así como la presencia de fisuras.

Se otorga una aceptabilidad a 10 % del área mojada.

Otra norma Peruana con similares fines lo encontramos en NTP 339.066 con el título de: Tubos de Hormigón (concreto) simple de sección circular para la conducción de líquidos sin presión, método de ensayo de resistencia a la presión hidráulica interna. Esta norma aplica una presión

hidráulica a un conjunto de tubos de concreto previamente sellado en sus ingresos y salidas del sistema, con una presión de 0.5 a 15 da N / cm² y en una velocidad de carga menor a 0.7 kg / cm² – min, por un tiempo de 10 minutos registrándose la producción de manchas húmedas, goteos y fisuras. Los especímenes o accesorios que fallen en esta prueba serán retirados o cambiados después de la prueba, esta prueba es requisito para la puesta en servicio de instalaciones de desagüe.

3.4 PROPUESTA DE MEDICION

Es conocida la calificación de un concreto por medio de su resistencia a la compresión, sin embargo la exposición ambiental con el humedecimiento itinerante acorta la durabilidad de elemento, por tanto se tiene por finalidad acelerar las pruebas hidráulicas para obtener resultados analíticos los cuales concluyen en obtener el coeficiente de permeabilidad del concreto.

Revisando las normas Europeas observamos que los resultados de medición de la permeabilidad son cualitativos debido a su clasificación por observación.

Las Normas Colombinas consideran un resultado conjunto entre profundidad de penetración del agua y permeabilidad hallando el coeficiente de Darcy, sin embargo no se precisa como se ha logrado realizar la medición de la permeabilidad.

Las investigaciones Norte Americanas en especial la que describe el Bureau of Reclamation es la que se acerca más en obtener una respuesta analítica en el modelo matemático de Darcy sin embargo se trata de una prueba muy lenta y donde no se conoce la profundidad de penetración.

El desarrollo de este trabajo tiene como finalidad obtener un método intermedio entre estas dos formas de realizar mediciones de permeabilidad por ello es necesario conocer la porosidad del concreto y esta debe de variar de acuerdo a la muestra a estudiar, existen trabajos que calculan el valor de la porosidad del concreto mediante el uso de mercurio en una prueba destructiva.

De otra parte no se tiene una certeza que la hidratación del concreto ha terminado a los 28 días y el ingreso de agua al interior del concreto cierta cantidad de agua puede convertirse en concreto, además la contracción del concreto debe de tomarse en cuenta ante la búsqueda

de la cantidad de vacíos cuando se solicita el secado al horno de la muestra de concreto entonces optamos por identificar el volumen de vacíos por el método de secado al horno además levantamos la siguiente afirmación:

“Ante el empuje hidráulico sobre una muestra de concreto, el caudal permeado llenará los vacíos existentes en el concreto, siendo el caudal permeado igual a los vacíos llenados”

De otra parte sí el flujo de agua se aplica unidireccionalmente en la muestra de concreto, el caudal de ingreso origina un humedecimiento progresivo en el cual se cumple las condiciones de Darcy.

Se procede a la siguiente hipótesis; si la muestra cumple con la condición de Darcy el caudal que llena los vacíos de la muestra (volumen de vacíos = Qv) se dará cuando el agua atraviesa el espesor de la muestra (espesor = e).



Espesor húmedo, Q. permeado Espesor total, V vacíos

Figura Nº 3: progreso de la permeabilidad.

Por lo tanto en la condición de permeabilidad unidireccional se tiene:

$$\frac{\text{espesor muestra}}{Q_{\text{vacios}}} = \frac{\text{espesor húmedo}}{Q_{\text{permeado}}}$$

Utilizando la hipótesis en la ecuación de Darcy se tiene:

$$k = \frac{Q \cdot e}{A \cdot H \cdot t}$$

Donde la validez de la ley de Darcy se da cuando en un medio saturado, continuo, homogéneo e isotrópico, entonces la máxima cantidad que puede albergar el material depende de su porosidad o cantidad de vacíos, los cuales serán llenados por el líquido en la permeabilidad, entonces el caudal (Q) sucede cuando ha transitado por un espesor de material (e) en un tiempo (t).

En la presente investigación se ha realizado pruebas preliminares en concretos saturados los cuales resultan después de una permanente

inundación en su proceso de curado, el cual reporta: que al ser instalado en un sello lateral y aplicando presión hidráulica en una cara la superficie de salida no presenta conducción hidráulica y por el contrario experimenta el secado de su superficie. De esta respuesta experimental se concluye que:

- ❖ La velocidad de evaporación es mayor que la velocidad que se desarrolla la permeabilidad y la absorción capilar.
- ❖ El aire atrapado en el concreto se da aun sumergido el material.
- ❖ Existe una capa frontera en el cual se desarrolla la humedad optima de curado pasado esta no entra agua al interior.

Por tanto se ha de asumir que existe un caudal (Q_1) que mojará una capa promedio (e_1) en un tiempo de prueba (t_1) que sucede en el interior de la muestra.

En el supuesto caso que el concreto ha terminado su hidratación interior existirá un vacío por el cual pasa el agua en situación de permeabilidad, dicho vacío es conocida con el nombre de porosidad. Existen métodos para medir la cantidad de vacíos en el concreto uno de ellos es la inclusión de mercurio a la muestra el cual destruye a la muestra y deja salir los gases sueltos del concreto, para el caso de la permeabilidad necesitamos conocer el valor de la porosidad para calcular su progreso. Cuando en pleno progreso de la permeabilidad no se manifiesta como humedecimiento exterior calcularemos los vacíos que existe en la muestra mediante la propiedad que tiene el agua por tener el volumen numéricamente igual al peso y estimar la cantidad de agua que se evapora desde el estado saturado al estado seco al horno el que llamamos vacíos totales ($Q \text{ vacíos}=Q$).

Por tanto en la condición de permeabilidad la muestra de concreto se dará que la capa mojada es proporcional al espesor de la muestra, así como el volumen de vacíos es proporcional al caudal permeado:

$$\frac{e}{Q} = \frac{e_1}{Q_1}$$

Debido a que el espesor de la capa mojada (e_1) no se conoce, esta investigación propone calcular el coeficiente de permeabilidad para un

tiempo cualquiera (t_1) en: $k = \frac{Q_1 \cdot e_1}{A \cdot H \cdot t_1}$

Reemplazando el valor de la capa mojada (e_1) en la hipótesis de proporcionalidad obtenemos:

Coeficiente de permeabilidad en función de la profundidad de penetración

$$k = \frac{(Q1)^2 \cdot e}{Q \cdot A \cdot H \cdot t1}$$

Fuente: propuesta aporte del investigador

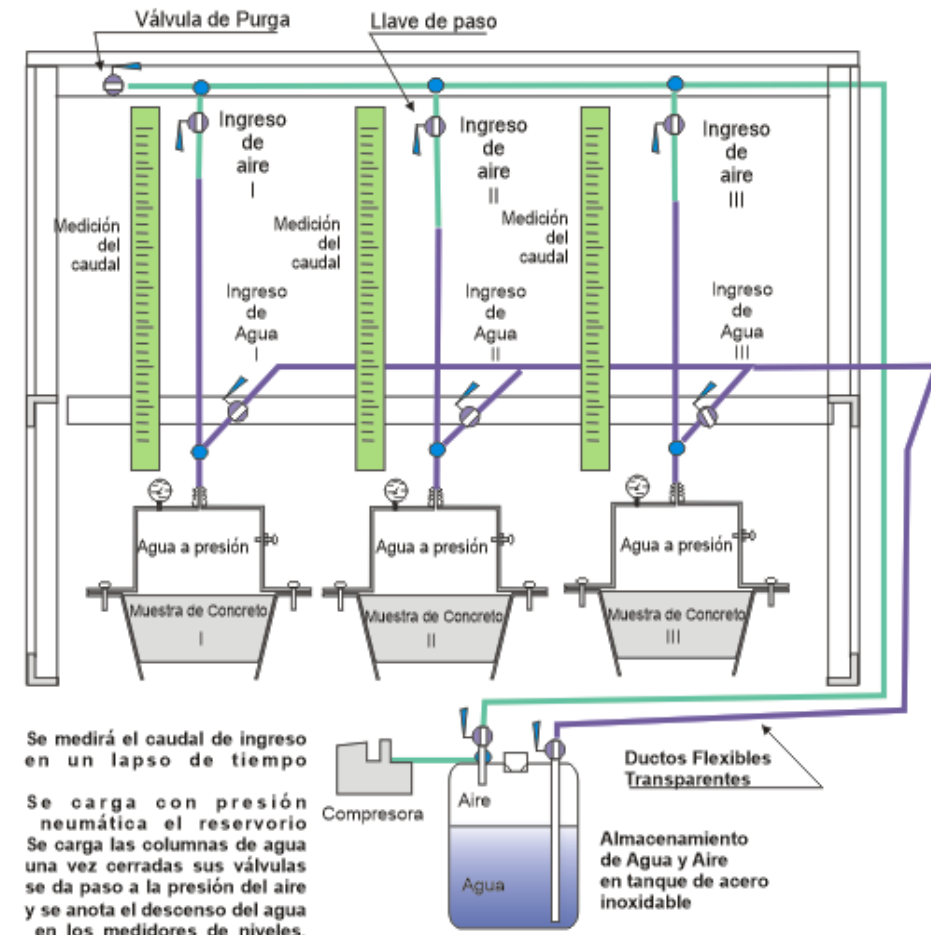


Figura N° 4: Permeámetro de Investigación

3.4.1 Diseño del Permeámetro.

El presente estudio propone mejorar la sujeción lateral para una muestra de concreto por el que se trabaja con un espécimen tronco de cono, por sus propiedades herméticas. La **Capsula de confinamiento** termina con una tapa hermética el cual distribuye la presión hidráulica.

El manejo de la presión hidráulica es mediante el **arnés de conexiones**, en ella se realiza la medición del caudal de agua mediante el desplazamiento del líquido en ductos transparentes.

Completa el equipo con el depósito de presión neumática e hidráulica el cual es conducida con el arnés de conexiones a las capsulas de confinamiento.

Desarrollaremos el diseño de los siguientes puntos: Espécimen, cápsula, reservorio y funcionamiento:

Espécimen.-

Evaluando la falta de sellado lateral en todos los métodos de medición hidráulica la presente investigación trabaja con especímenes de concreto de forma tronco cónico mejorando la hermeticidad en el contacto lateral.

- La inclinación en la pared tronco cónico será de 1 a 4.
- El tamaño de la muestra de concreto será de un diámetro de 185 mm que va disminuyendo con la inclinación referida de 1 a 4 y con un espesor de 50 a 80 mm, la muestra de concreto será con agregados del tamaño máximo de 1 1/2".
- El espécimen de concreto debe resultar del moldeo con sello hermético conservando la exudación que se produce durante la transición del estado fresco ha endurecido.
- El espécimen de concreto recoge la textura del encofrado colocando una muestra de este en la base de apoyo.
- Las muestras para la permeabilidad serán moldeadas en una capa aplicando una compactación con 25 golpes de un varilla compactadora y nivelada con un badilejo.
- El espécimen recibirá el curado por inmersión en agua.

Cápsula de presión.-

Es el elemento metálico que aplica presión hidráulica unidireccional en una muestra de concreto. Está conformada por un cuerpo tronco cónico de sujeción de la muestra y una tapa que cierra herméticamente ajustando al concreto por medio de pernos en sus bridas, en la tapa se aloja una válvula de purga y un manómetro de seguimiento a la presión activa.

- El material utilizado es acero Estructural A – 36, se usará planchas de 3.0mm y 4.5 mm, la unión de sus partes será por proceso de soldadura eléctrica a base de electrodos.
- La cápsula tendrá dos partes; el **Cuerpo** y el **Distribuidor de Presión** hidráulica; en el cuerpo consiste en una lámina de 3.0 mm rodada en forma de cono abierto el cual es cerrado y soldado en su generatriz, luego unido por soldeo a una brida de 4.5 mm. El distribuidor de presión es un cilindro de 3.0 mm tapado y unido a la brida de confinamiento de 4.5 mm, en esta se instala los accesorios de purga, medición y comunicación hidráulica.

- El cuerpo y el distribuidor de presión serán protegidos del óxido por la aplicación de pintura: base epóxica y pintura de acabado.
- La presión de trabajo será de 50 mt de columna de agua
- Los sellos son de caucho nitrilo 4.5 mm en sello lateral y empale de bridas.

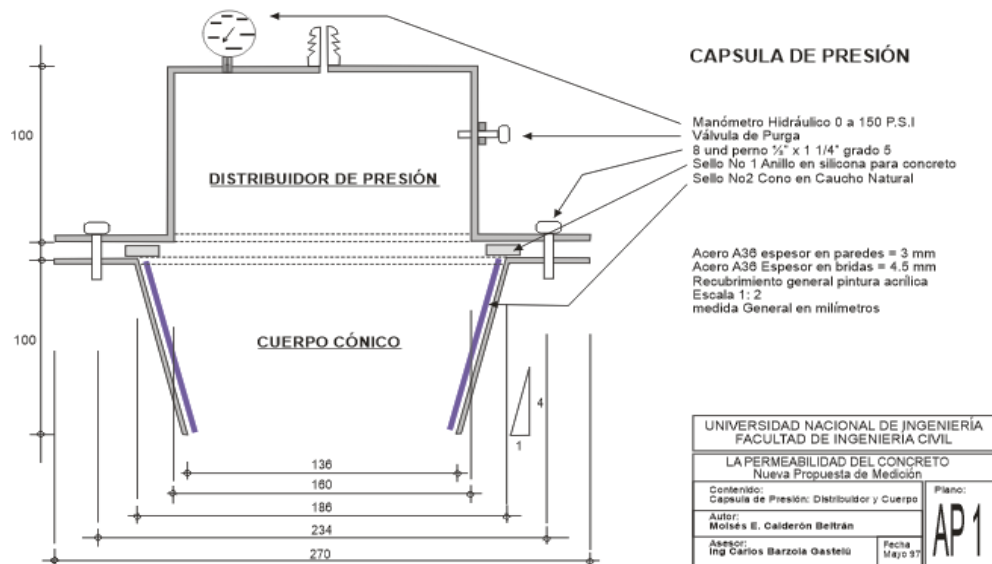


Figura N°5: Elemento principal del permeámetro de investigación

Contenedor de presión.-

La energía con que trabaja los experimentos de Darcy es hidráulico y con carga constante, por ello acumularemos presión neumática que accionará al líquido de prueba en el contenedor de presión, por ello se ha de manejar las siguientes condiciones:

- Utilizamos un reservorio en acero inoxidable, debido a que el agua a presión aumenta la propiedad oxidante del líquido de prueba.
- La presión de trabajo tiene una variación el cual se encuentra programado en la sensibilidad de la compresora de trabajo que es de neumático.
- El reservorio usado es de 18 litros de capacidad el cual es destinado 10 litros para el líquido de prueba y 8 litros de aire, cuenta con una tapa de sellado hermético con 10 cm en su ancho para un rápido proceso de carga y descarga del líquido de prueba.
- La presión de trabajo para el tanque es de 80 mt de columna de agua y cuenta con una válvula de seguridad.
-

3.4.2 Construcción de la Cápsula de Presión

La fabricación de la cápsula de presión es mediante el proceso de soldadura eléctrica, moldeando sus partes, soldeo, prueba de hermeticidad y rectificación en sus uniones.

Capsula de presión.-

Se construirá una pieza metálica con plancha de 3 mm de forma tronco de cono con diámetro en su base de 186 mm, altura de 100 mm y diámetro superior de 138 mm, la inclinación de sus paredes es 1:4. Dicha pieza se consigue con el corte de un sector circular de radio 379 mm y consume una superficie de 200x530 mm El proceso de corte recomendado es corte por plasma, se procede a dar forma cónica por el proceso de rolado.

Se cortará una brida con diámetro exterior de 270 mm y diámetro interior de 186 mm en una plancha de acero A 36 de 4.5 mm el proceso recomendado es corte por plasma, se instalara 6 agujeros normalizados sobre un diámetro de 236 mm con perforaciones de 13 mm.

Tanto la brida como el sector cónico serán unidos por medio de soldadura eléctrica y rectificando sus bordes con ayuda de un torno.

Se cortará una segunda brida con diámetro exterior de 270 mm y diámetro interior de 160 mm en una plancha de acero A 36 de 4.5 mm donde se instalarán 6 agujeros normalizados sobre un diámetro de 236 mm con perforaciones de 13 mm.

Se cortará una plancha rectangular de 502 mm x 90 mm de espesor de 3 mm el que luego se procede a dar forma cilíndrica por medio de un doblado continuo llamado rolado, se instalará el anclaje para un perno que actuará de purgador, el proceso de corte recomendado es corte por cizalla.

Se cortará un disco de diámetro 166 mm en una plancha de acero A 36 de 3 mm, en donde se instalará el anclaje de dos conectores de bronce para la conexión hidráulica a la línea de presión y para la instalación de un manómetro con rosca de $\frac{1}{4}$ " NPT.

Los tres elementos; la brida el cuerpo cilíndrico y el disco se unirán por el proceso de soldadura eléctrica previo biselado y limpieza en los bordes en unión

Los elementos metálicos serán inspeccionados y probados herméticamente para luego ser arenado y recibir la aplicación de dos capas de pintura.

Sellos.-

La capsula de presión requiere tres sellos; el sello de confinamiento entre

la muestra de concreto y el elemento de forma cónica, un sello brida a brida y un sello en la válvula de purga.

Para el sello de confinamiento se cortará una sección circular con radios de corte en 248mm y 342 mm en una plancha de silicona de 4.5 mm, consumirá un rectángulo de 510 x 200 mm, se debe de extender la longitud de 510 mm por efecto del traslape y proceso de pegado obteniendo una forma cónica.

Para el sello entre brida y brida se une una tira de sello siliconado 10 x 10 mm de longitud 640 mm y como en el caso anterior se prevé un exceso de material por desperdicios en el traslape.

Para el sello en la válvula de purga resulta conveniente obtener un orín comercial del tipo siliconado.

Contenedor de presión.-

Es un recipiente metálico diseñado para soportar presión, contar con una válvula de seguridad, compuerta de carga de líquido de prueba, salida hidráulica y salida neumática, se utilizó un surtidor de bebidas gaseosas y se adaptó los accesorios de entrega de presiones.

Capacidad: 18 litros.

Presión de trabajo: 80 mt de columna de agua.

Material: Acero inoxidable.

Espesor de pares: 2 mm.

Arnés de conexiones de presión.-

Para la conducción de la presión hidráulica y neumática se utiliza ductos plásticos flexibles transparentes con la finalidad de presentar una zona de medición por desplazamiento.

La partición y unión de las líneas de servicio será por medio de espigas de bronce y sellados con abrazaderas de alta presión.

El manejo y medición se realiza activando la presión hidráulica en el ducto de medición luego de alcanzar la medida máxima se desactiva la presión hidráulica y se da paso a la presión neumática sobre la columna de agua registrando el desplazamiento de agua que conecta a la muestra de concreto.

Características técnicas:

Presión de diseño: 80 mt de columna de agua.

Presión de trabajo: 50 mt de columna de agua.

Material: Plástico flexible transparente ¼", pared 3mm.

Control: Válvula esférica ¼"

3.4.3 Manual de Operaciones

Para obtener mediciones de la permeabilidad en el concreto es necesario seguir tres etapas: la toma de muestra en el concreto, prueba bajo presión hidráulica y contenido hidráulico de vacíos del concreto.

Toma de muestra de concreto en concreto fresco.-

Consiste en obtener una muestra representativa del concreto y lograr su confinamiento en la capsula de presión.

- Se toma una muestra representativa concreto fresco según NTP 339.033
- El molde cónico se sujeta al encofrado de prueba aplicando un desmoldante de aceite mineral interiormente.
- El concreto en su estado fresco es compactado con 25 golpes usando una varilla lisa 16 mm con punta redondeada conseguir una capa de 2.5" y alisar dicha superficie.
- La muestra será retirada en 20 horas para continuar el proceso de curado dentro de los 28 días.

Prueba bajo presión hidráulica.-

La prueba tiene por finalidad encontrar el volumen desplazado o permeado al interior de una muestra de concreto en forma unidireccional aplicando en la muestra una carga hidráulica de 50 mt de columna de agua anotando el tiempo en que discurre dicho volumen permeado con el siguiente procedimiento:

- Se instala la muestra de concreto en la respectiva capsula y respectiva posición con que fue muestreado.
- Se ajusta la contratapa y se prueba la hermeticidad del montaje.
- Se instala el arnés de conexiones verificando eliminando las burbujas atrapadas en las líneas.
- Se realiza las mediciones manipulando la línea hidráulica en el sector de medición, y activando la presión neumática.
- Verificando que no exista fugas en los sellos se anota el desplazamiento del líquido, la presión efectiva de trabajo y el tiempo que emplea.
- Acabado la reserva en las líneas de medición se vuelve a recargar los niveles y a continuar el ensayo.
- La presión hidráulica está conectada al manómetro del equipo el cual cumple con certificaciones de calidad aprobado.
- La medición del volumen desplazado se realiza midiendo el área

del ducto por donde circula el líquido de prueba y anotando el desplazamiento del espejo de agua.

Contenido Hidráulico de Vacíos en el concreto.-

El contenido de vacíos trata de medir la porosidad hidráulica del concreto y captura la absorción y la fisuración por donde transita el agua dentro del concreto, lo mediremos en términos de peso de agua sumergida referenciándolo al peso seco de la muestra de concreto, procediendo en:

- Medición del peso saturado superficialmente seco de la muestra esto es retirado de la etapa de curado con precisión al 0.1 gr.
- Medición del peso de la muestra seca al horno por 24 hr a 110 C° con la precisión de 0.1 gr.
- Medición del peso de la muestra seca al medio ambiente con la precisión de 0.1 gr.
- El contenido de vacíos es el peso saturado superficialmente seco en diferencia al peso seco al horno.

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE MEZCLAS

4.1 GENERALIDADES

El objetivo principal es la elaboración de mezclas de prueba que utilizaremos en el sistema de medición de la Permeabilidad, para este fin es necesario seguir las recomendaciones y los apuntes de clase del curso tecnológica del concreto llevándonos a conocer las propiedades de la arena gruesa y piedra chancada, identificando su respectiva granulometría, contenido de humedad y porcentaje de absorción para integrarlo al agua y cemento obteniendo una mezcla controlada y metódica que llamamos diseño de mezclas.

Para el diseño de mezclas, existen diferentes métodos, tales como: el método del ACI, método de Walker, método del módulo de finura de la combinación de los agregados, etc. En la presente investigación utilizaremos el **Método del Peso Unitario Compactado Máximo** por que se obtiene el mejor acomodo de las partículas de agregado en la mezcla. Este método persigue la máxima densidad compactada en seco y el porcentaje de participación de los materiales integrantes.

Verificaremos la aceptación de los materiales arena gruesa La Molina (cuadro N°4) observando que cumple la norma respectiva ASTM C 33 en los siguientes gráficos:

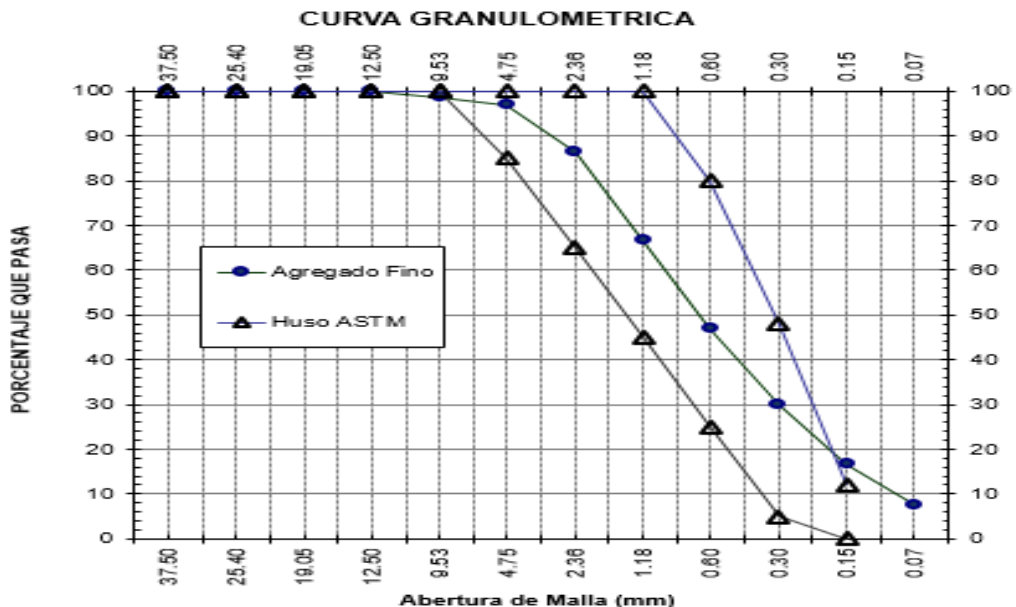


Figura N° 6: Curva granulométrica del agregado fino – según ASTM C 33

Anotamos las propiedades físicas del respectivo agregado fino procedente de la cantera La Molina.

Cuadro N° 14: Propiedades del agregado Fino.

Ensayo	Resultado	Norma
Peso Unitario Suelto	1305	Kg/m ³ ASTM C29
Peso Unitario Compactado	1407	Kg/m ³ ASTM C29
Peso Especifico de Masa	2679	Kg/m ³ ASTM C128
P.E.M.saturada de superficie seca	2694	Kg/m ³ ASTM C128
P.E.Aparente	2721	Kg/m ³ ASTM C128
Absorción	0.57	% ASTM C128
Contenido de Humedad	0.55	% ASTM C566
Módulo de Finura	2.58	s/d ASTM C136

Fuente Elaboración Propia.

Verificamos la aceptación del agregado grueso Piedra Chancada - Unicon Sector T de los valores hallados del cuadro N° 10.

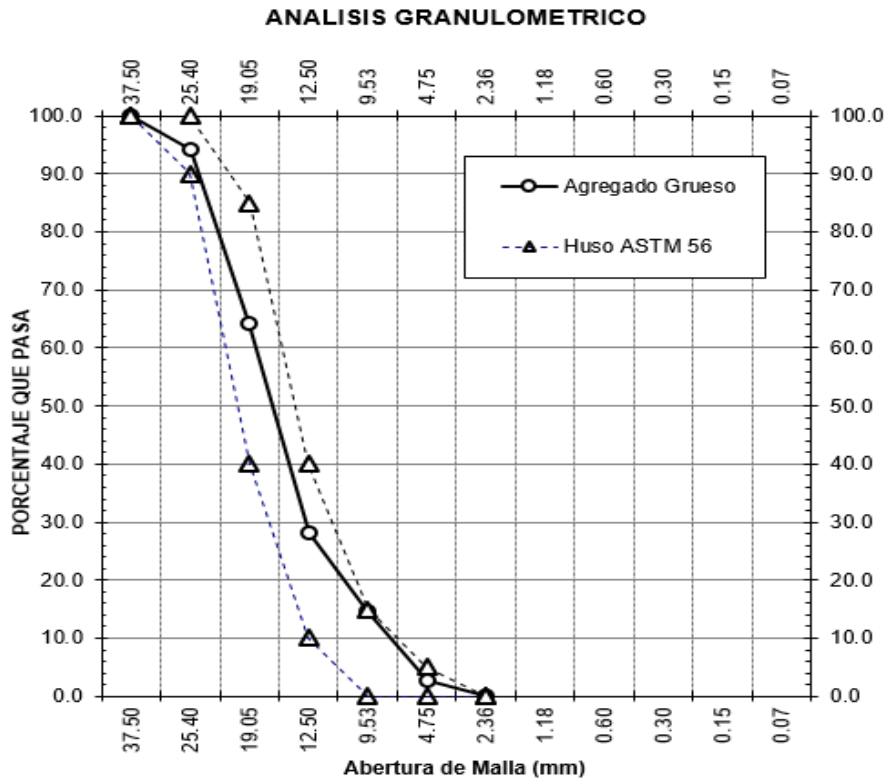


Figura N° 7: Curva granulométrica del agregado grueso – Huso 56 según ASTM C 33

De manera complementaria anotamos las propiedades físicas del agregado grueso muestra de la cantera Unicon Sector T en el siguiente Cuadro N° 15.

Cuadro N° 15: Propiedades del agregado Grueso.

Ensayo	Resultado		Norma
Tamaño Máximo	1"		ASTM C 33
Peso Unitario Suelto	1393	Kg/m ³	ASTM C29
Peso Unitario Compactado	1547	Kg/m ³	ASTM C29
Peso Específico de Masa	2667	Kg/m ³	ASTM C128
P.E.M. saturada de superficie seca	2698	Kg/m ³	ASTM C128
P.E. Aparente	2753	Kg/m ³	ASTM C128
Absorción	1.160	%	ASTM C128
Contenido de Humedad	2.91	%	ASTM C566
Módulo de Finura	7.18	s/d	ASTM C136

Fuente Elaboración Propia

El método de diseño del concreto busca el máximo peso unitario de la combinación de los agregados determinando el porcentaje de participación de los mismos, como se muestra en el Cuadro N° 16 y Figura N° 8

Cuadro N° 16: Peso unitario compactado de la combinación de los agregados

PUC Kg/m ³	Arena (%)	Piedra (%)
2,012	47	53
2,087	45	55
2,058	43	57
2,019	41	59

Elaboración propia

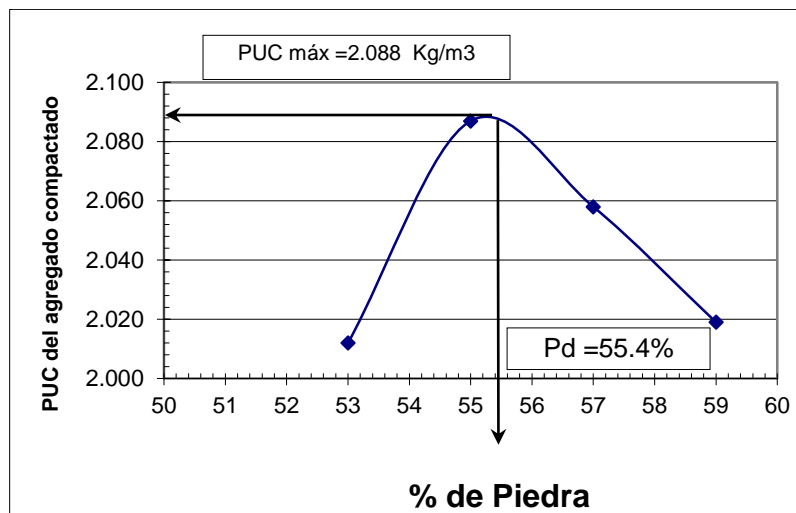


Figura N° 8: Peso unitario compactado de la combinación de los agregados

La relación agregado Fino/Grueso = 44.6/55.4 se empleará en la presente investigación. Se observa que el Tamaño Nominal Máximo del agregado global es 1" pues en esta malla se obtiene el 4.7% retenido de dicho material.

Estudiaremos cuatro tipos de mezcla caracterizados en la relación agua cemento para evaluar el desempeño de permeabilidad en el estado seco con el sistema propuesto de medición de la permeabilidad, las relaciones agua cemento propuesto será de 0.45, 0.50, 0.60 y 0.70 para los cuales se sigue 6 pasos los cuales son:

- Paso 1:** Estimar la cantidad de agua de acuerdo a la relación A/C la tabla de agua para mezclado del ACI C 212 de acuerdo a las características de los agregados.
- Paso 2:** Cálculo respectivo de la cantidad de cemento de acuerdo al agua de estimación siendo conocido la relación A/C.
- Paso 3:** Cálculo del volumen ocupado por el agua y el cemento conociendo sus propiedades físicas, estimar el contenido de aire atrapado de acuerdo a la recomendación ACI C212 y determinar el volumen de agregados por diferencia para alcanzar 1 m³.
- Paso 4:** Cálculo de los ingredientes del concreto en estado humedecido para el uso en Obra de acuerdo a las propiedades físicas de los agregados.
- Paso 5:** Verificación del diseño de prueba, mediante la medición del asentamiento en una muestra representativa.
- Paso 6:** Corrección de la plasticidad del concreto fresco acuerdo a 5 lt por 1" de asentamiento a modificar, y continuar en el paso 2.

Realizando los pasos descritos obtenemos los diseños de obra que sirvieron de análisis al estudio de la permeabilidad los que se nombran como diseño D-070, D-060, D-050 y D-045 los cuales serán sustentadas en los siguiente artículos.

Cuadro N° 17: Dosificación de mezcla para concreto por m3.

MEZCLA	Cemento (kg)	Agua (Lt)	Agregado Fino (kg)	Agregado Grueso (kg)	Peso de tanda (Kg)
D-070	304.3	221.0	810.0	1003.0	2338.3
D-060	355.0	220.8	790.0	979.0	2344.8
D-050	456.0	235.2	734.0	909.0	2334.2
D-045	520.0	240.9	703.0	871.0	2334.9

Elaboración Propia

4.2 DISEÑO DE MEZCLA CON RELACION AGUA CEMENTO 0.70

En la presente investigación utilizaremos las características físicas de los agregados descritos en los cuadros 14 y 15 con el objetivo de conseguir un concreto con relación Agua/Cemento = 0.70 y plasticidad de asentamiento de 3" a 4" y desarrollando los 6 pasos de diseño anotamos el procedimiento de cálculo realizado a respecto:

Arena 44,6 %
Piedra 55,4 %

	Diseño Seco Kg	Volumen Absoluto m ³	Diseño Obra m ³	Tanda Kg	correccion	Diseño Seco Kg	Volumen Absoluto m ³
Cemento	297.1	0.0943	297.1	5.64	7.143	304.3	0.0966
Agua (0,7)	208.0	0.2080	216.1	4.10	5.000	213.0	0.2130
Arena	813.5	0.3037	818.4	15.53		813.5	0.3037
Piedra	1010.5	0.379	1014.0	19.24		1010.5	0.3790
Aire		0.0150					0.0150
Suma	2329.1	1.0000	2345.6	44.51			1.0073
Slump – cm				5			7.5

Verificando y corrigiendo del agua de amasado con el cual terminamos el diseño de mezcla para A/C= 0.70.

Arena 44,6 %
Para 1 m Piedra 55,4 %

	Diseño Seco Kg	Volumen Absoluto m ³	Tanda Kg	Diseño Seco Kg	Volumen Absoluto m ³	Diseño Obra m ³
Cemento	302.1	302.1	5.77	304.3	0.0966	304.3
Agua (0,7)	211.5	219.5	4.19	213.0	0.2130	221.0
Arena	807.6	812.0	15.51	805.0	0.3005	810.0
Piedra	1003.2	1006.0	19.22	999.9	0.3751	1003.0
Aire					0.0150	
Suma	2324.4	2339.6	44.7		1.0002	2338.3
Slump – cm			8			

4.3 DISEÑO DE MEZCLA CON RELACION AGUA CEMENTO 0.60

Con los agregados del estudio elaborarnos un segundo tipo de muestras aumentado la densidad de cemento y ajustándolo a una relación A/C=0.60 y una plasticidad de 3" a 4" de slump al cual se ejecutó los 6 pasos del diseño y anotamos los resultados.

Arena 44,6 %
Piedra 55,4 %

	Diseño Seco Kg	Volumen Absoluto m ³	Diseño Obra m ³	Tanda Kg	correccion	Diseño Seco Kg	Volumen Absoluto m ³
Cemento	355.0	0.1127	355.0	6.78	3.333	358.3	0.1137
Agua (0,6)	213.0	0.2130	220.8	4.22	2.000	215.0	0.2150
Arena	785.5	0.2932	790.2	15.10		785.5	0.2932
Piedra	975.7	0.366	979.0	18.70		975.7	0.3660
Aire		0.0150					0.0150
Suma	2329.2	0.9999	2345.0	44.8			1.0029
Slump – cm				7			8

Verificando y corrigiendo el agua de amasado terminamos el segundo diseño de mezcla con A/C = 0.6.

Arena 44,6 %
Para 1 m Piedra 55,4 %

	Diseño Seco Kg	Volumen Absoluto m ³	Tanda Kg	Diseño Seco Kg	Volumen Absoluto m ³	Diseño Obra m ³
Cemento	357.3	357.30	6.85	355.0	0.1127	355.0
Agua (0.6)	214.4	222.20	4.26	213.0	0.2130	220.8
Arena	783.2	788.00	15.1	785.5	0.2932	790.0
Piedra	972.9	976.00	18.7	975.7	0.366	979.0
Aire					0.0150	
Suma	2327.8	2343.5	44.9		0.9999	2344.8
Slump – cm			8.5			

4.4 DISEÑO DE MEZCLA CON RELACION AGUA CEMENTO 0.50

Elaboramos un tercer tipo de concreto aumentando la densidad de cemento para alcanzar la relación A/C= 0.50 y plasticidad 3” a 4” procedemos a seguir los 6 pasos de diseño anotando los siguientes resultados:

Arena 44,6 %
Piedra 55,4 %

	Diseño Seco Kg	Volumen Absoluto m ³	Diseño Obra m ³	Tanda Kg	correccion	Diseño Seco Kg	Volumen Absoluto m ³
Cemento	440.0	0.1397	440.0	8.4	14.000	454.0	0.1441
Agua (0,5)	220.0	0.2200	227.4	4.4	7.000	227.0	0.2270
Arena	745.0	0.2781	749.5	14.40		745.0	0.2781
Piedra	925.4	0.3471	928.0	17.80		925.4	0.3471
Aire		0.0150					0.0150
Suma	2330.4	0.9999	2344.9	45			1.0113
Slump – cm				5			8

Verificando y corrigiendo el agua de amasado terminamos el tercer diseño de mezcla de A/C= 0.50.

Arena 44,6 %
 Para 1 m Piedra 55,4 %

	Diseño Seco Kg	Volumen Absoluto m ³	Tanda Kg	Diseño Seco Kg	Volumen Absoluto m ³	Diseño Obra m3
Cemento	448.9	448.9	8.70	456.0	0.1448	456.0
Agua (0.5)	224.5	231.8	4.49	228.0	0.2280	235.2
Arena	736.7	741.0	14.37	729.5	0.2723	734.0
Piedra	915.1	918.0	17.8	906.2	0.3399	909.0
Aire					0.0150	
Suma	2325.2	2339.7	45.4		1.0000	2334.2
Slump – cm			8			

4.5 DISEÑO DE MEZCLA CON RELACION AGUA / CEMENTO 0.45

Elaboramos el cuarto tipo de concreto aumentando la densidad de cemento para alcanzar la relación A/C= 0.45 manteniendo la plasticidad 3” a 4” procedemos a seguir los 6 pasos de diseño anotando los siguientes resultados

Arena 44,6 %
 Piedra 55,4 %

	Diseño Seco Kg	Volumen Absoluto m ³	Diseño Obra m3	Tanda Kg	correccion	Diseño Seco Kg	Volumen Absoluto m3
Cemento	504.4	0.1601	504.4	9.79	13.333	517.8	0.1644
Agua (0,45)	227.0	0.2270	234.1	4.54	6.000	233.0	0.2330
Arena	712.5	0.266	716.8	13.90		712.5	0.2660
Piedra	885.0	0.332	888.0	17.20		885.0	0.3320
Aire		0.0150					0.0150
Suma	2329.0	1.0001	2343.3	45.43			1.0104
Slump – cm				4			7.5

Verificando y corrigiendo el agua de amasado terminamos el cuarto diseño de mezcla de A/C=0.45.

Arena 44,6 %
 Para 1 m Piedra 55,4 %

	Diseño Seco Kg	Volumen Absoluto m ³	Tanda Kg	Diseño Seco Kg	Volumen Absoluto m ³	Diseño Obra m3
Cemento	512.5	512.5	10.03	520.0	0.1651	520.0
Agua (0.45)	230.6	237.6	4.65	234.0	0.2340	240.9
Arena	705.2	709.4	13.9	699.0	0.2609	703.0
Piedra	875.9	879.0	17.2	868.3	0.3257	871.0
Aire					0.0150	
Suma	2324.2	2324.2	45.78		1.0007	2334.9
Slump – cm			8			8.8

CAPÍTULO V

PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO

5.1 INTRODUCCION

Estudiamos al concreto fresco desde el punto de vista de la permeabilidad identificando las propiedades o características físicas que manifiestan las mezclas plásticas, destacando la Consistencia, Fluidéz, Contenido de aire, Tiempo de fraguado, Exudación y Peso Unitario, con la importancia que sucede en la evaporación del agua dejando el camino al paso de agua al interior del concreto.

5.2 ASENTAMIENTO

Este ensayo identifica la condición fluida de un concreto ante la deformación por peso propio de una muestra compactada en un molde de tronco cónico que luego de ser desmoldada se mide en desplazamiento vertical del que fuera el centro de la cúspide.

En este ensayo estableceremos las misma condición plástica para las cuatro muestras de concreto; D-070, D-060, D-050 y D-045 para los cuales seguiremos los procedimientos según **NTP 339.035** utiliza un cono metálico abierto por sus bases, una varilla lisa de compactación y una plancha metálica de aislamiento en el piso obteniendo un asentamiento de diseño de 3" a 4".

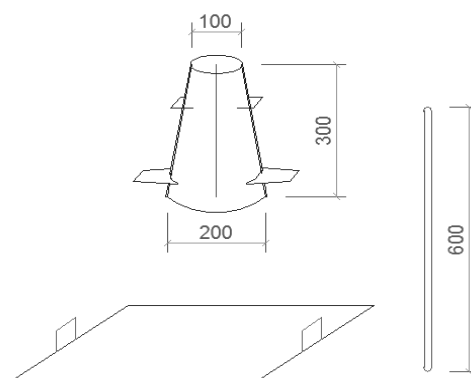


Figura N° 9: Equipo del Cono de Abrams, asentamiento del concreto fresco

5.3 EXTENSIBILIDAD DE LA MEZCLA

En el presente estudio realizaremos un reconocimiento de la deformación dinámica de una muestra de concreto fresco según NTP 339.219 , para el ensayo se utiliza una mesa de sacudidas en cuyo centro se coloca la muestra de concreto fresco al que se aplica la acción repetida

de la caída de una altura de 1/2" clasificando la huella de concreto.

Este ensayo no es portátil por lo que es aplicable solo en laboratorio.

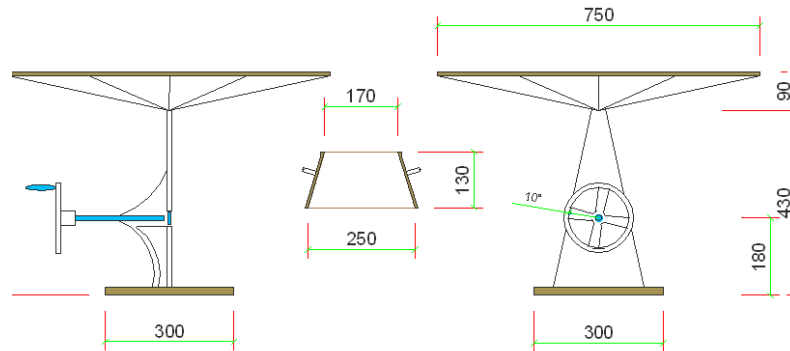


Figura N° 10: Equipo de prueba: Mesa de prueba de fluidez

CUADRO N° 18: Valores de asentamiento y fluidez

MEZCLA	Asentamiento		Fluidez (cm)	Temperatura (°C)
	(cm)	pulg		
D-070	9.5	3 3/4	48.6	22.5
D-060	9.5	3 3/4	52.6	28.0
D-050	9.5	3 3/4	52.7	26.0
D-045	8.9	3 3/4	52.0	26.0

Elaboración Propia

5.4 CONTENIDO DE AIRE

El concreto fresco lleva consigo un esponjamiento natural en el que debe ser reducido con esfuerzos de vibración, de esta manera se reduce la tensión superficial del agua dejando ascender las burbujas atrapadas de aire a la superficie, es importante conocer y medir este valor por lo que existe tres métodos con este fin: el método volumétrico según ASTM C 173, el método gravimétrico según ASTM C138 y por último según NTP 339.083 la determinación del contenido de aire de una mezcla fresca por el cambio de volumen medido en el cambio de presión neumática en el aparato tipo Washington.

Realizamos la medición del aire atrapado según NTP 339.083 en la suposición que el vacío que se manifiesta servirá de camino para en agua en el estado de permeabilidad.

Los valores aquí registrados se dan en el porcentaje de vacíos medidos en términos de volumen, mientras que en la prueba de

permeabilidad estos mismos vacíos serán reemplazados por el agua o el fluido con que se prueba la permeabilidad del concreto. Dichos valores nos sirven de referencia para estimar como es que los poros o vacíos del concreto se van cerrando a medida que progresa la resistencia, en consecuencia si reemplazamos la cantidad de aire atrapado en el concreto por un volumen igual de agua se tiene que el 1.5 % que normalmente encontramos en concretos normales encontramos a 15 gr en 2325 gr de concreto valorizándolo en términos de porcentaje tenemos que el aire atrapado representa 0.645% como vacío hidráulico por el aire atrapado del concreto fresco.

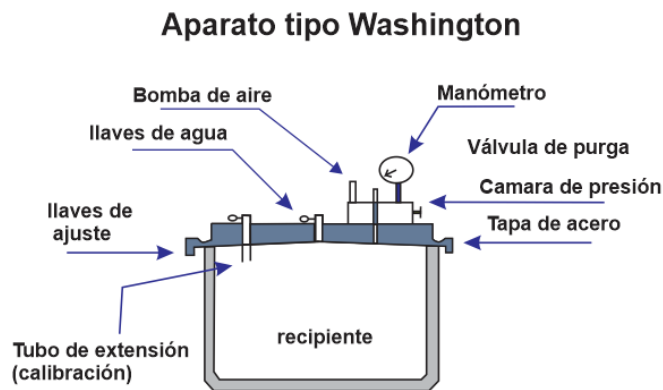


Figura N° 11: Equipo de prueba del contenido de aire en el concreto fresco

CUADRO N° 19: Valores de porcentaje de aire atrapado

MEZCLA	% de Aire
D-070	1.50
D-060	1.50
D-050	1.50
D-045	1.48

Elaboración propia, equivalente a 0.65% de vacío hidráulico.

5.5 TIEMPO DE FRAGUADO

En este ensayo se trata de determinar el progreso de la resistencia en el concreto desde el inicio en la reacción química que comienza en el concreto con el contacto del agua al cemento.

La fragua inicial está caracterizada por una pérdida de la plasticidad en el concreto, liberación térmica y término de la exudación y es en esta exudación que al agua de amasado asciende a la superficie para luego ser absorbida por el concreto el vacío que deja lo anotamos como la porosidad

inicial del concreto.

La fragua final está caracterizado por una enorme resistencia a la penetración del concreto, consumo de agua a modo de curado denotando la formación interna de cristales del concreto esto sucede para los concretos normales entre tres a cuatro horas del nacimiento del concreto.

Realizamos este ensayo según NTP **339.082** identificando la fragua inicial a una presión por penetración es de 500 Lb/Pulg², fragua final a una presión de penetración de 4,000 Lb/Pulg².

CUADRO Nº 20: Resumen de tiempos de fragua inicial y final

MEZCLA	T.F. INICIAL	T.F. FINAL
D-070	04h 37m	05h 53m
D-060	04h 37 m	05h 57m
D-050	04h 32m	05h 51m
D-045	03h 50m	05h 57m

Elaboración Propia

5.6 EXUDACION

La exudación es una segregación de agua que se manifiesta en la aparición de agua en la superficie de concreto fresco, dicho flujo es inevitable y es consecuencia de la sedimentación de las partículas sólidas en la masa de dicho concreto fresco.

La exudación no es en sí, ni buena ni mala. En muchos casos reduce la relación agua / cemento mejorando la calidad del concreto; en otras ocasiones permiten la formación fisuras de contracción.

La **NTP 339.077** normaliza la forma de recoger las muestras y señala dos procedimientos; el primero por compactación, y otra por acción de vibración mecánica, para nuestra de investigación usamos el proceso de la barra compactadora, para el análisis de la permeabilidad esta exudación la podemos considerar como un vacío primario ha permitido el paso de una cantidad de agua acercándose a la definición de permeabilidad o absorción, en nuestro análisis ejercitaremos el cálculo de cuanto volumen de agua es exudada y la compararemos con el peso seco del concreto lo que toma la forma porosidad hidráulica el cual lo llamaremos “% de Vacíos hidráulico” dejando notar un parecido a las consideraciones de Darcy.

El siguiente cuadro anotaremos la cantidad de agua exudada según NTP 339.077 y está la expresa de dos maneras; una referenciando la exudación y el agua de amasado; y otra expresando en términos de cantidad de agua por unidad de área de concreto.

Para el análisis de la permeabilidad consideramos el vacío hidráulico que aporta es la exudación referenciado al peso de los materiales secos del concreto el cual lo anotamos en la tercera columna.

CUADRO Nº 21: Valores de Exudación

MEZCLA	Exudación (%)	Exudación (ml/cm ²)	Vacío Hidráulico de exudación (%)
D-070	6.27%	0.359	1.162%
D-060	6.22%	0.335	1.175%
D-050	5.84%	0.335	1.179%
D-045	3.05%	0.184	0.926%

Elaboración Propia, anexo B7.

5.7 PESO UNITARIO

Se ha observado que existe poca diferencia entre en peso de concreto fresco y endurecido, por ello se analiza cual es el peso unitario del concreto fresco.

En la presente investigación seguiremos la NTP 339.046 así también ASTM C138, que define los pasos a seguir para determinar el peso unitario en el concreto fresco, Para este ensayo es necesario contar con un recipiente metálico de 1/2 pie cúbico, una balanza con capacidad de 25 kilos y una precisión de 0.1 gramos además de una varilla compactadora.

CUADRO Nº 22: Valores de peso unitario para el concreto fresco

MEZCLA	W c f Kg	Peso Unitario kg/m ³
D-070	33.750	2,385
D-060	32.900	2,325
D-050	32.350	2,286
D-045	32.450	2,293

Elaboración Propia.

CAPÍTULO VI

PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO

6.1 INTRODUCCION

El concreto en su etapa endurecida es una estructura rígida integrada principalmente por agregados y los cristales de cemento además en su estructura encontramos atrapado burbujas de aire que son el resultado del proceso de fabricación o en otro casos producidos por los aditivos.

El concreto es de naturaleza química y ha experimentado una etapa exotérmica, contracción y la exposición a cambios de temperatura ocasionando contracción que a su vez origina fisuras, estudiaremos al concreto mediante muestras de forma cilíndrica y para el análisis de la permeabilidad muestrearemos al concreto en pastillas de forma tronco cónicas todas curadas bajo agua.

La norma utilizada es **NTP 339.033** que define el Método de ensayo para la elaboración y curado de probetas cilíndricas de concreto en obra, para la permeabilidad en el Perú no se tiene una norma más allá de la aceptación de tubos de concreto.

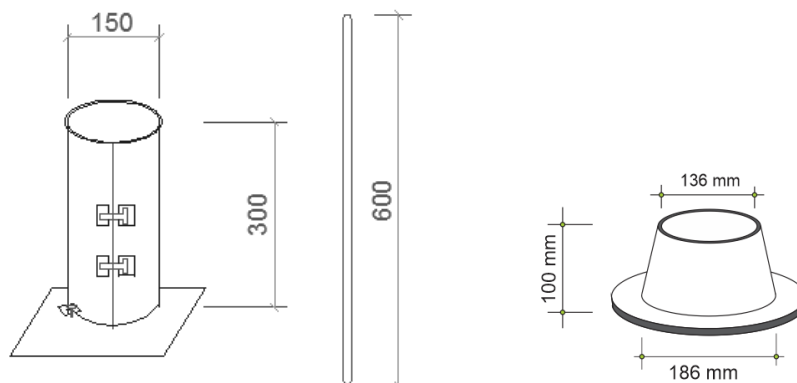


Figura N° 12: Moldes metálicos para muestras del concreto y permeabilidad

6.2 RESISTENCIA A LA COMPRESION

Esta característica busca evaluar el desempeño del concreto endurecido ante fuerzas aplastantes a su estructura, dicha prueba se realiza en el elemento cilíndrico de muestreo y es sometido a fuerzas de compresión por contacto y uniformemente distribuidas en sus extremos según la norma **NTP 339.034, ASTM C39** que define el método de ensayo para el esfuerzo a la compresión en probetas cilíndricas de concreto, dicha prueba es la relación simple de la fuerza de rotura dividido con el área de la sección de la probeta en la siguiente fórmula.

Fórmula de compresión en probetas

$$C = (4 * P) / (\pi * D^2)$$

Dónde:

C = Resistencia a la compresión (kg/cm²)

P = Carga de rotura (kg)

D = Diámetro de la probeta (cm)

En la presente investigación realizamos el muestreo de 9 unidades representativas para la compresión y 3 para la permeabilidad del concreto en cada uno de las cuatro tipos de mezcla con a/c 0.70, 0.60, 0.50 y 0.45. En el caso de muestra para compresión se evalúa su desempeño a 7, 14, 28 y 42 días de edad concluyendo en los siguientes resultados.

CUADRO N° 23: Valores de resistencia a la compresión según edad

MEZCLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm)			
	EDAD (días)			
	7	14	28	42
D-070	213.1	234.6	251.6	249.4
D-060	226.0	256.1	276.6	284.3
D-050	266.0	286.6	323.2	319.3
D-045	289.1	328.0	383.3	384.2

Elaboración Propia

6.3 RESISTENCIA A LA TRACCION.

El ensayo a tracción busca evaluar la fuerza máxima que evita la separación de su estructura para el cual nos apoyamos al método brasileño 1,948 por Lobo Carneiro en Brasil el cual se describe en la **NTP 339.084** con el título de; Método de ensayo para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto por compresión diametral de una probeta cilíndrica. El cual emplea la fórmula N° 12, en la presente investigación se toma 9 muestras de las cuales se obtienen un promedio en cada de nuestras cuatro clases de concreto.

Fórmula de la resistencia a la tracción

$$T = \frac{2F}{\pi Ld}$$

Dónde:

T = Resistencia a la tracción (Kg / cm²)

F = Carga Máxima (Kg.)

D = Diámetro del espécimen (cm)

L = Longitud del Especimen (cm)

La resistencia a la tracción del concreto es un valor de mucho cuidado su utilidad e importancia lo encontramos en los puentes colgantes.

CUADRO N° 24: Valores de Tracción por compresión diametral

MEZCLA	T-28 días kg/cm ²
D-070	32.3
D-060	34.5
D-050	36.4
D-045	35.7

Elaboración Propia

6.4 MODULO DE ELASTICIDAD

El módulo elástico del concreto es la capacidad de deformación del material en respuesta a un determinado esfuerzo en compresión existiendo una deformación elástica plástica el cual termina en la rotura del material además es conocido como el Módulo de Young. La determinación del módulo elástico es una aproximación por cualquiera de los métodos que existen, sencillamente porque el concreto no es perfectamente elástico.

Empleamos el método de Los niveles Ópticos para determinar la curvatura de la deformación de acuerdo a la norma **ASTM C-469**:

- a.- El punto de curva Esfuerzo deformación corresponde a una deformación unitaria de 0.5×10^{-4} y su esfuerzo correspondiente.
- b.- El punto de la curva Esfuerzo deformación correspondiente al 40 % de la resistencia a la compresión y la deformación para este punto, determina el Módulo Elástico.

Formula del Módulo elástico

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

Dónde:

E = Módulo Elástico Estático (Kg/cm²)

σ_1 = Esfuerzo cuando sucede ε_1 (Kg/cm²)

σ_2 = Esfuerzo para el 40 % de f'_c de rotura(Kg/cm²)

ε_1 = Deformación Unitaria = 0.5×10^{-4}

ε_2 = Deformación Unitaria cuando sucede σ_2

Para cada diseño de mezcla se ensayaron dos especímenes de 28 días

de edad, el resultado promedio lo vemos en el siguiente cuadro.

CUADRO Nº 25: Valores del módulo elástico para cada tipo de mezcla

MEZCLA	E (kg/cm ²)
D-070	255,810
D-060	243,728
D-050	251,593
D-045	231,545

Elaboración Propia

6.5 COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD

El ensayo de medición del Coeficiente de Permeabilidad es un proyecto basado por la BUREAU OF RECLAMATION por el que se persigue anotar magnitudes de energía hidráulica, espesor del espécimen, área expuesta de contacto, cálculo del vacío hidráulico y por último el caudal permeado en un lapso de tiempo, todos estos parámetros relacionados por una formula experimental propuesto por el investigador debido a que hoy en día no existe un método de ensayo normalizado de aceptación general ni unos valores de referencia que permitan establecer comparaciones y clasificaciones en los concretos ni en los morteros .

Diseñaremos y construimos un equipo primario para la aplicación de presión hidráulica en dirección axial con respecto un molde de concreto, logrando la hermeticidad lateral y vertical, flujo controlado y a presión constante en el espécimen de concreto equipo con el cual se recogió y registró el siguiente comportamiento:

- 1) Las muestras de concreto tronco cónicas que fueron saturadas en el proceso de curado fueron inmediatamente colocados en el equipo de permeabilidad tras la aplicación hidráulica de 50 mt de columna de agua, no sucede una comunicación hidráulica inmediata.
- 2) En plena prueba hidráulica la superficie de salida manifiesta un secamiento de su superficie.
- 3) Las pruebas de aplicación hidráulica sufren una interrupción al término de la cantidad de agua de medición en el arnés por el que la prueba de permeabilidad se realiza con recargas en ciclos que dependen del reservorio del fluido de prueba.
- 4) Las pruebas hidráulicas en el equipo de permeabilidad originan con un desplazamiento del líquido de prueba al interior de la muestra de concreto,

la presión de confinamiento es sostenido en todo momento por el sector neumático del reservorio el cual es interrumpido en los procedimientos de recarga general de presión.

- 5) Al término del examen de permeabilidad las muestras de concreto tronco cónicas son llevadas a la rotura verificando que las muestras presentan una capa húmeda.
- 6) Existe la factibilidad que se produzca la rotura de la muestra de concreto en pleno examen debido a corto espesor de la misma.
- 7) Durante la ejecución de la prueba se emplea una menor cantidad de agua permeada en el mismo lapso de tiempo para ciclos posteriores.

A la respuesta de la anotación 2 se presume que la aplicación del modelo de Darcy no se ha desarrollado plenamente como flujo en todo el espesor de la muestra por lo que se concluye que existe el desarrollo parcial de flujo manifestándose como capa húmeda en el cual si se da el modelo de Darcy.

En la búsqueda explicar la capa húmeda es preciso definir que esta se conduce por los espacios inertes a cualquier reacción química con el cemento no hidratado, el concreto libre de fisuras manifestará una capa húmeda homogénea.

Queda como condición ideal que; el flujo estable que menciona Darcy sucede cuando los **vacíos hidráulicos** son llenados por el agua.

Para el concreto el llenado de sus vacíos se da en un tiempo muy largo por tanto es necesario calcular la permeabilidad progresiva en función de la profundidad de penetración de la muestra explicado en la página 49 materia de la nueva propuesta.

$$k = \frac{(Q_1)^2 \cdot e}{Q \cdot A \cdot H \cdot t_1}$$

Dónde:

K: coeficiente de permeabilidad para el concreto (cm/s)

Q₁: caudal permeado (cm³)

e: Espesor de la muestra de concreto

Q: Vacíos hidráulicos totales: W _{saturado} – W _{seco} (cm³)

A: área geométrica de la muestra (cm²)

H: Presión hidráulica en columna de agua (cm)

t₁: Tiempo acumulado del experimento (seg)

Fuente: Aporte del investigador, coeficiente de permeabilidad progresivo.

En todas las investigaciones sobre la permeabilidad investigadas

no se tiene valores o parámetros de clasificación respecto a la permeabilidad del concreto por ello tomaremos los resultados en suelos.

CUADRO N° 26: Clasificación de la permeabilidad según K de Darcy.

CLASIFICACION	K (cm/s)		SUELO
Muy Permeable	>10 ⁻²		Grava
Permeable	100	1E-03	Arena
Poco Permeable	1E-03	1E-06	Limo
Pract. Impermeable	1E-06	1E-09	Arcilla
Impermeable	1E-09	1E-12	Arcilla Tratada

Fuente: AASHTO T215

- **Vacío hidráulico.**

En el cálculo del coeficiente de permeabilidad es necesario hallar la porosidad que sirve de camino al líquido dentro de la muestra, de esto tenemos dos estados; inicial y final.

Vacío hidráulico inicial. Consideramos que es todo vacío que nace en el concreto fresco y estimamos este valor transformando el volumen de aire atrapado del concreto en peso de agua y lo comparamos al peso bruto de la muestra, de igual manera con el agua de exudación es comparada con el peso seco de su respectiva muestra.

CUADRO N° 27: Estimación del Vacío Hidráulico inicial.

MEZCLA	Vacío Hidráulico de exudación	Vacío Hidráulico del aire atrapado	Vacío Hidráulico Inicial
C - 050	1.162%	0.645%	1.807%
C - 060	1.175%	0.645%	1.820%
C - 070	1.179%	0.645%	1.824%
C - 045	0.926%	0.645%	1.571%

Fuente: Elaboración Propia, Anexo B7.

Que se suma a los procedimientos generales del cálculo de la permeabilidad.

Vacío hidráulico final, en el concreto en su estado endurecido posee una porosidad el cual permite el tránsito de un líquido al interior, el punto de saturación de la muestra se da cuando dicho volumen ha pasado en forma ininterrumpida en la prueba hidráulica.

No existe un método para determinar este valor entonces procedemos en hallar el máximo peso saturado de la muestra y el máximo peso seco de la misma denominando a esta diferencia como el nombre de vacío hidráulico. La condición saturada se da cuando la muestra es sometida a la prueba hidráulica particionada y sumergida para determinar su peso saturado superficialmente seco.

La condición seca es tomada al reunir las partes de las muestras y llevadas al secado por horneado por 115° C por 24 hr.

La diferencia de estas condiciones es nuestro término “Q” que es el vacío hidráulico para el espesor “e” de la muestra de concreto.

Cuadro Nº 28: Estimación del vacío hidráulico en muestras de diseño C070.

	W C070 Patron (a)	W_{ss} saturado SS (b)	W s Seco al horno (c)	vacío Hidráulico b-c = (d)	% vacios patron d / a %
1	2288	2335	2194	141	6.16%
2	2917	2952	2787	165	5.66%
3	2395	2430	2279	151	6.30%

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro Nº 29: Estimación del vacío hidráulico en muestras de diseño C060.

	W C060 Patron (a)	W_{ss} saturado SS (b)	W s Seco al horno (c)	vacío Hidráulico b-c = (d)	% vacios patron d / a %
1	3435	3446	3219	227	6.61%
2	3319	3335	3110	225	6.78%
3	3256	3280	3039	241	7.40%
4	3275	3300	3067	233	7.11%
5	3145	3166	2952	214	6.80%
6	3085	3104	2886	218	7.07%

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro Nº 30: Estimación del vacío hidráulico en muestras de diseño C050.

	W C050 Patron (a)	W _{sss} saturado SS (b)	W s Seco al horno (c)	vacío Hidráulico b-c = (d)	% vacios patron d / a %
1	3788	3804	3567	237	6.26%
2	3787	3797	3575	222	5.86%
3	3813	3814	3609	205	5.38%
4	3382	3535	3310	225	6.65%
5	3325	3485	3243	242	7.28%
6	3429	3558	3323	235	6.85%

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro Nº 31: Estimación del vacío hidráulico en muestras de diseño C045.

	W C045 Patron (a)	W _{sss} saturado SS (b)	W s Seco al horno (c)	vacío Hidráulico b-c = (d)	% vacios patron d / a %
1	3599	3630	3406	224	6.22%
2	3617	3667	3408	259	7.16%
3	3525	3553	3300	253	7.18%

Fuente: elaboración propia.

Concluimos este análisis con la conclusión porcentual de los mismos.

Cuadro Nº 32: Conclusión porcentual del vacío hidráulico en muestras de concreto endurecido de 28 días de edad.

Mezcla	W patron	W sss	W s	% vacios - patron
C070	100.00%	101.57%	95.53%	5.91%
C060	100.00%	100.51%	93.58%	6.69%
C050	100.00%	100.24%	94.41%	6.06%
C045	100.00%	94.16%	6.85%	6.69%

Con los vacíos hidráulicos preliminares lo aplicamos en la formula Nº 8 y obtenemos los siguientes cuadros y gráficos siguientes:

CUADRO Nº 33: Coeficiente de Permeabilidad en muestra C 070-1

Diseño de Mezcla	C070	e(cm)=	5.6	W p(gr)=	2288	$k = \frac{(Q1)^2 \cdot e}{Q \cdot A \cdot H \cdot t1}$	
Examen	09-Mar	A (cm2)=	176.7	W sss(gr)=	2335		Q % vacios
Fabricación	8-1	a (cm2)=	0.30191	W s(gr)=	2194		141 6.16%

Presión mt	Hora H:M	Lectura I cm	Tiempo Seg	T Ac Seg	Δ V cm3	Vol Ac cm3	K cm/seg	Permeada cm	
61	13:03								
61	13:33	36.0	1800	1800	10.9	10.9	2.42E-09	0.26	
58	13:55	32.0	1320	3120	9.7	20.5	5.23E-09	0.48	
58	14:25	30.0	1800	4920	9.1	29.6	6.90E-09	0.70	
58	14:55	27.0	1800	6720	8.2	37.7	8.21E-09	0.89	
58	15:25	18.0	1800	8520	5.4	43.2	8.48E-09	1.02	
60	15:35	5.0	600	9120	1.5	44.7	8.20E-09	1.05	
50	13:40	0.0	recarga del sistema						
50	13:50	3.1	600	9720	0.9	45.6	9.62E-09	1.07	
50	14:00	5.4	600	10320	0.7	46.3	9.34E-09	1.09	
50	14:40	15.0	2400	12720	2.9	49.2	8.56E-09	1.16	
50	14:50	20.5	600	13320	1.7	50.9	8.73E-09	1.20	
49	15:10	22.3	1200	14520	0.5	51.4	8.35E-09	1.21	
48	16:20	34.4	4200	18720	3.7	55.1	7.59E-09	1.30	
48	16:50	36.2	1800	20520	0.5	55.6	7.06E-09	1.31	

La recarga del sistema sucede ante la falta de liquido de prueba en la zona de medición de la permeabilidad.

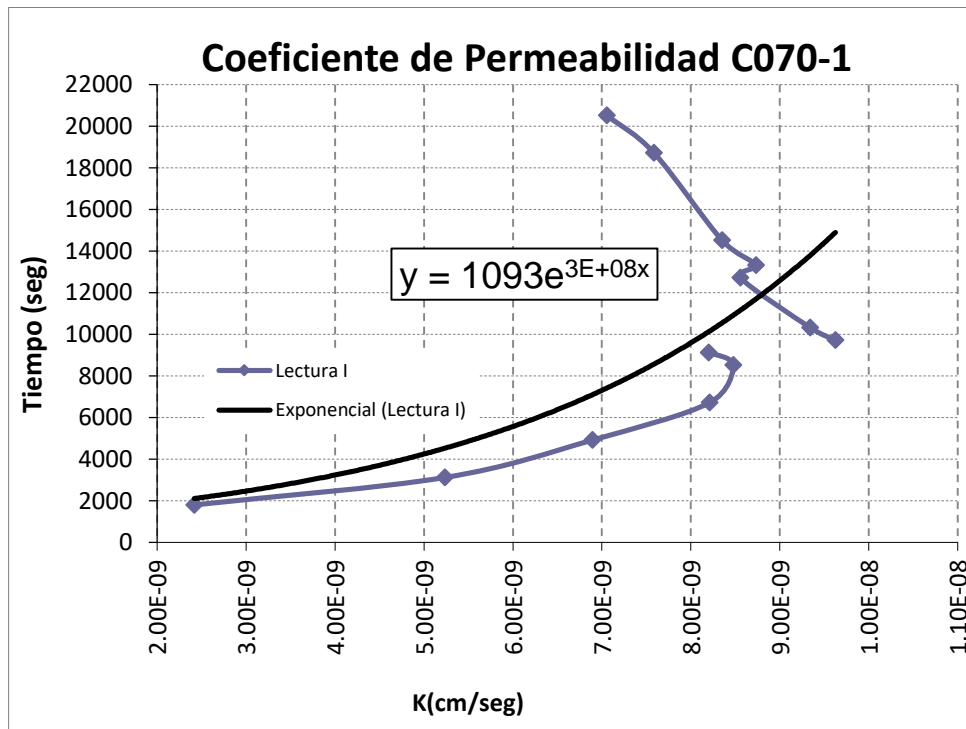


Figura Nº 13: Evaluación de la permeabilidad en C070-1

CUADRO Nº 34: Coeficiente de Permeabilidad en muestra C 070-2

Diseño de Mezcla	C070	e(cm)=	6.9	W p(gr)=	2917	$k = \frac{(Q1)^2 \cdot e}{Q \cdot A \cdot H \cdot t1}$	
Examen	09-Mar	A (cm2)=	176.7	W sss(gr)=	2952	Q	% vacios
Fabricación	6-2	a (cm2)=	0.3019	W s(gr)=	2787	165	5.66%

Presión mt	Hora H:M	Lectura l cm	Tiempo Seg	T Ac Seg	Δ V cm3	Vol Ac cm3	K cm/seg	Permeada cm
61	13:03							
61	13:33	35.5	1800	1800	10.7	10.7	2.48E-09	0.31
58	13:55	31.8	1320	3120	9.6	20.3	5.40E-09	0.59
58	14:25	29.8	1800	4920	9.0	29.3	7.13E-09	0.85
58	14:55	26.8	1800	6720	8.1	37.4	8.50E-09	1.08
58	15:25	18.1	1800	8520	5.5	42.9	8.80E-09	1.24
60	15:35	4.6	600	9120	1.4	44.3	8.47E-09	1.28
50	13:40	0.0						
50	13:50	4.4	600	9720	1.3	45.6	1.01E-08	1.32
50	14:00	6.5	600	10320	0.6	46.2	9.80E-09	1.34
50	14:40	13.0	2400	12720	2.0	48.2	8.64E-09	1.40
50	14:50	17.6	600	13320	1.4	49.6	8.73E-09	1.44
49	15:10	21.8	1200	14520	1.3	50.8	8.60E-09	1.47
48	16:20	27.2	4200	18720	1.6	52.5	7.25E-09	1.52
48	16:50	33.6	1800	20520	1.9	54.4	7.11E-09	1.58

La recarga del sistema sucede ante la falta de liquido de prueba en la zona de medición de la permeabilidad.

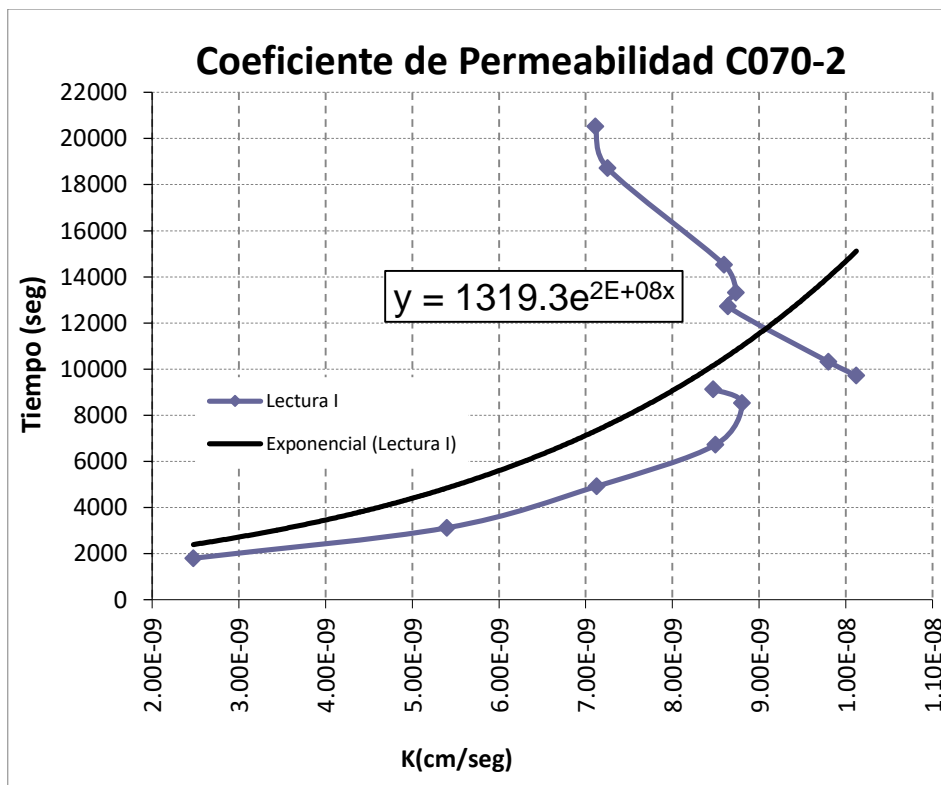


Figura Nº 14: Evaluación de la permeabilidad en C070-2

CUADRO Nº 35: Coeficiente de Permeabilidad en muestra C 070-3

Diseño de Mezcla	C070	e(cm)=	5.8	W p(gr)=	2395	$k = \frac{(Q1)^2 \cdot e}{Q \cdot A \cdot H \cdot t1}$
Examen	09-Mar	A (cm2)=	176.7	W sss(gr)=	2430	Q % vacios
Fabricación	6-2	a (cm2)=	0.30191	W s(gr)=	2279	151 6.30%

Presión mt	Hora H:M	Lectura l cm	Tiempo Seg	T Ac Seg	Δ V cm3	Vol Ac cm3	K cm/seg	Permeada cm	
61	13:03								
61	13:33	40.8	1800	1800	12.3	12.3	3.00E-09	0.30	
58	13:55	36.0	1320	3120	10.9	23.2	6.46E-09	0.57	
58	14:25	34.5	1800	4920	10.4	33.6	8.60E-09	0.82	
58	14:55	32.8	1800	6720	9.9	43.5	1.06E-08	1.06	
58	15:25	21.1	1800	8520	6.4	49.9	1.09E-08	1.22	
60	15:35	27.2	600	9120	8.2	58.1	1.34E-08	1.42	
50	13:40	0.0	Recarga de fluido						
50	13:50	5.5	600	9720	1.7	59.7	1.60E-08	1.46	
50	14:00	8.6	600	10320	0.9	60.7	1.55E-08	1.48	
50	14:40	18.0	2400	12720	2.8	63.5	1.38E-08	1.55	
50	14:50	24.8	600	13320	2.1	65.6	1.40E-08	1.60	
49	15:10	29.1	1200	14520	1.3	66.9	1.37E-08	1.63	
48	16:20	38.2	4200	18720	2.7	69.6	1.17E-08	1.70	
48	16:50	44.3	1800	20520	1.8	71.5	1.13E-08	1.74	

La recarga del sistema sucede ante la falta de liquido de prueba en la zona de medición de la permeabilidad.

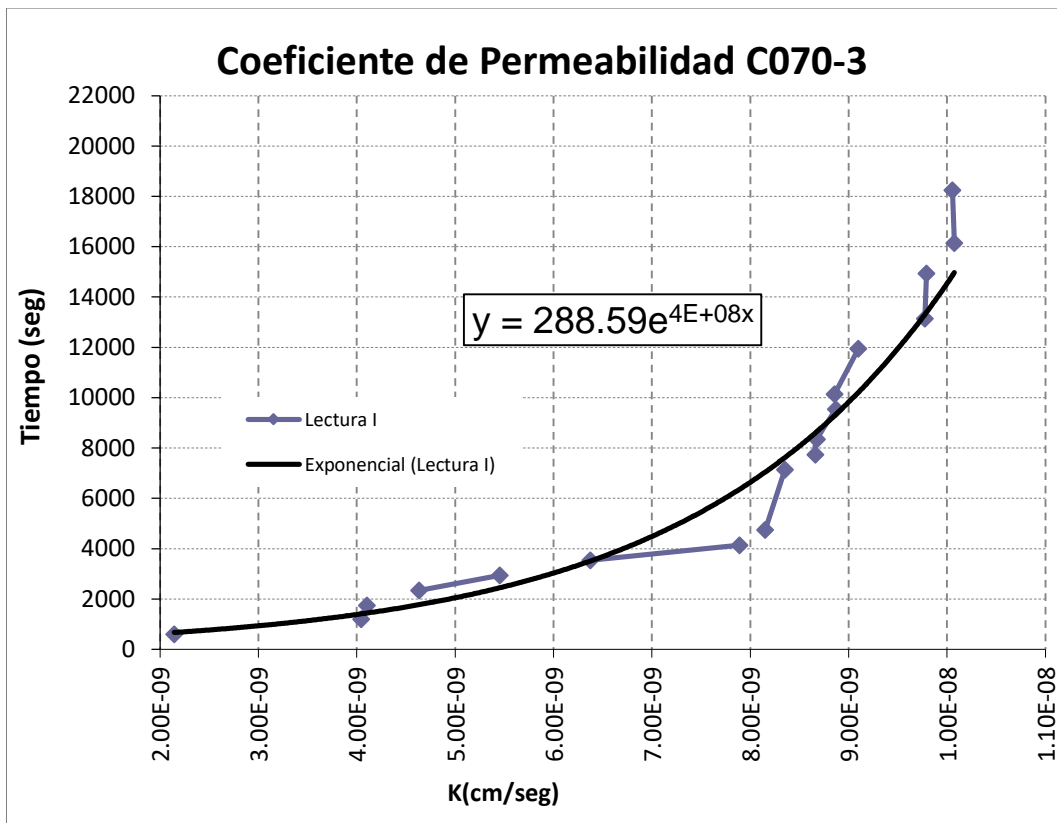


Figura Nº 15: Evaluación de la permeabilidad en C070-3

CUADRO Nº 36: Coeficiente de Permeabilidad en muestra C 060-1

ENSAYO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD					$k = \frac{(Q1)^2 \cdot e}{Q \cdot A \cdot H \cdot t1}$	
Diseño de Mezcla	C060	e(cm)=	7.55	W p(gr)=	3435	
Examen	1-10	A (cm2)=	176.7	W sss(gr)=	3446	Q % vacios
Fabricación	9-4	a (cm2)=	0.3019	W s(gr)=	3219	227 6.61%

Presión mt	Hora H:M	Lectura I cm	Tiempo Seg	T Ac Seg	Δ V cm3	Vol Ac cm3	K cm/seg	Permeada cm
72	11:13	0						
70	11:24	1.5	660	660	0.5	0.5	8.36E-12	0.02
69	11:34	3.2	600	1260	1.0	1.0	2.02E-11	0.03
67	11:54	6.0	1200	2460	1.8	1.8	3.75E-11	0.06
71.8	12:02	10.0	480	2940	3.0	3.0	8.13E-11	0.10
71	12:12	11.5	600	3540	3.5	3.5	9.03E-11	0.12
69	12:35	14.5	1380	4920	4.4	4.4	1.06E-10	0.15
66	13:15	19.3	2400	7320	5.8	5.8	1.32E-10	0.19
71	13:25	21.3	600	7920	6.4	6.4	1.38E-10	0.21
69	13:35	22.5	600	8520	6.8	6.8	1.48E-10	0.23
69	14:36	28.8	3660	12180	8.7	8.7	1.69E-10	0.29
70	14:50	0					Recarga	
67	15:20	3.0	1800	13980	0.9	9.6	1.85E-10	0.32
71	15:26	5.5	360	14340	1.7	10.4	1.98E-10	0.34
68.5	16:04	11.5	2280	16620	3.5	12.2	2.45E-10	0.40
71	16:08	11.5	240	16860	3.5	12.2	2.33E-10	0.40
68	17:39	19.1	5460	22320	5.8	14.5	2.59E-10	0.48
71	17:44	22.5	300	22620	6.8	15.5	2.81E-10	0.52
68	18:11	23.0	1620	24240	6.9	15.6	2.79E-10	0.52
71	19:41	34.7	5400	29640	10.5	19.2	3.29E-10	0.64
70	20:00	43.7	1140	30780	13.2	21.9	4.19E-10	0.73
70	20:05	0					Recarga	
70	7:42	66.0	41820	72600	19.9	41.8	6.48E-10	1.39
70	7:58	0					Recarga	
69	11:03	16.6	11100	83700	5.0	46.8	7.15E-10	1.56
69	22:50	82.5	42420	126120	24.9	66.7	9.63E-10	2.22

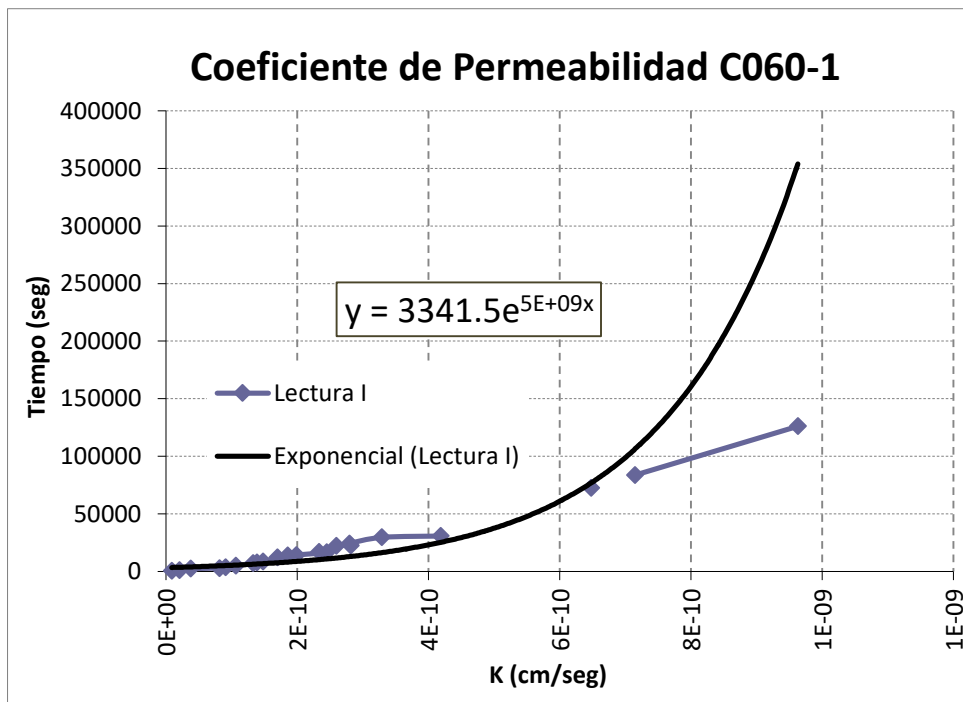


Figura Nº 16: Evaluación de la permeabilidad en C060-1

CUADRO Nº 37: Coeficiente de Permeabilidad en muestra C 060-2

ENSAYO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD

Diseño de Mezcla	C060	e(cm)=	7.34	W p(gr)=	3319
Examen	1-10	A (cm2)=	176.7	V sss(gr)=	3335
Fabricación	9-4	a (cm2)=	0.3019	W s(gr)=	3110

$$k = \frac{(Q1)^2 \cdot e}{Q \cdot A \cdot H \cdot t1}$$

Q	% vacios
225	6.78%

Presión mt	Hora H:M	Lectura II cm	Tiempo Seg	T Ac Seg	Δ V cm3	Vol Ac cm3	K cm/seg	Permeada cm
72	11:13	0						
70	11:24	1.0	660	660	0.3	0.3	3.64E-12	0.01
69	11:34	2.2	600	1260	0.7	0.7	9.37E-12	0.02
67	11:54	3.2	1200	2460	1.0	1.0	1.05E-11	0.03
71.8	12:02	7.2	480	2940	2.2	2.2	4.13E-11	0.07
71	12:12	7.4	600	3540	2.2	2.2	3.67E-11	0.07
69	12:35	8.2	1380	4920	2.5	2.5	3.33E-11	0.08
66	13:15	9.6	2400	7320	2.9	2.9	3.21E-11	0.09
71	13:25	15.0	600	7920	4.5	4.5	6.73E-11	0.15
69	13:35	15.1	600	8520	4.6	4.6	6.53E-11	0.15
69	14:36	16.7	3660	12180	5.0	5.0	5.58E-11	0.16
70	14:50	0				Recarga		
67	15:20	0.3	1800	13980	0.1	5.1	5.19E-11	0.17
71	15:26	4.6	360	14340	1.4	6.4	7.50E-11	0.21
68	16:04	9.3	2280	16620	2.8	7.8	1.01E-10	0.26
71	16:08	8.9	240	16860	2.7	7.7	9.21E-11	0.25
68.5	17:39	9.5	5460	22320	2.9	7.9	7.56E-11	0.26
71	17:44	15.8	300	22620	4.8	9.8	1.11E-10	0.32
68	18:11	15.5	1620	24240	4.7	9.7	1.06E-10	0.32
71	19:41	25.3	5400	29640	7.6	12.7	1.41E-10	0.41
70	20:00	31.2	1140	30780	9.4	14.5	1.79E-10	0.47
70	20:05	0			0.0	Recarga		
70	7:42	47.0	41820	72600	14.2	28.7	2.98E-10	0.93
70	7:58	0			0.0	Recarga		
69	11:03	10.0	11100	83700	3.0	31.7	3.21E-10	1.03
69	22:50	45.2	42420	126120	13.6	42.3	3.80E-10	1.38

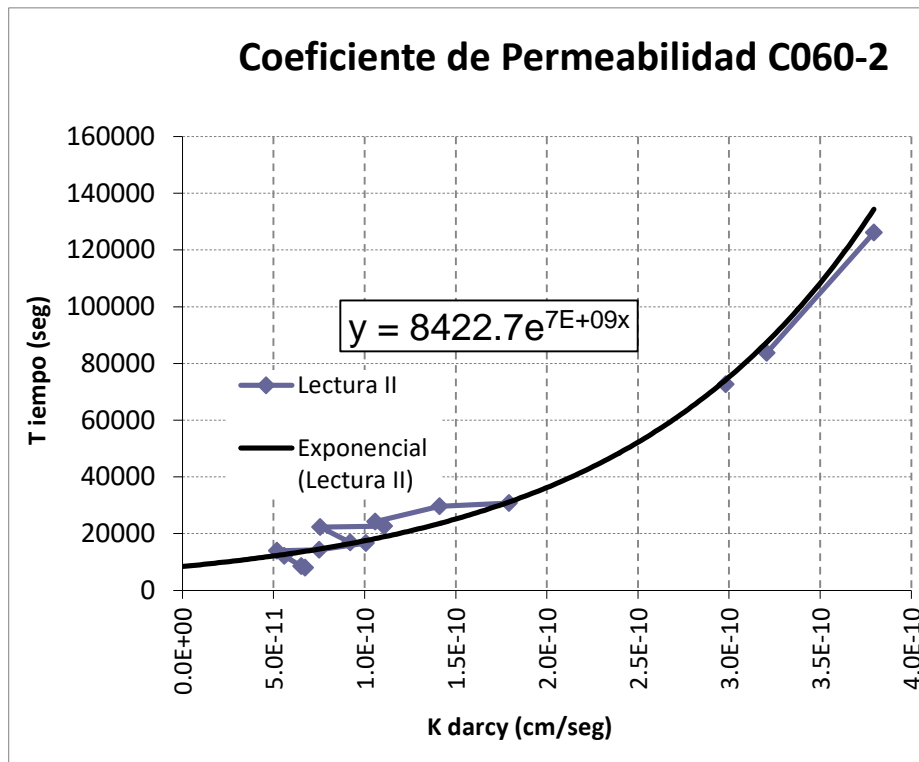


Figura Nº 17: Evaluación de la permeabilidad en C060-2

CUADRO Nº 38: Coeficiente de Permeabilidad en muestra C 060-3

ENSAYO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD						$k = \frac{(Q1)^2 \cdot e}{Q \cdot A \cdot H \cdot t1}$	
Diseño de Mezcla	C060	e(cm)=	7.45	W p(gr)=	3256	Q	% vacios
Examen	1-10	A (cm2)=	176.7	V sss(gr)=	3280	241	7.40%
Fabricación	9-4	a (cm2)=	0.3019	W s(gr)=	3039		

Presión mt	Hora H:M	Lectura III cm	Tiempo Seg	T Ac Seg	Δ V cm3	Vol Ac cm3	K cm/seg	Permeada cm
72	11:13	0.0						
70	11:24	2.0	660	660	0.6	0.6	1.38E-11	0.02
69	11:34	3.5	600	1260	1.1	1.1	2.25E-11	0.03
67	11:54	5.7	1200	2460	1.7	1.7	3.14E-11	0.05
71.8	12:02	9.8	480	2940	3.0	3.0	7.25E-11	0.09
71	12:12	11.0	600	3540	3.3	3.3	7.68E-11	0.10
69	12:35	13.5	1380	4920	4.1	4.1	8.56E-11	0.13
66	13:15	17.6	2400	7320	5.3	5.3	1.02E-10	0.16
71	13:25	20.7	600	7920	6.2	6.2	1.22E-10	0.19
69	13:35	22.0	600	8520	6.6	6.6	1.31E-10	0.21
69	14:36	27.4	3660	12180	8.3	8.3	1.42E-10	0.26
70	14:50	0				Recarga		
67	15:20	2.8	1800	13980	0.8	9.1	1.55E-10	0.28
71	15:26	5.2	360	14340	1.6	9.8	1.66E-10	0.30
68	16:04	11.0	2280	16620	3.3	11.6	2.08E-10	0.36
71	16:08	10.9	240	16860	3.3	11.6	1.95E-10	0.36
68.5	17:39	17.8	5460	22320	5.4	13.6	2.13E-10	0.42
71	17:44	21.7	300	22620	6.6	14.8	2.39E-10	0.46
68	18:11	22.6	1620	24240	6.8	15.1	2.42E-10	0.47
71	19:41	35.0	5400	29640	10.6	18.8	2.95E-10	0.58
70	20:00	44.3	1140	30780	13.4	21.6	3.80E-10	0.67
70	20:05	0				Recarga		
70	7:42	66.3	41820	72600	20.0	41.7	5.98E-10	1.29
70	7:58	0				Recarga		
69	11:03	15.6	41836	114436	4.7	46.4	4.76E-10	1.43
69	22:50	81.4	42420	156855.6	24.6	66.2	7.09E-10	2.05

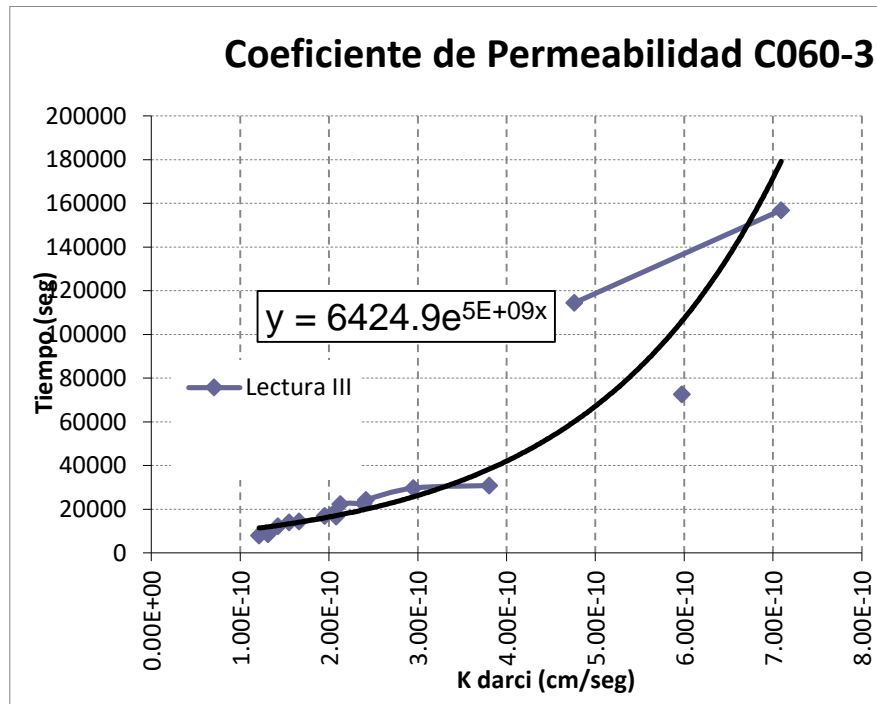


Figura Nº 18: Evaluación de la permeabilidad en C060-3

CUADRO Nº 39: Coeficiente de Permeabilidad en muestra C 050-1

ENSAYO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD						$k = \frac{(Q1)^2 \cdot e}{Q \cdot A \cdot H \cdot t1}$	
Diseño de Mezcla	C050	e(cm)=	7.8	W p(gr)=	3788	Q	% vacios
Examen	20-10	A (cm2)=	176.7	W sss(gr)=	3804	238	6.28%
Fabricación	14-4	a (cm2)=	0.30191	W s(gr)=	3566		

Presión mt	Hora H:M	Lectura I cm	Tiempo Seg	T Ac Seg	Δ V cm3	Vol Ac cm3	K cm/seg	Permeada cm
50	11:09	0	0	0	0	0		
50	11:19	19.5	600	600	5.9	5.9	2.14E-09	0.19
53	11:21	0					Recarga	
53	11:31	19.5	600	1200	5.9	11.8	4.04E-09	0.39
53	11:40	27.8	540	1740	8.4	14.3	4.10E-09	0.47
53	11:44	0					Recarga	
53	11:54	11.0	600	2340	3.3	17.6	4.63E-09	0.58
53	12:04	23.6	600	2940	7.1	21.4	5.45E-09	0.70
50	12:14	0					Recarga	
50	12:24	10.8	600	3540	3.3	24.7	6.38E-09	0.81
50	12:34	16.6	600	4140	5.0	29.7	7.89E-09	0.97
50	12:49	0.0						
50	12:59	8.6	600	4740	2.6	32.3	8.15E-09	1.06
50	13:39	34.5	2400	7140	10.4	40.1	8.35E-09	1.31
50	13:44	0					Recarga	
50	13:54	8	600	7740	2	42.5	8.66E-09	1.39
50	14:04	13.5	600	8340	4.1	44.2	8.68E-09	1.45
50	14:24	25.4	1200	9540	7.7	47.8	8.87E-09	1.57
50	14:29	0					Recarga	
52	14:39	8.0	600	10140	2	50.2	8.86E-09	1.64
52	15:09	24.6	1800	11940	7.4	55.2	9.10E-09	1.81
52	15:19	0					Recarga	
50	15:39	12.1	1200	13140	3.7	58.8	9.77E-09	1.93
50	16:09	25.2	1800	14940	7.6	62.8	9.79E-09	2.06
50	16:19	0					Recarga	
50	16:39	11.3	1200	16140	3.4	66.2	1.01E-08	2.17
50	17:14	24.9	2100	18240	7.5	70.3	1.01E-08	2.30

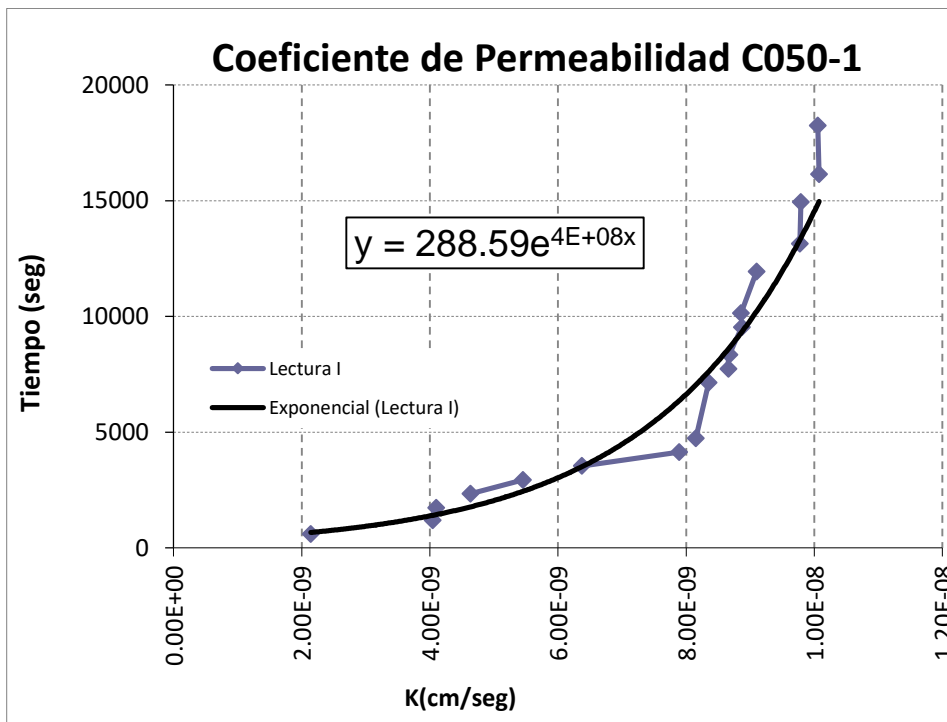


Figura o Nº 19: Evaluación de la permeabilidad en C050-1

CUADRO Nº 40: Coeficiente de Permeabilidad en muestra C 050-2

ENSAYO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD						$k = \frac{(Q1)^2 \cdot e}{Q \cdot A \cdot H \cdot t1}$	
Diseño de Mezcla	C050	e(cm)=	7.82	W p(gr)=	3787	Q	% vacios
Examen	20-10	A (cm2)=	176.7	Wsss(gr)=	3797	222	5.86%
Fabricación	14-4	a (cm2)=	0.30191	W s(gr)=	3575		

Presión mt	Hora H:M	Lectura II cm	Tiempo Seg	T Ac Seg	Δ V cm3	Vol Ac cm3	K cm/seg	Permeada cm
50	11:09	0	0	0	0	0		
50	11:19	26.0	600	600	7.8	7.8	4.09E-09	0.28
53	11:21	0				Recarga		
53	11:31	13.0	600	1200	3.9	11.8	4.35E-09	0.41
53	11:40	29.6	540	1740	8.9	16.8	6.09E-09	0.59
53	11:44	0			0.0	Recarga		
53	11:54	11.1	600	2340	3.4	20.1	6.52E-09	0.71
53	12:04	25.1	600	2940	7.6	24.4	7.59E-09	0.86
50	12:14	0			0.0	Recarga		
50	12:24	10.7	600	3540	3.2	27.6	8.58E-09	0.97
50	12:34	16.8	600	4140	5.1	29.4	8.34E-09	1.04
50	12:49	0				Recarga		
50	12:59	7.6	600	4740	2.3	31.7	8.47E-09	1.12
50	13:39	35.1	2400	7140	10.6	40.0	8.95E-09	1.41
50	13:44	0				Recarga		
50	13:54	8.1	600	7740	2.4	42.5	9.29E-09	1.50
50	14:04	14.0	600	8340	4.2	44.3	9.36E-09	1.56
50	14:24	25.4	1200	9540	7.7	47.7	9.51E-09	1.68
50	14:29	0				Recarga		
52	14:39	7.9	600	10140	2.4	50.1	9.48E-09	1.76
52	15:09	25.3	1800	11940	7.6	55.3	9.83E-09	1.95
52	15:19	0				Recarga		
50	15:39	13.0	1200	13140	3.9	59.3	1.07E-08	2.09
50	16:09	28.0	1800	14940	8.5	63.8	1.09E-08	2.25
50	16:19	0				Recarga		
50	16:39	12.2	1200	16140	3.7	67.5	1.12E-08	2.38
50	17:14	28.1	2100	18240	8.5	72.3	1.14E-08	2.55

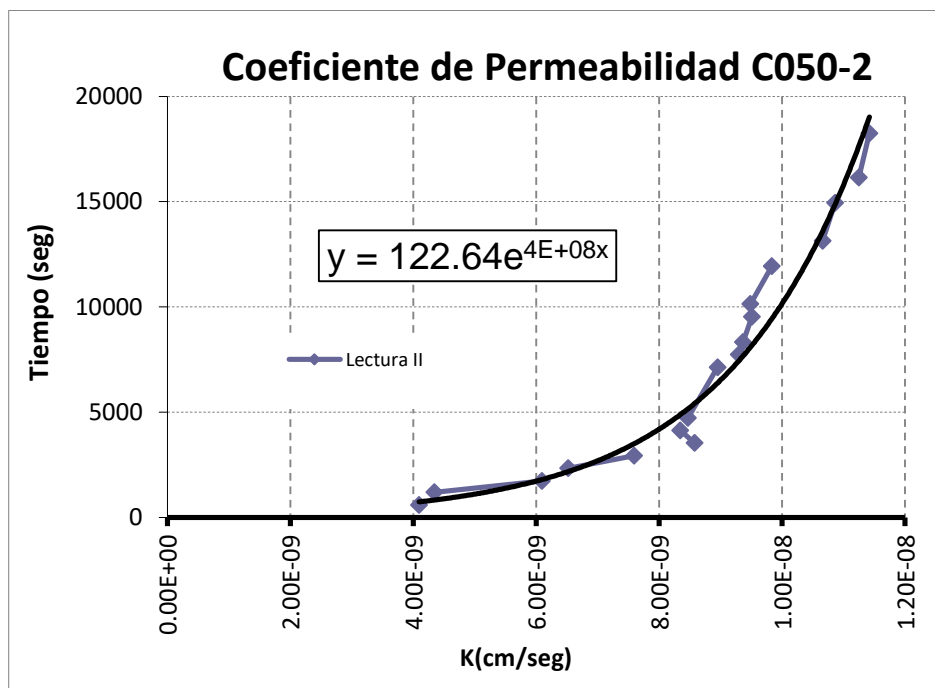


Figura Nº 20: Evaluación de la permeabilidad en C050-2

CUADRO Nº 41: Coeficiente de Permeabilidad en muestra C 050-3

ENSAYO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD						$k = \frac{(Q1)^2 \cdot e}{Q \cdot A \cdot H \cdot t1}$	
Diseño de Mezcla	C050	e(cm)=	7.85	W p(gr)=	3813	Q	% vacios
Examen	20-10	A (cm2)=	176.7	Wsss(gr)=	3814	205	5.38%
Fabricación	14-4	a (cm2)=	0.30191	W s(gr)=	3609		

Presión mt	Hora H:M	Lectura III cm	Tiempo Seg	T Ac Seg	Δ V cm3	Vol Ac cm3	K cm/seg	Permeada cm
50	11:09	0	0	0	0	0		
50	11:19	31.0	600	600	9.4	9.4	6.33E-09	0.36
53	11:21	0			Recarga			
53	11:31	12.5	600	1200	3.8	13.1	5.88E-09	0.50
53	11:40	42.5	540	1740	12.8	22.2	1.16E-08	0.85
53	11:44	0			Recarga			
53	11:54	18.1	600	2340	5.5	27.7	1.34E-08	1.06
53	12:04	39.6	600	2940	12.0	34.1	1.62E-08	1.31
50	12:14	0			Recarga			
50	12:24	18.0	600	3540	5.4	39.6	1.92E-08	1.52
50	12:34	28.1	600	4140	8.5	42.6	1.90E-08	1.63
50	12:49	0			Recarga			
50	12:59	11.7	600	4740	3.5	46.2	1.95E-08	1.77
50	13:39	53.2	2400	7140	16.1	58.7	2.09E-08	2.25
50	13:44	0			Recarga			
50	13:54	11.2	600	7740	3.4	62.1	2.16E-08	2.38
50	14:04	20.0	600	8340	6.0	64.7	2.18E-08	2.48
50	14:24	37.7	1200	9540	11.4	70.1	2.23E-08	2.68
50	14:29	0			Recarga			
52	14:39	9.3	600	10140	2.8	72.9	2.18E-08	2.79
52	15:09	36.1	1800	11940	10.9	81.0	2.29E-08	3.10
52	15:19	0			Recarga			
50	15:39	19.2	1200	13140	5.8	86.8	2.48E-08	3.32
50	16:09	41.3	1800	14940	12.5	93.4	2.53E-08	3.58
50	16:19	0			Recarga			
50	16:39	18.0	1200	16140	5.4	98.9	2.63E-08	3.79
50	17:14	41.0	2100	18240	12.4	105.8	2.66E-08	4.05

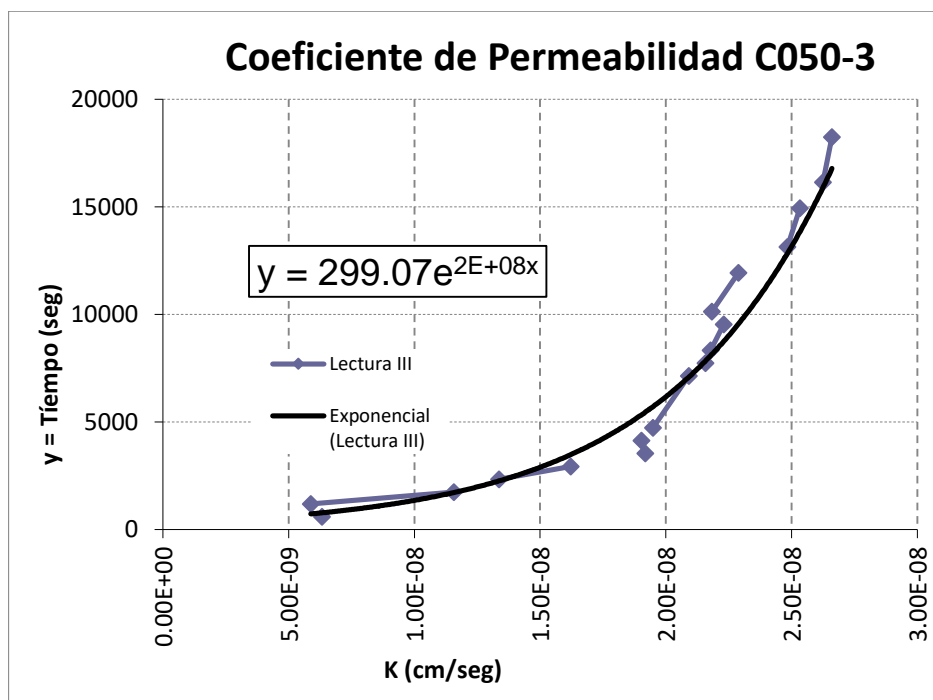


Figura Nº 21: Evaluación de la permeabilidad en C050-3

CUADRO Nº 42: Coeficiente de Permeabilidad en muestra C 050-4

ENSAYO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD						$k = \frac{(Q1)^2 \cdot e}{Q \cdot A \cdot H \cdot t1}$	
Diseño de Mezcla	C050	e(cm)=	7.16	W p(gr)=	3382	Q	% vacios
Examen	23-10	A (cm2)=	176.7	W sss(gr)=	3535	225	6.65%
Fabricación	15-4	a (cm2)=	0.3019	W s(gr)=	3310		

Presión mt	Hora H:M	Lectura I cm	Tiempo Seg	T Ac Seg	Δ V cm3	Vol Ac cm3	K cm/seg	Permeada cm
50	9:38	0.0						
45	9:58	34.7	1200	1200	10.5	10.5	3.66E-09	0.33
50	10:01	0					Recarga	
50	10:11	8.4	600	1800	2.5	13.0	3.39E-09	0.41
50	10:21	13.8	600	2400	4.2	14.6	3.22E-09	0.47
50	10:31	19.0	600	3000	5.7	16.2	3.16E-09	0.52
50	10:41	23.0	600	3600	6.9	17.4	3.04E-09	0.55
50	10:51	26.0	600	4200	7.8	18.3	2.88E-09	0.58
50	10:58	0					Recarga	
50	11:08	5.9	600	4800	1.8	20.1	3.03E-09	0.64
50	11:18	8.7	600	5400	2.6	21.0	2.93E-09	0.67
50	11:28	11.6	600	6000	3.5	21.8	2.86E-09	0.69
50	11:38	14.1	600	6600	4.3	22.6	2.78E-09	0.72
50	11:48	16.6	600	7200	5.0	23.3	2.72E-09	0.74
50	12:08	21.2	1200	8400	6.4	24.7	2.62E-09	0.79
50	12:28	25.8	1200	9600	7.8	26.1	2.56E-09	0.83
50	12:48	29.5	1200	10800	8.9	27.2	2.47E-09	0.87
50	12:51	0					Recarga	
50	13:21	4.6	1800	12600	1.4	28.6	2.34E-09	0.91
50	13:51	5.2	1800	14400	1.6	28.8	2.07E-09	0.92
50	14:21	5.7	1800	16200	1.7	29.0	1.86E-09	0.92
48	8:50	55.0	23340	39540	16.6	43.8	1.82E-09	1.39
50	9:12	0					Recarga	
50	9:42	1.3	1800	41340	0.4	44.2	1.70E-09	1.41
50	10:12	2.1	1800	43140	0.6	44.5	1.65E-09	1.42

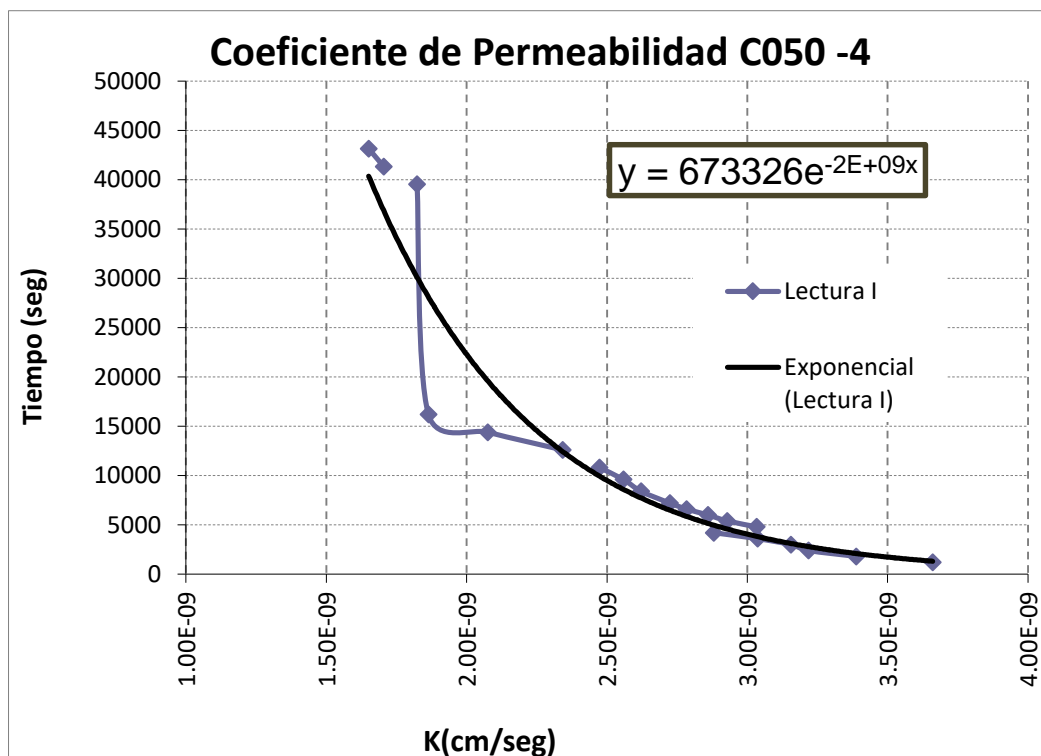


Figura Nº 22: Evaluación de la permeabilidad en C050-4

CUADRO Nº 43: Coeficiente de Permeabilidad en muestra C 050-5

ENSAYO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD							$k = \frac{(Q1)^2 \cdot e}{Q \cdot A \cdot H \cdot t1}$	
Diseño de Mezcla	C050	e(cm)=	7.16	W p(gr)=	3325	Q	% vacios	
Examen	1-10	A (cm2)=	176.7	V sss(gr)=	3485	240	7.22%	
Fabricación	9-4	a (cm2)=	0.30191	W s(gr)=	3245			

Presión mt	Hora H:M	Lectura II cm	Tiempo Seg	T Ac Seg	Δ V cm3	Vol Ac cm3	K cm/seg	Permeada cm
50	9:38							
45	9:58	28.1	1200	1200	8.5	8.5	2.25E-09	0.25
50	10:01	0				Recarga		
50	10:11	7	600	1800	2.1	11	2.11E-09	0.32
50	10:21	11.7	600	2400	3.5	12	2.03E-09	0.36
50	10:31	16.5	600	3000	5.0	13	2.04E-09	0.40
50	10:41	20.1	600	3600	6.1	15	1.99E-09	0.43
50	10:51	23.4	600	4200	7.1	16	1.94E-09	0.46
50	10:58	0				Recarga		
50	11:08	4.3	600	4800	1.3	16.8	2.00E-09	0.50
50	11:18	7	600	5400	2.1	17.7	1.95E-09	0.53
50	11:28	9.3	600	6000	2.8	18.4	1.90E-09	0.55
50	11:38	11.6	600	6600	3.5	19.1	1.86E-09	0.57
50	11:48	14.3	600	7200	4.3	19.9	1.85E-09	0.59
50	12:08	18.1	1200	8400	5.5	21.0	1.77E-09	0.63
50	12:28	22.1	1200	9600	6.7	22.2	1.74E-09	0.66
50	12:48	26	1200	10800	7.8	23.4	1.71E-09	0.70
50	12:51	0				Recarga		
50	13:21	4.1	1800	12600	1.2	24.6	1.63E-09	0.73
50	13:51	4.7	1800	14400	1.4	24.8	1.44E-09	0.74
50	14:21	5.3	1800	16200	1.6	25.0	1.30E-09	0.75
48	8:50	67.1	23340	39540	20.3	43.7	1.70E-09	1.30
50	9:12	0				Recarga		
50	9:42	1.6	1800	41340	0.5	44.1	1.59E-09	1.32
50	10:12	3	1800	43140	0.9	44.6	1.55E-09	1.33

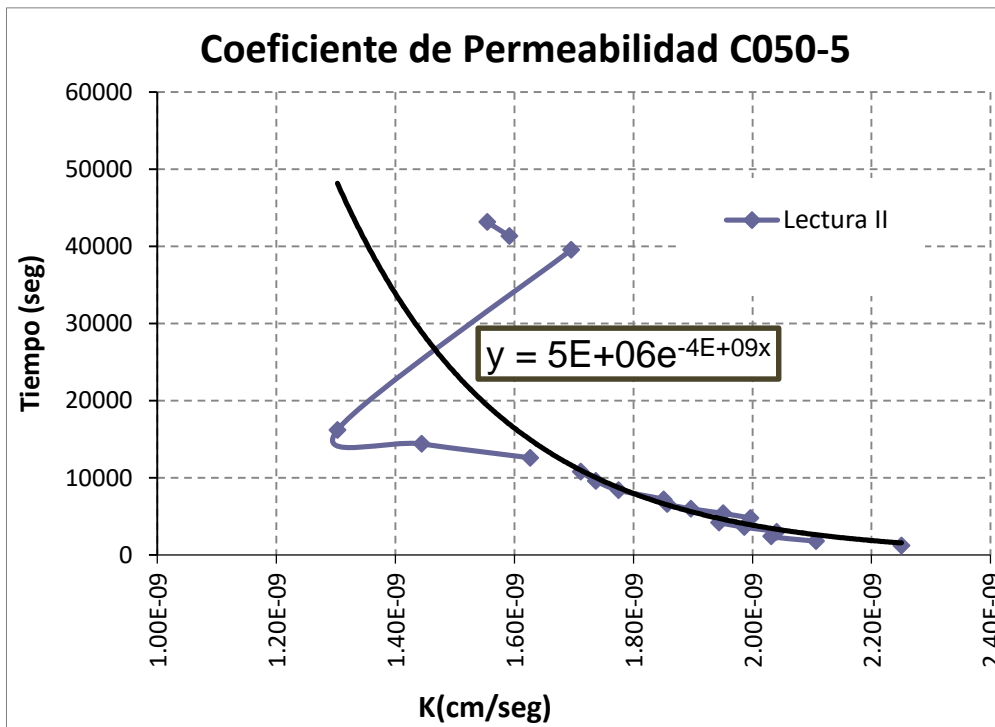


Figura Nº 23: Evaluación de la permeabilidad en C050-5

CUADRO Nº 44: Coeficiente de Permeabilidad en muestra C 050-6

ENSAYO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD						$k = \frac{(Q1)^2 \cdot e}{Q \cdot A \cdot H \cdot t1}$	
Diseño de Mezcla	C050	e(cm)=	7.16	W p(gr)=	3429	Q	% vacios
Examen	1-10	A (cm2)=	176.7	Wsss(gr)=	3558	235	6.85%
Fabricación	9-4	a (cm2)=	0.30191	W s(gr)=	3323		

Presión mt	Hora H:M	Lectura III cm	Tiempo Seg	T Ac Seg	Δ V cm3	Vol Ac cm3	K cm/seg	Permeada cm
50	9:38	0						
45	9:58	26.5	1200	1200	8.0	8.0	2.04E-09	0.24
50	10:01	0				Recarga		
50	10:11	7	600	1800	2.1	10.1	1.96E-09	0.31
50	10:21	11.1	600	2400	3.4	11.4	1.85E-09	0.35
50	10:31	15.2	600	3000	4.6	12.6	1.82E-09	0.38
50	10:41	18.4	600	3600	5.6	13.6	1.76E-09	0.41
50	10:51	20.9	600	4200	6.3	14.3	1.68E-09	0.44
50	10:58	0				Recarga		
50	11:08	4.4	600	4800	1.3	15.6	1.76E-09	0.48
50	11:18	6.9	600	5400	2.1	16.4	1.72E-09	0.50
50	11:28	9	600	6000	2.7	17.0	1.67E-09	0.52
50	11:38	11	600	6600	3.3	17.6	1.62E-09	0.54
50	11:48	13.4	600	7200	4.0	18.4	1.61E-09	0.56
50	12:08	16.4	1200	8400	5.0	19.3	1.52E-09	0.59
50	12:28	19.6	1200	9600	5.9	20.2	1.47E-09	0.62
50	12:48	22.7	1200	10800	6.9	21.2	1.43E-09	0.64
50	12:51	0				Recarga		
50	13:21	3.3	1800	12600	1.0	22.2	1.34E-09	0.68
50	13:51	3.8	1800	14400	1.1	22.3	1.19E-09	0.68
50	14:21	4.3	1800	16200	1.3	22.5	1.07E-09	0.68
48	8:50	46.8	23340	39540	14.1	35.3	1.13E-09	1.08
50	9:12	0				Recarga		
50	9:42	1.3	1800	41340	0.4	35.7	1.06E-09	1.09
50	10:12	1.8	1800	43140	0.5	35.8	1.03E-09	1.09

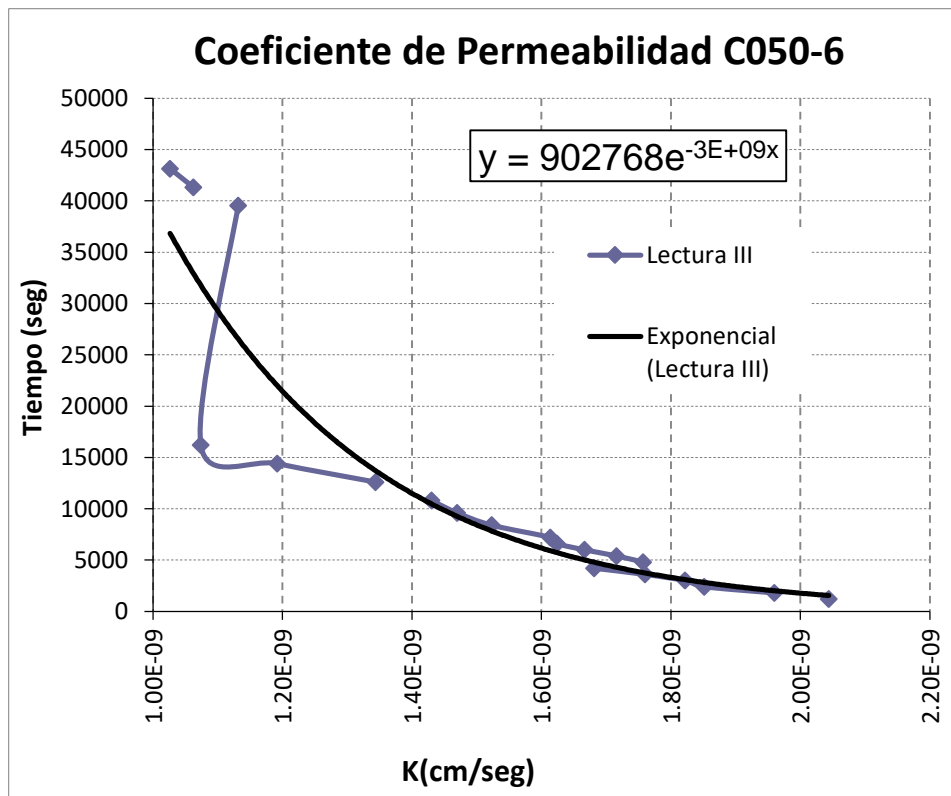


Figura Nº 24: Evaluación de la permeabilidad en C050-6

CUADRO Nº 45: Coeficiente de Permeabilidad en muestra C 050-7

ENSAYO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD						$k = \frac{(Q1)^2 \cdot e}{Q \cdot A \cdot H \cdot t1}$		
Diseño de Mezcla	C050	e(cm)=	7.16	w p(gr)=	3382	Q	% vacios	
Examen	23-10	A (cm2)=	176.7	w sss(gr)=	3535	225	6.65%	
Fabricación	15-4	a (cm2)=	0.3019	w s(gr)=	3310			

Presión mt	Hora H:M	Lectura cm	Tiempo Seg	T Ac Seg	ΔV cm3	Vol Ac cm3	K cm/seg	Permeada cm
64	10:32	0.0		43140		44.5		
64	11:02	2.4	1800	44940	0.7	45.2	1.28E-09	1.44
64	11:32	4.5	1800	46740	1.4	45.9	1.27E-09	1.46
64	12:02	5.9	1800	48540	1.8	46.3	1.24E-09	1.47
64	9:12	7.5	76240	124780	2.3	46.8	4.93E-10	1.49
52	10:00	0.0						
56	10:30	1.7	1800	126580	0.5	47.3	5.68E-10	1.50
56	11:00	2.2	1800	128380	0.7	47.4	5.63E-10	1.51
56	11:30	2.6	1800	130180	0.8	47.5	5.59E-10	1.51
56	12:30	3.5	3600	133780	1.1	47.8	5.50E-10	1.52
56	13:05	4.0	2100	135880	1.2	48.0	5.45E-10	1.53
56	14:30	4.8	5100	140980	1.4	48.2	5.30E-10	1.53
56	15:30	5.3	3600	144580	1.6	48.4	5.20E-10	1.54
56	16:30	6.1	3600	148180	1.8	48.6	5.13E-10	1.55
56	17:30	6.6	3600	151780	2.0	48.8	5.04E-10	1.55
60	8:43	0.0						
60	9:13	0.9	1800	153580	0.3	49.0	4.70E-10	1.56
60	11:13	1.6	7200	160780	0.5	49.2	4.53E-10	1.57
50	11:43	2.1	1800	162580	0.6	49.4	5.40E-10	1.57
50	12:13	2.4	1800	164380	0.7	49.5	5.36E-10	1.57
60	13:13	2.7	3600	167980	0.8	49.6	4.39E-10	1.58
59	14:20	3.4	4020	172000	1.0	49.8	4.40E-10	1.58
58	15:20	3.6	3600	175600	1.1	49.8	4.39E-10	1.59
57	16:20	3.9	3600	179200	1.2	49.9	4.40E-10	1.59
57	17:55	4.2	5700	184900	1.3	50.0	4.28E-10	1.59

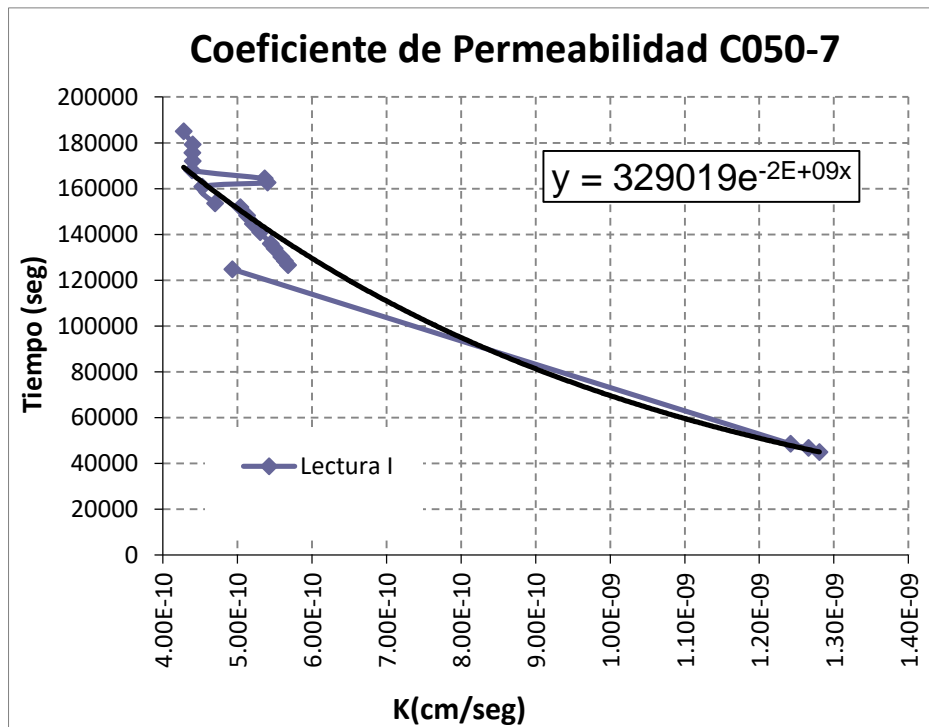


Figura Nº 25: Evaluación de la permeabilidad en C050-7

CUADRO Nº 46: Coeficiente de Permeabilidad en muestra C 050-8

ENSAYO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD							$k = \frac{(Q1)^2 \cdot e}{Q \cdot A \cdot H \cdot t1}$	
Diseño de Mezcla	C050	e(cm)=	7.16	w p(gr)=	3325	Q	% vacios	
Examen	23-10	A (cm2)=	176.7	w sss(gr)=	3485	242	7.28%	
Fabricación	15-4	a (cm2)=	0.30191	w s(gr)=	3243			

Presión mt	Hora H:M	Lectura II cm	Tiempo Seg	T Ac Seg	Δ V cm3	Vol Ac cm3	K cm/seg	Permeada cm	
64	10:32			43140		44.6			
64	11:02	2.6	1800	44940	0.8	45.4	1.20E-09	1.34	
64	11:32	4.9	1800	46740	1.5	46.1	1.19E-09	1.36	
64	12:02	6.5	1800	48540	2.0	46.6	1.17E-09	1.38	
64	9:12	8.9	76240	124780	2.7	47.3	4.69E-10	1.40	
52	10:00	0	Recarga						
56	10:30	1.5	1800	126580	0.5	47.7	5.38E-10	1.41	
56	11:00	2.2	1800	128380	0.7	48.0	5.36E-10	1.42	
56	11:30	2.7	1800	130180	0.8	48.1	5.31E-10	1.42	
56	12:30	3.7	3600	133780	1.1	48.4	5.24E-10	1.43	
56	13:05	4.2	2100	135880	1.3	48.6	5.19E-10	1.44	
56	14:30	5.4	5100	140980	1.6	48.9	5.08E-10	1.45	
56	15:30	6.2	3600	144580	1.9	49.2	5.00E-10	1.45	
56	16:30	7.1	3600	148180	2.1	49.4	4.93E-10	1.46	
56	17:30	7.9	3600	151780	2.4	49.7	4.86E-10	1.47	
60	8:43	0	Recarga						
60	9:13	1.1	1800	153580	0.3	50.0	4.54E-10	1.48	
60	11:13	2.1	7200	160780	0.6	50.3	4.39E-10	1.49	
50	11:43	2.6	1800	162580	0.8	50.5	5.24E-10	1.49	
50	12:13	3.0	1800	164380	0.9	50.6	5.21E-10	1.50	
60	13:13	4.0	3600	167980	1.2	50.9	4.30E-10	1.51	
59	14:20	4.6	4020	172000	1.4	51.1	4.30E-10	1.51	
58	15:20	5.0	3600	175600	1.5	51.2	4.31E-10	1.51	
57	16:20	5.3	3600	179200	1.6	51.3	4.31E-10	1.52	
57	17:55	6	5700	184900	1.8	51.5	4.21E-10	1.52	

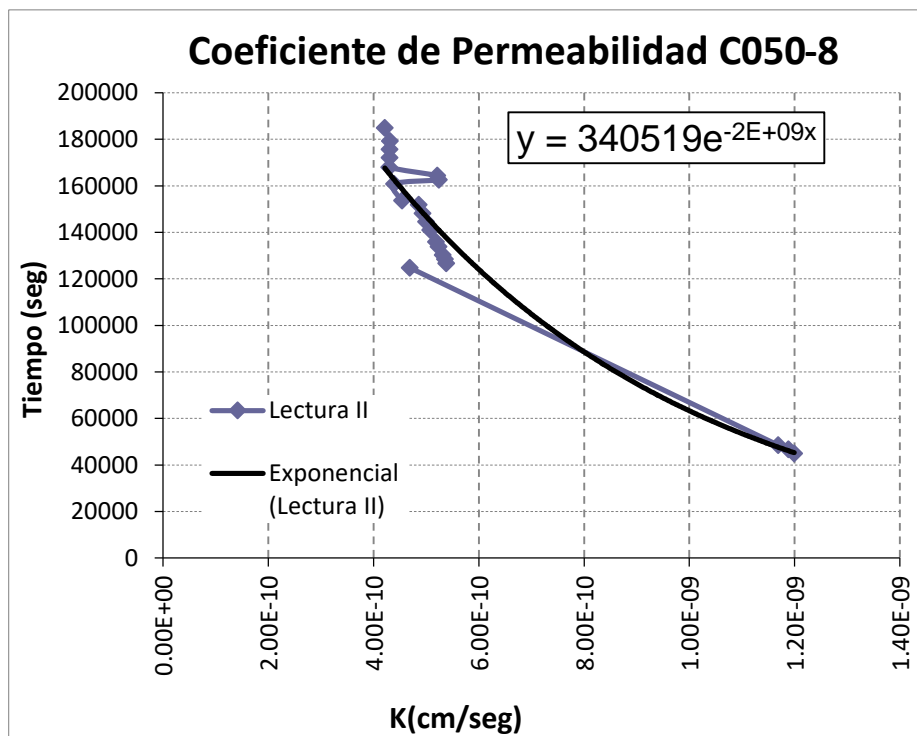


Figura Nº 26: Evaluación de la permeabilidad en C050-8

CUADRO Nº 47: Coeficiente de Permeabilidad en muestra C 05-9

ENSAYO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD						$k = \frac{(Q1)^2 \cdot e}{Q \cdot A \cdot H \cdot t1}$	
Diseño de Mezcla	C050	e(cm)=	7.16	W _p (gr)=	3429	Q	% vacios
Examen	23-10	A (cm2)=	176.7	W _{sss} (gr)=	3558		
Fabricación	15-4	a (cm2)=	0.3019	W _s (gr)=	3323	235	6.85%

Presión mt	Hora H:M	Lectura III cm	Tiempo Seg	T Ac Seg	Δ V cm3	Vol Ac cm3	K cm/seg	Permeada cm	
64	10:32	0		43140		35.8			
64	11:02	2	1800	44940	0.6	36.4	7.94E-10	1.11	
64	11:32	3.9	1800	46740	1.2	37.0	7.88E-10	1.13	
64	12:02	5.1	1800	48540	1.5	37.3	7.74E-10	1.14	
64	9:12	6.6	76240	124780	2.0	37.8	3.08E-10	1.15	
52	10:00	0	Recarga						
56	10:30	1.7	1800	126580	0.5	38.3	3.57E-10	1.17	
56	11:00	2.1	1800	128380	0.6	38.4	3.54E-10	1.17	
56	11:30	3	1800	130180	0.9	38.7	3.54E-10	1.18	
56	12:30	3.5	3600	133780	1.1	38.8	3.47E-10	1.18	
56	13:05	4	2100	135880	1.2	39.0	3.45E-10	1.19	
56	14:30	4.9	5100	140980	1.5	39.3	3.37E-10	1.20	
56	15:30	5.4	3600	144580	1.6	39.4	3.31E-10	1.20	
56	16:30	6	3600	148180	1.8	39.6	3.26E-10	1.21	
56	17:30	6.5	3600	151780	2.0	39.8	3.21E-10	1.21	
60	8:43	0	Recarga						
60	9:13	1.1	1800	153580	0.3	40.1	3.01E-10	1.22	
60	11:13	2.1	7200	160780	0.6	40.4	2.92E-10	1.23	
50	11:43	2.4	1800	162580	0.7	40.5	3.48E-10	1.23	
50	12:13	2.7	1800	164380	0.8	40.6	3.45E-10	1.24	
60	13:13	3.5	3600	167980	1.1	40.8	2.85E-10	1.24	
59	14:20	4.1	4020	172000	1.2	41.0	2.86E-10	1.25	
58	15:20	4.4	3600	175600	1.3	41.1	2.86E-10	1.25	
57	16:20	4.6	3600	179200	1.4	41.1	2.86E-10	1.25	
57	17:55	5	5700	184900	1.5	41.3	2.79E-10	1.26	

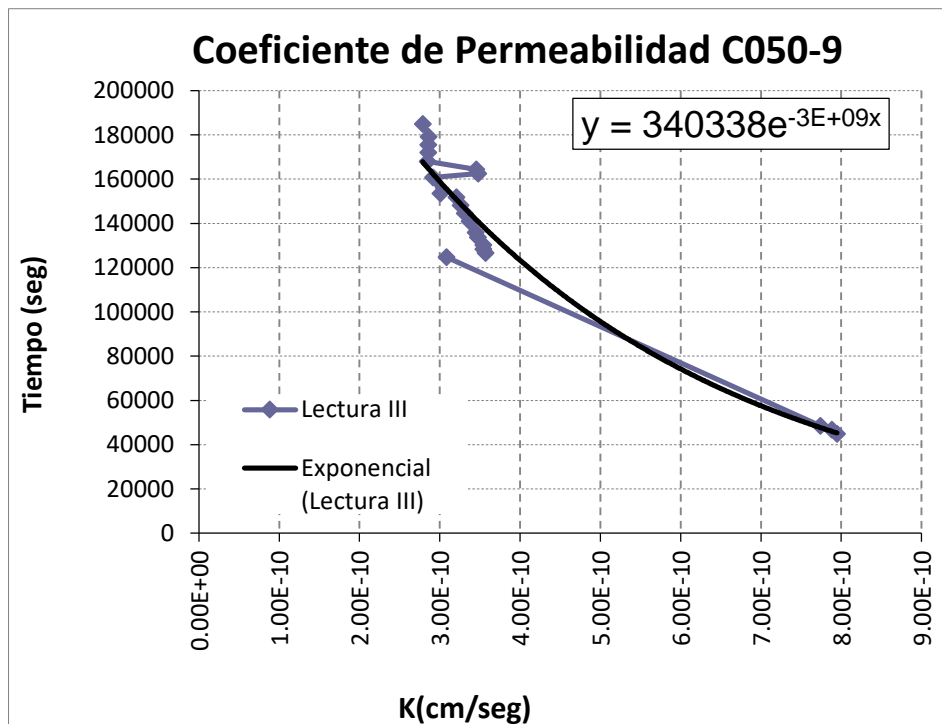


Figura Nº 27: Evaluación de la permeabilidad en C050-9

CUADRO Nº 48: Coeficiente de Permeabilidad en muestra C 045-1

ENSAYO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD

Diseño de Mezcla	M 045	Patron					$k = \frac{(Q1)^2 \cdot e}{Q \cdot A \cdot H \cdot t1}$
Examen	1-10	e(cm)=	7.5	W p(gr)=			
Fabricación	28 dias	A (cm2)=	165.13	W o(gr)=	3525	Q	% vacios
		a (cm2)=	0.3019	W s(gr)=	3327	198	5.62%

Presión mt	Hora H:M	Lectura l cm	Tiempo Seg	T Ac Seg	Δ V cm3	Vol Ac cm3	K cm/seg	Permeada cm
29	14:25	0.0						
12	14:55	8.6	1800	1800	2.6	2.6	7.16E-10	0.10
30	15:55	0	Recarga					
30	16:10	7.6	900	2700	2.3	4.9	6.77E-10	0.19
26	16:12	0	Recarga					
20	16:42	2.7	1800	4500	0.8	5.7	8.30E-10	0.22
16	17:12	6.3	1800	6300	1.9	6.8	1.05E-09	0.26
30	18:15	0	Recarga					
28	18:45	9.8	1800	8100	3.0	9.8	9.62E-10	0.37
24	19:20	14.8	2100	10200	4.5	11.3	1.19E-09	0.43
22	19:50	18.7	1800	12000	5.6	12.4	1.34E-09	0.47
20	20:10	19.8	1200	13200	6.0	12.8	1.42E-09	0.49
18	20:55	22.3	2700	15900	6.7	13.5	1.47E-09	0.52

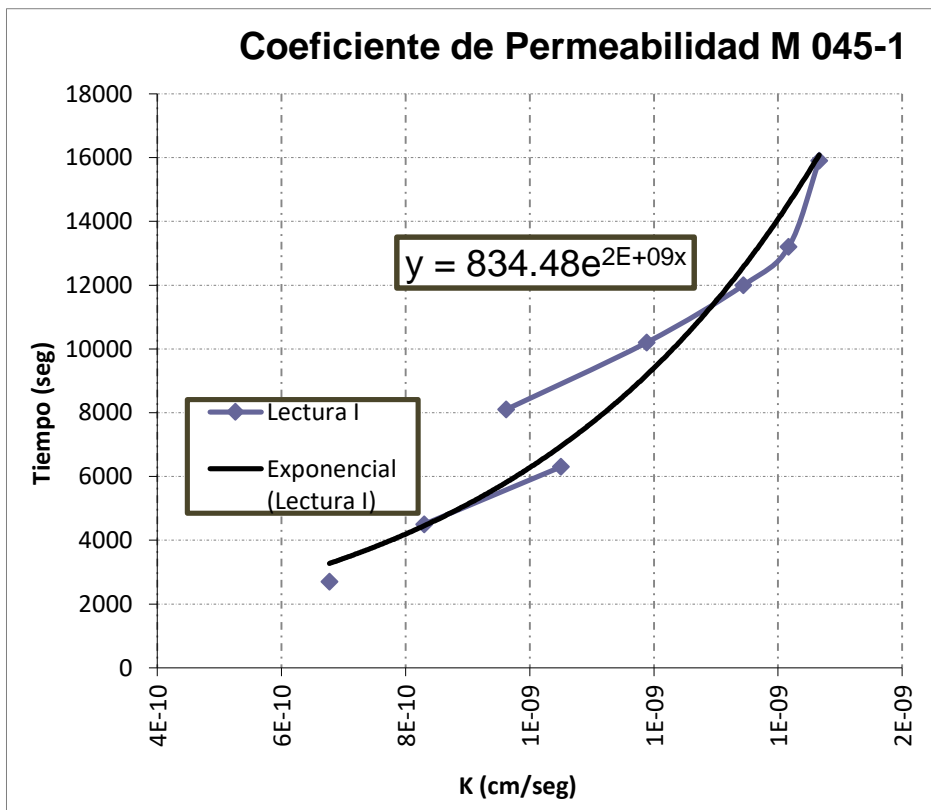


Figura Nº 28: Evaluación de la permeabilidad en C045-1

CUADRO N° 49: Coeficiente de Permeabilidad en muestra C 045-2

ENSAYO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD

Diseño de Mezcla	M 045	Paron							$k = \frac{(Q1)^2 \cdot e}{Q \cdot A \cdot H \cdot t1}$
Examen	1-10	e(cm)=	7.1	W p(gr)=					
Fabricación	9-4	A (cm2)=	165.13	W o(gr)=	3485	Q	% vacios	217	
		a (cm2)=	0.3019	W s(gr)=	3268				6.23%

Presión mt	Hora H:M	Lectura II cm	Tiempo Seg	T Ac Seg	Δ V cm3	Vol Ac cm3	K cm/seg	Permeada cm						
29	14:25													
12	14:55													
30	15:55	0												
30	16:10	4.2	900	900	1.3	1.3	1.18E-10	0.04						
26	16:12	0	Recarga											
20	16:42	0												
16	17:12	0												
30	18:15	0												
28	18:45	7.4							1800	2700	2.2	3.5	3.21E-10	0.12
24	19:20	11	2100	4800	3.3	4.6	3.62E-10	0.16						
22	19:50	13.3	1800	6600	4.0	5.3	3.81E-10	0.18						
20	20:10	14.4	1200	7800	4.3	5.6	4.01E-10	0.20						
18	20:55	16.5	2700	10500	5.0	6.2	4.09E-10	0.22						
18	21:25	0	Recarga											
16	21:55	1.6							1800	12300	0.5	6.7	4.56E-10	0.23
14	22:25	2.5							1800	14100	0.8	7.0	4.92E-10	0.24

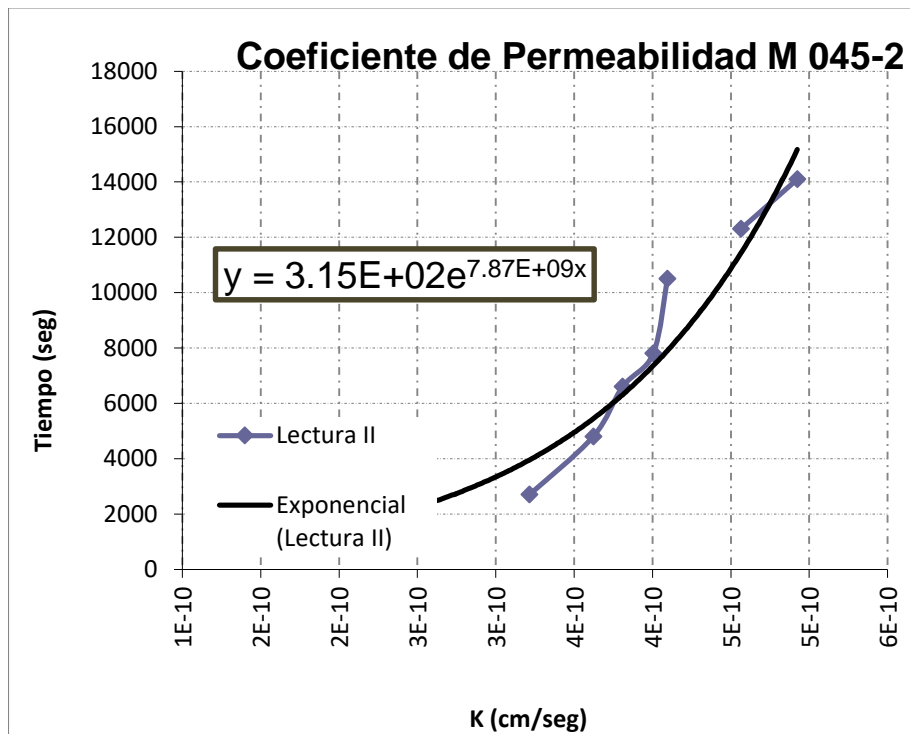


Figura N° 29: Evaluación de la permeabilidad en C045-2

CUADRO Nº 50: Coeficiente de Permeabilidad en muestra C 045-3

ENSAYO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD						$k = \frac{(Q1)^2 \cdot e}{Q \cdot A \cdot H \cdot t1}$	
Diseño de Mezcla	M 045	Patron					
Examen	1-10	e(cm)=	7.4	W p(gr)=			
Fabricación	9-4	A (cm2)=	165.13	W o(gr)=	3446	Q	% vacios
		a (cm2)=	0.3019	W s(gr)=	3239	207	6.01%

Presión mt	Hora H:M	Lectura III cm	Tiempo Seg	T Ac Seg	Δ V cm3	Vol Ac cm3	K cm/seg	Permeada cm	
29	14:25	0.0	0	0					
12	14:55	19.2	1800	1800	5.8	5.8	3.37E-09	0.21	
30	15:55	0	Recarga						
30	16:10	9.9	900	2700	3.0	8.8	2.06E-09	0.32	
26	16:12	0	Recarga						
20	16:42	4.7	1800	4500	1.4	10.2	2.50E-09	0.37	
16	17:12	4.9	1800	6300	1.5	10.3	2.26E-09	0.37	
30	18:15	0	Recarga						
28	18:45	14	1800	8100	4.2	14.5	2.00E-09	0.53	
24	19:20	23.2	2100	10200	7.0	17.3	2.64E-09	0.63	
22	19:50	29.6	1800	12000	8.9	19.2	3.02E-09	0.70	
20	20:10	33.2	1200	13200	10.0	20.3	3.38E-09	0.74	
18	20:55	38.2	2700	15900	11.5	21.8	3.59E-09	0.80	
18	21:25	0	Recarga						
16	21:55	5.1	1800	17700	1.5	23.3	4.16E-09	0.85	
14	22:25	7.2	1800	19500	2.2	24.0	4.56E-09	0.87	

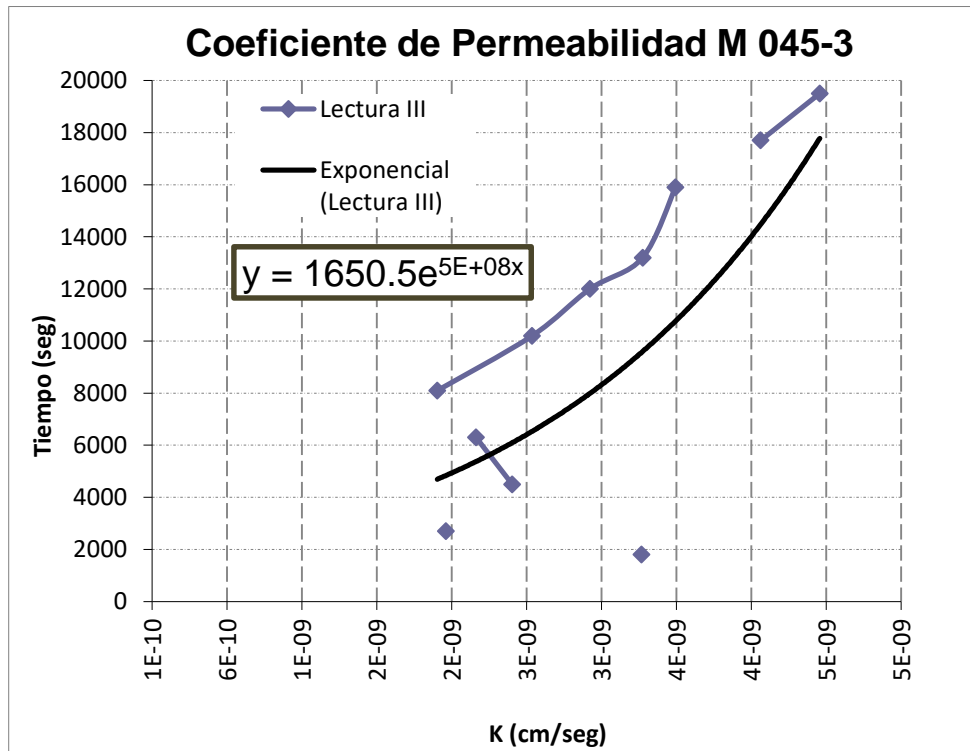


Figura Nº 30: Evaluación de la permeabilidad en C045-3

CAPÍTULO VII

PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

El presente estudio se ha desarrollado a la necesidad de recoger y verificar los resultados analíticos para la permeabilidad del concreto, para el cual el termino 10^{-10} tiene una incertidumbre en cuanto no hay un procedimiento de prueba confiable y las curvas idealizadas para el concreto no cuentan con un sustento de referencia, para ello se ha elaborado 4 muestras de concreto las cuales ha de verificarse la resistencia alcanzada y las propiedades que la acompañan, de otra parte se ha fabricado un sistema de aplicación hidráulica para registrar la cantidad de agua permeada y el tiempo que emplea esta nueva propiedad del concreto.

7.1 AGREGADOS

Los agregados a utilizarse en la producción del concreto tienen como procedencia la cantera de la Molina para el agregado Fino y la cantera UNICON Sector T para el agregado grueso, se realiza un reconocimiento de las propiedades físicas de los agregados, en el caso del agregado fino usamos los resultados del cuadro N° 14 y para el caso del agregado grueso usamos los resultados del cuadro N° 15.

CUADRO N° 51: Características de los Agregados:

Propiedad	Unidad	Ag. Fino	Ag. Grueso
Tamaño Máximo			1"
Peso Unitario Suelto	Kg/m ³	1305	1393
Peso Unitario Compactado	Kg/m ³	1407	1547
Peso Específico	Kg/m ³	2,679	2,666
Porcentaje de Absorción	%	0,5	1,16
Contenido de humedad	%	0,1	2,9
Módulo de Finura		2,58	7,18

Elaboración propia

Los agregados utilizados son examinados para llegar a un óptimo porcentaje de participación para alcanzar un máximo peso unitario, del cual hallamos que participan en 44.6% para la Arena gruesa y 55.4% para el agregado grueso, verificamos su comportamiento granulométrico con las recomendaciones para el concreto de característica bombeable resultando que nuestro agregado global se encuentra al límite de las respectivas recomendaciones:

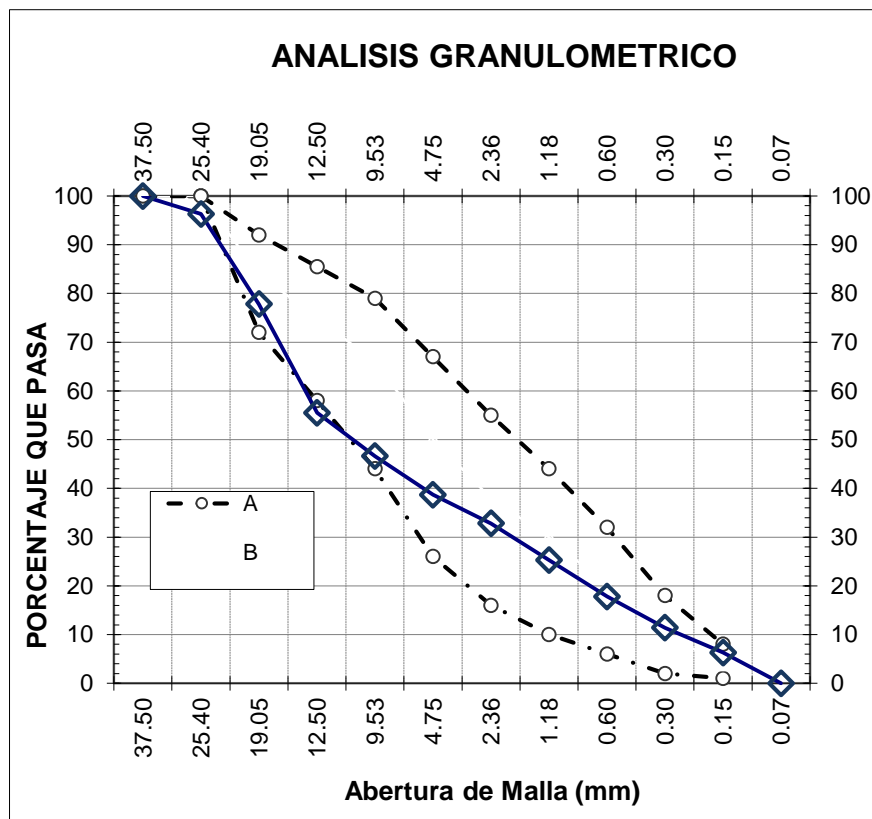


Figura N° 31: Curva granulométrica del agregado global 44.6% Ar y 55.4% Pd.

En el análisis granulométrico podemos identificar que nuestra mezcla de agregados cuenta con partículas sobrecargada en la malla $\frac{3}{4}$ " así como en la malla N° 100 se encuentra al límite para responder al comportamiento de un concreto bombeable, pero será lo suficiente representativo como concreto norma por lo que lo consideramos apto para las muestras de permeabilidad.

7.2 ELABORACION DE CONCRETO

Conocido las propiedades de los materiales procedemos a diseñar concretos para comparar el desempeño de la resistencia y el coeficiente de permeabilidad, de esta manera definimos a cuatro tipos de concreto los cuales denominamos C 070, C 060, C 050 y C 045 que están definidos por la relación agua / cemento de 0.70 , 0.60 0.50 y 0.45 respectivamente los procedimientos fueron elaborados a ofrecer la misma trabajabilidad por medio del asentamiento en 3" a 4" y el resultado de estos están en el cuadro N°17 para los cuales elaboramos la siguiente Figura comparativo N° 32

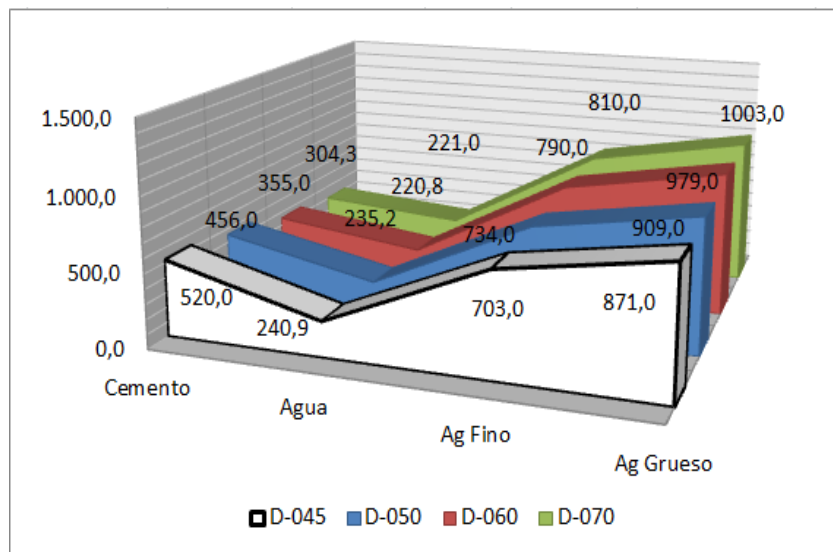


Figura Nº 32: Dosificaciones y mezclas empleadas.

7.3 CONCRETO EN EL ESTADO FRESCO

Seguidamente procedemos a verificar la plasticidad de diseño y evaluamos la extensibilidad que manifiesta cada una de las cuatro mezclas, utilizaremos la prueba del cono de Abrams y la mesa de sacudidas para la de extensibilidad obteniendose los siguientes resultados:

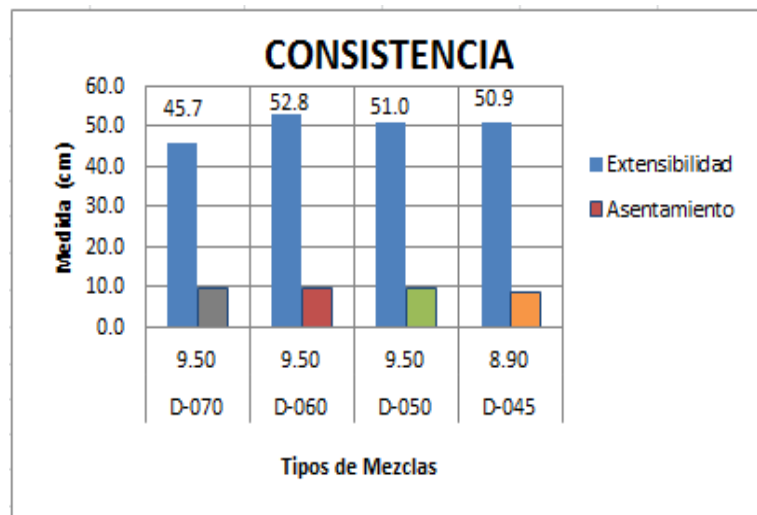


Figura Nº 33: Consistencia de los tipos de mezclas

Evaluando en contenido de aire atrapado según la NTP 339.083 que utiliza el aparato tipo washington se obtiene lo siguiente:

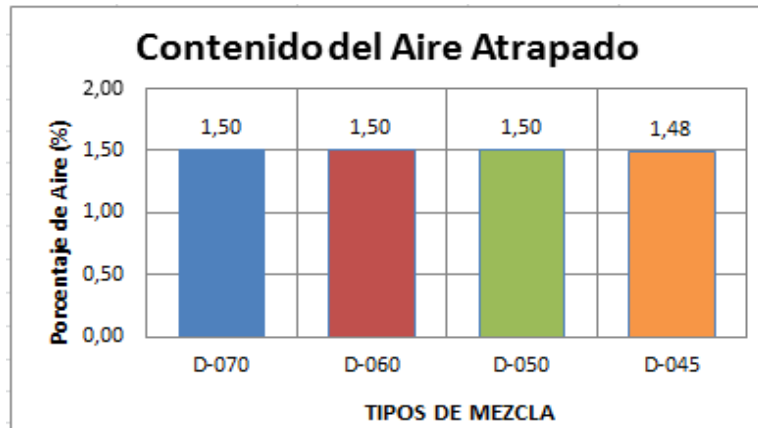


Figura Nº 34: Contenido de Aire atrapado

Adicionalmente e estos resultados calculamos el Vacío Hidráulico que representa 1.5 % del volumen del concreto por el que estimamos 15 gr en 2325 gr por el que obtenemos 0.645% como vacío hidráulico por el aire atrapado del concreto fresco.

Con relación al comportamiento del fraguado del concreto evaluamos las respuestas del método de resistencia a la penetración según la NTP 339.082 para nuestros cuatro tipos de mezcla.

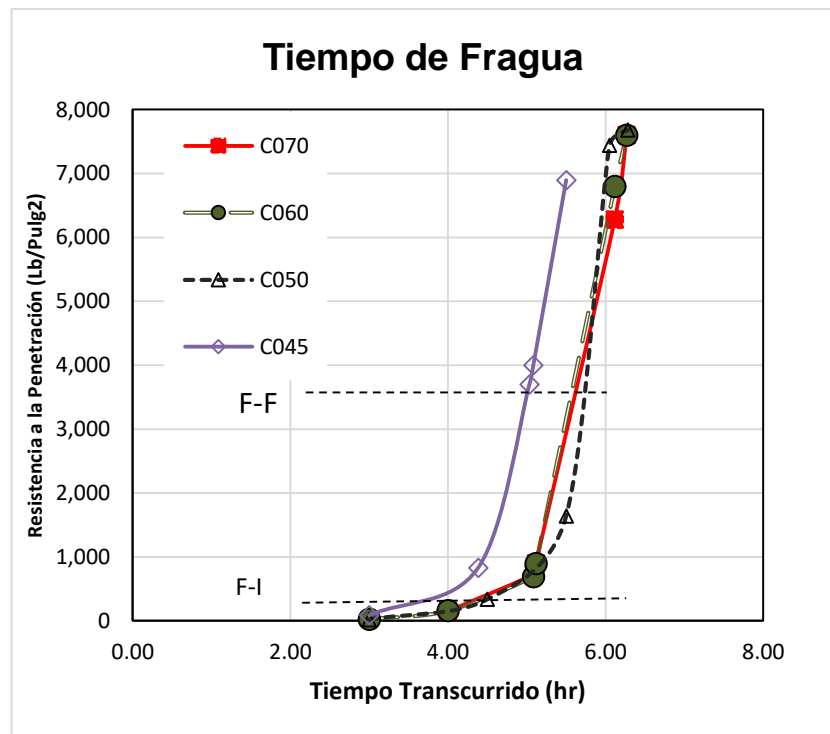


Figura Nº 35: Tiempo de fragua, desempeño

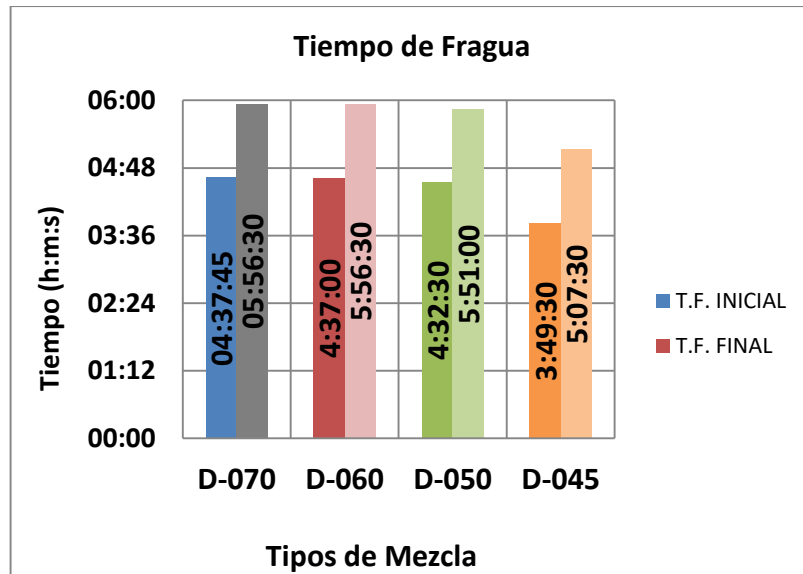


Figura Nº 36: Tiempo de fragua conclusión

Determinando la cantidad relativa de agua de mezclado que exuda el concreto fresco realizamos el ensayo según la NTP 339.077 y que lo representamos en los siguientes gráficos 35 al 38, dicha agua es expulsada o separada de la masa de concreto para luego ingresar rápidamente en el curado por lo que lo tomamos como el primer vacío hidraulico el cual calculamos su relacion en peso respecto al peso seco de la mezcla el cual registramos en el gráfico conclusión 39.

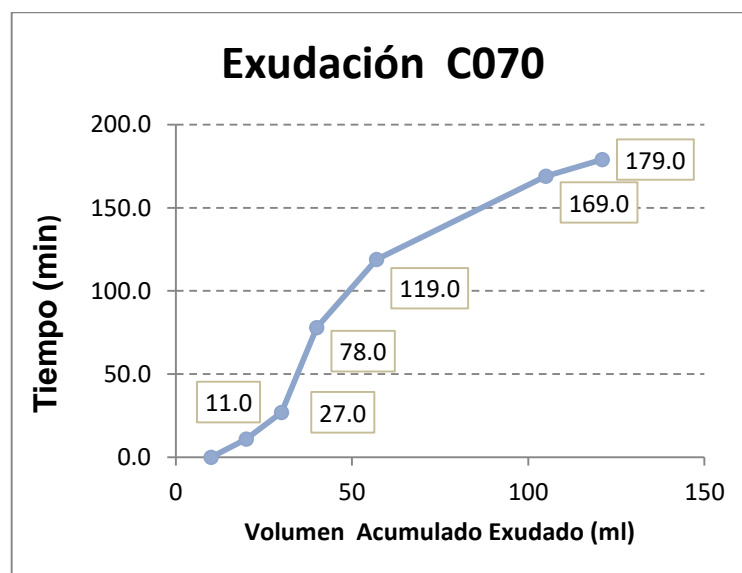


Figura Nº37: Exudación de C070

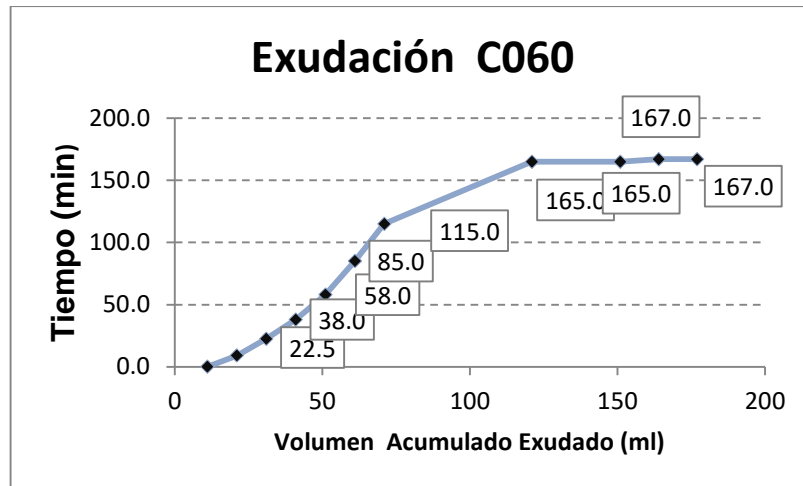


Figura Nº 38: Exudación de C060

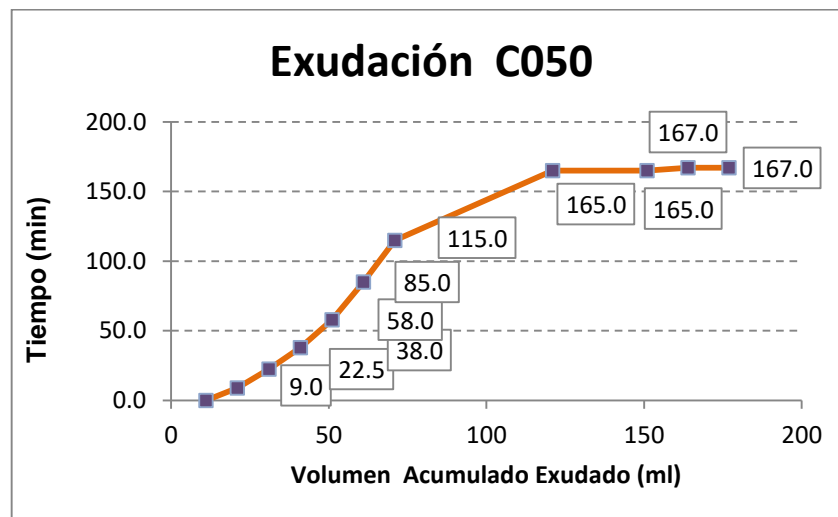


Figura Nº 39: Exudación de C050

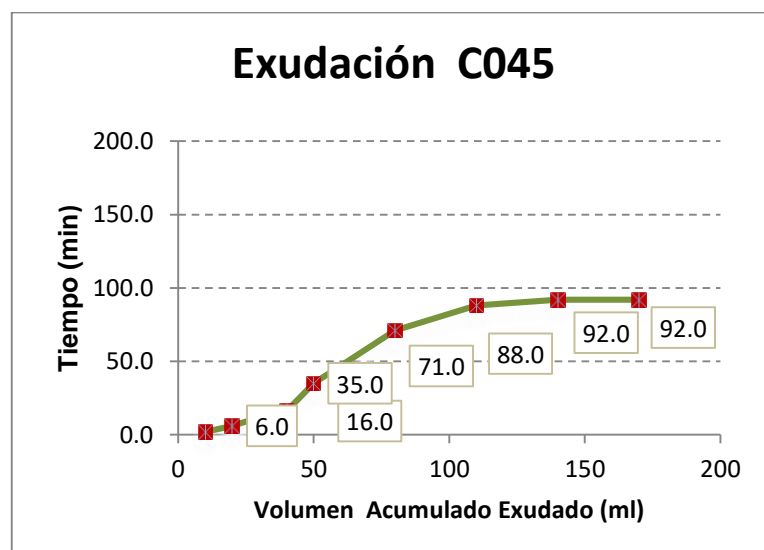


Figura Nº 40: Exudación de C045

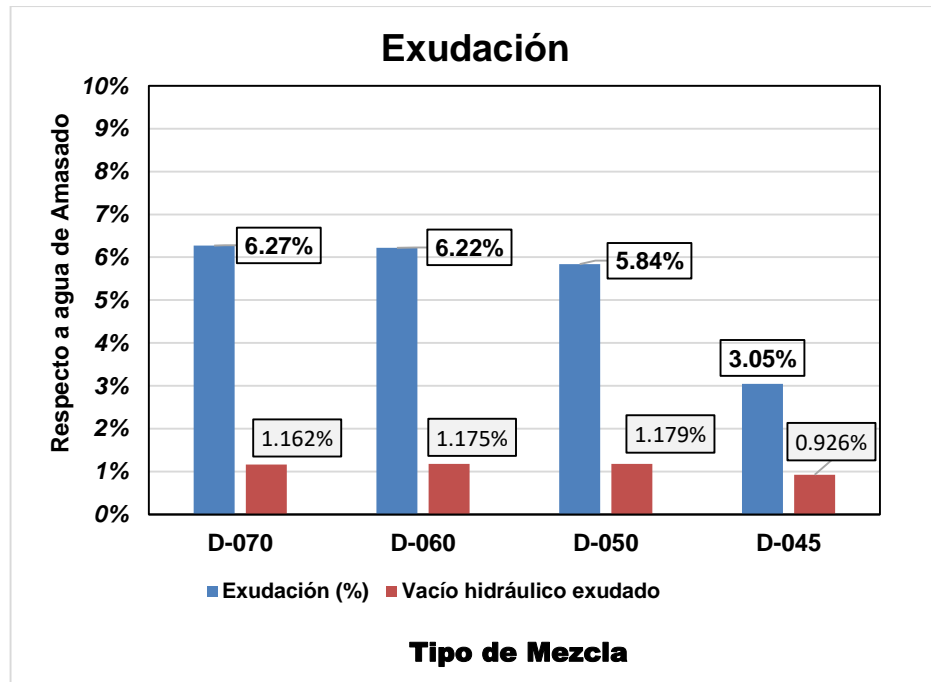


Figura N°41: Exudación y Vacío hidráulico por exudación respecto al peso seco de la mezcla.

Evaluando el Peso unitario en el concreto fresco a las 4 mezclas de nuestro estudio de permeabilidad obtenemos.

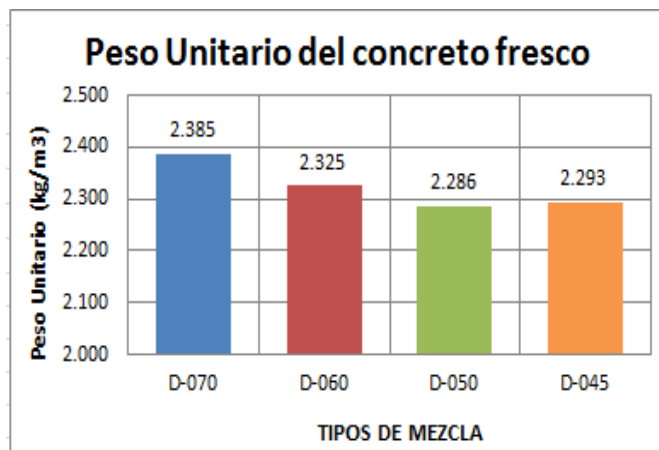


Figura N° 42: Peso unitario del concreto en estado fresco

7.4 CONCRETO EN EL ESTADO ENDURECIDO

Seguidamente procedemos a realizar el reconocimiento de las propiedades y características de los cuatro tipos de concreto en el estado endurecido.

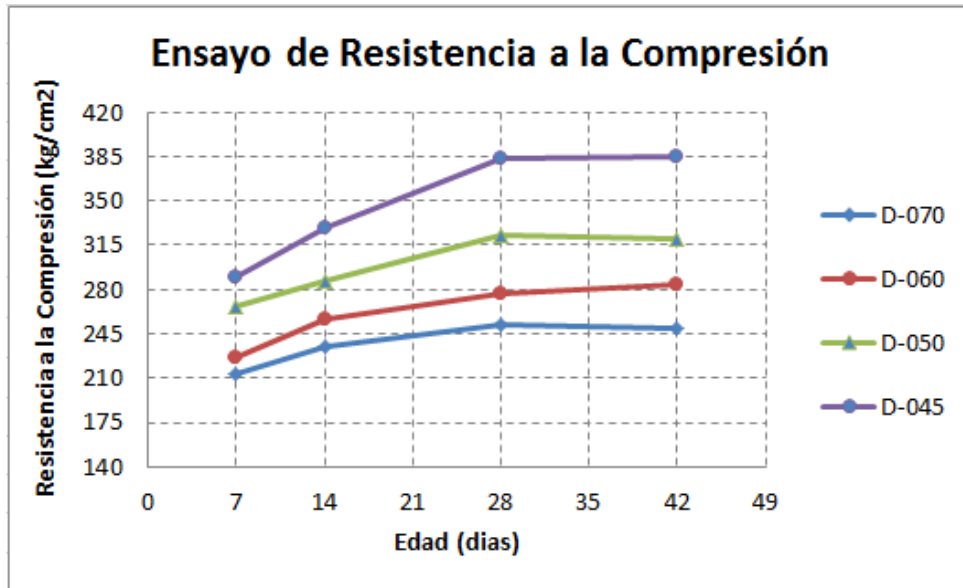


Figura Nº 43: Desempeño de la resistencia a la compresión

Anotando que los especímenes de mayor resistencia se encuentran a un menor índice o relación a/c como en este caso loes 0.45

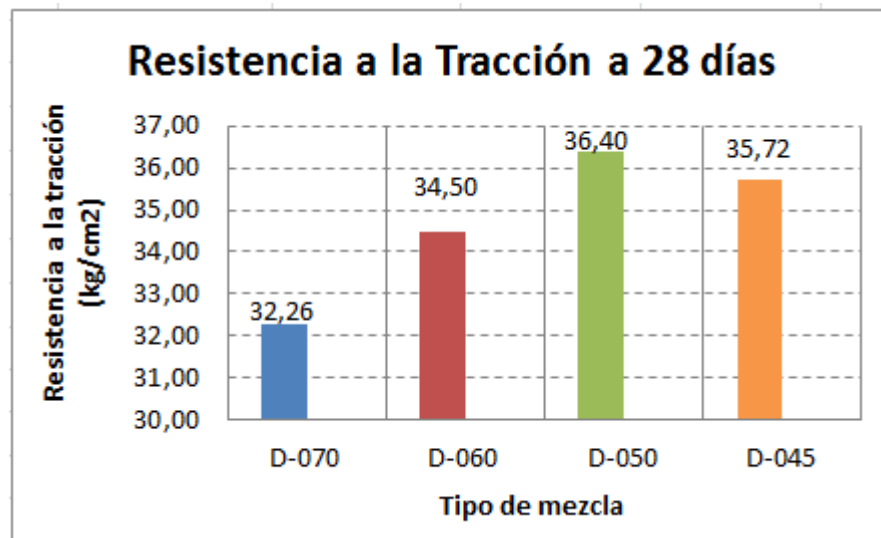


Figura Nº 44: Resistencia a la tracción por compresión diametral.

Anotando que los especímenes de mayor resistencia a la Tracción diametral es la mezcla A/C =0.50.

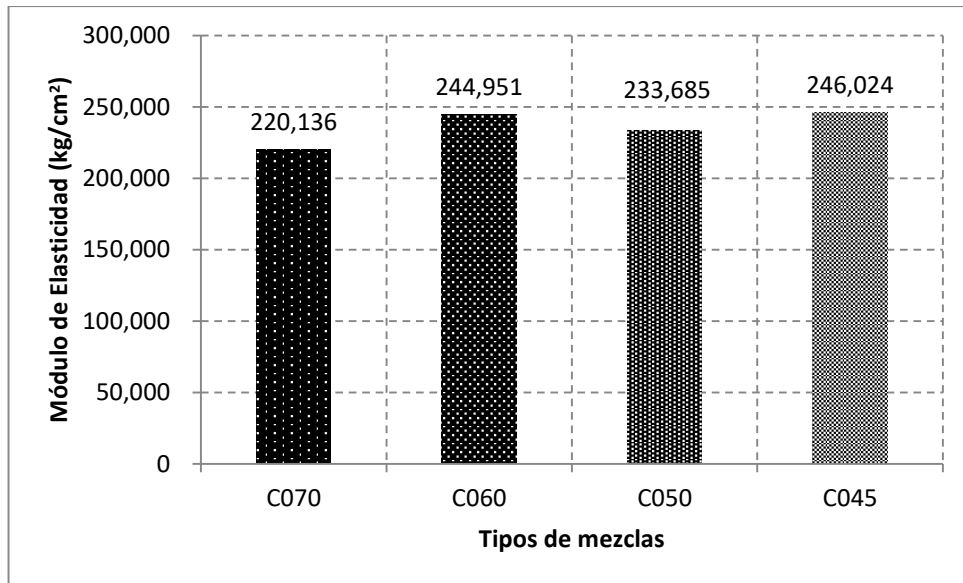


Figura Nº 45: Módulo de elasticidad

Ampliaremos el análisis en el caso de la permeabilidad del concreto en el cual utilizaremos el equipo construido por el investigador, gráfico 44 y 45.



Figura Nº 46: Equipo de medición de la Permeabilidad: capsulas



Figura Nº 47: Equipo de medición de la permeabilidad y muestras de concreto.

Utilizando el equipo propuesto y procedemos a realizar los respectivos pasos de colocación de los especímenes en el equipo de medición recogiendo la evolución paso a paso según lo planificado de la presión de trabajo, el tiempo y el caudal desplazado de la forma siguiente:

Diseño de Mezcla	C070	e(cm)=	5.6	Wp(gr)=	2288	$k = \frac{(Q1)^2 \cdot e}{Q \cdot A \cdot H \cdot t1}$ Q % vacios
Examen		A(cm ²)=	176.7	Wsss(gr)=	2335	
Fabricación		a(cm ²)=	0.30191	W s(gr)=	2194	

Presión mt	Hora H:M	Lectura cm	Tiempo Seg	T Ac Seg	Δ V cm ³	Vol Ac cm ³	K cm/seg	Permeada cm
61	13:03							
61	13:33	36.0						
58	13:55	32.0						
58	14:25	30.0						
58	14:55	27.0						
58	15:25	18.0						
60	15:35	5.0						
50	13:40	0.0						
50	13:50	3.1						
50	14:00	5.4						
50	14:40	15.0						
50	14:50	20.5						
49	15:10	22.3						
48	16:20	34.4						
48	16:50	36.2						

Figura Nº 48: Recolección y registro de permeabilidad en el concreto.

En donde:

- ❖ e(cm) es el espesor de la muestra de concreto.
- ❖ A(cm²) es el área de la muestra de concreto.
- ❖ a(cm²) es el área interna de la manguera en el arnés de mediciones.
- ❖ Presión (m) es la lectura de la presión, en m de columna de agua
- ❖ Hora H:m es la hora en que se toma lectura.
- ❖ Lectura (cm) es la lectura desplazada en el arnés respecto a un punto.
- ❖ Wp (gr) es el peso natural de la muestra de concreto.

- ❖ W_{sss} (gr) es el peso de la muestra saturada superficialmente seca, resultado de inundar la muestra ya permeada por 24 horas completando su hidratación y pesada secada en su superficie.
- ❖ W_s (gr) es el peso de la muestra seca en horno a 115° c por 24 horas.

El Cálculo del coeficiente de la permeabilidad empieza en determinar la capacidad máxima de agua en la muestra de concreto hallando:

- ❖ Q es la diferencia de W_{sss} y W_s
- ❖ Tiempo (seg) es la diferencia para periodos consecutivos de medición.
- ❖ T ac (seg) es el tiempo acumulado medido en segundos.
- ❖ ΔV (cm³) es la lectura multiplicada por área interior de la manguera de medición.
- ❖ Vol Ac (cm³) es Q1 el volumen acumulado de agua permeada en las particiones de medición.
- ❖ K.- es el resultado de la formula N° 8 descrita, donde Q1 es el Volumen acumulado y Q es el volumen hidráulico de vacíos.
- ❖ Permeada.- es una estimación de la capa mojada, resulta al hallar la fracción de Q1 de Q respecto del espesor de muestra.

Aplicamos
$$k = \frac{(Q1)^2 \cdot e}{Q \cdot A \cdot H \cdot t1}$$

Con las definiciones establecidas calculamos los términos faltantes y elaboramos los cuadros N° 30 al N° 47 y sus respectivos gráficos N° 11 al N° 28. Para los cuales estos datos son procesados en una hoja de cálculo el cual nos devuelve una ecuación de tendencia en la forma exponencial con el cual elaboramos el cuadro conclusión N° 49.

Es necesario la estimación del contenido de vacíos hidráulico se verifica que aumenta a medida del progreso en edad de cada muestra el que inicia en 1.80% según Cuadro N° 24 y alcanza a 28 días de curado los siguientes valores:

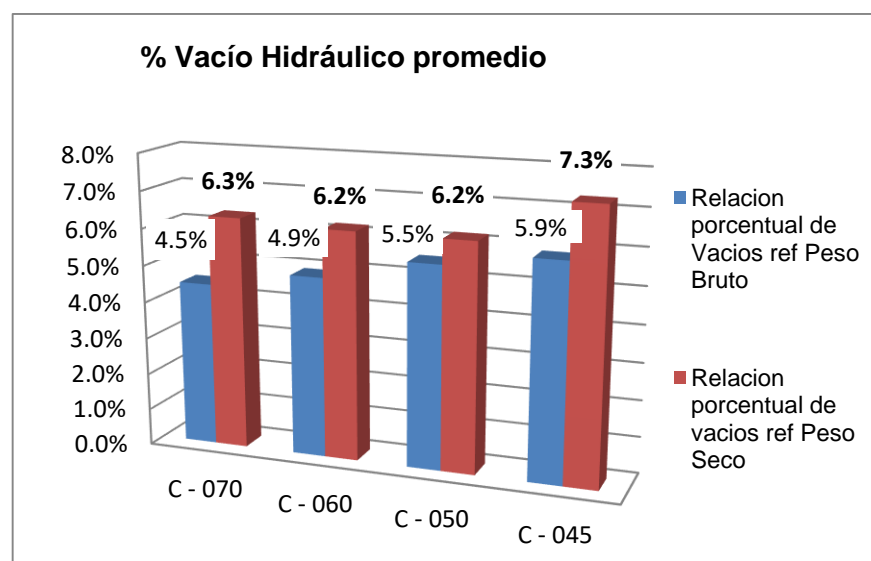


Figura N° 49: Porcentaje de Vacío hidráulico promedio

CUADRO Nº 52: Mediciones realizadas de K , capa permeada y % de vacíos hidráulicos.

MEZCLA	PERMEABILIDAD	K concreto (m/s) x10 ⁻¹⁰	Capa Permeada (cm)	% vacíos hidráulicos
C - 070	T = 1093*e ^{3E8 * K}	70.60	1.31	6.16%
	T = 1319.3*e ^{2E8 * K}	71.10	1.58	5.66%
	T = 288.59 *e ^{4E7 * K}	112.70	1.74	6.30%
C - 060	T = 3341.5*e ^{5E9 * K}	9.63	2.22	5.80%
	T = 8422.7 *e ^{7E9 * K}	3.80	1.38	5.70%
	T = 6424.9 *e ^{5E9 * K}	7.09	2.05	7.40%
C - 050	T = 288.59*e ^{4E8 * K}	101.00	2.33	6.28%
	T = 122.64*e ^{4E8 * K}	114.00	2.55	5.86%
	T = 299.07*e ^{2E8 * K}	266.00	4.05	5.38%
	T = 673326*e ^{-2E9 * K}	16.50	1.42	6.65%
	T = 5E6*e ^{-4E9 * K}	15.50	1.32	7.22%
	T = 902768*e ^{-3E9 * K}	10.30	1.09	6.85%
	T = 329019*e ^{-2E9 * K}	4.28	1.59	6.65%
	T = 340519*e ^{-2E9 * K}	4.21	1.52	7.28%
T = 340338*e ^{-3E9 * K}	2.79	1.26	6.85%	
M - 045	T = 834.48*e ^{2E9 * K}	14.70	0.52	5.62%
	T = 315 *e ^{7.87E9 * K}	4.92	0.24	6.23%
	T = 1650*e ^{5E8 * K}	45.6	0.87	6.01%
M - 050 10% 90%	T = 145542*e ^{-2E9 * K}	15.80	0.76	6.35%
	T = 617906 *e ^{-2E9 * K}	18.40	0.79	6.95%
	T = 16214*e ^{-3E8 * K}	15.30	0.72	6.62%
	T = 6776.5*e ^{E9 * K}	21.50	1.05	6.35%
	T = 5403.7 *e ^{9E8 * K}	22.00	1.05	6.95%
	T = 6526.9 *e ^{1E9 * K}	20.50	1.00	6.62%
M - 060 20% 80%	T = 664.72 *e ^{4E9 * K}	10.90	0.58	7.07%
	T = 1135.1 *e ^{4E9 * K}	7.14	0.45	6.75%
	T = 2960.5*e ^{7E8 * K}	32.00	1.06	7.01%
	T = 131258 *e ^{-84E8 * K}	7.73	0.6	7.07%
	T = 114441 *e ^{-1E9 * K}	5.20	0.55	6.75%
M - 070 30% 70%	T = 3135.4*e ^{1E8 * K}	206.00	2.58	6.48%
	T = 965.98*e ^{6E7 * K}	441.00	4.65	5.91%
	T = 1029.6 *e ^{4E7 * K}	875.00	6.69	5.48%

Elaboración propia: Tipo de Muestra, línea de tendencia, permeabilidad alcanzada, capa humeda y % de vacíos hidráulicos.

Al termino elaboramos el listado de todos los experimentos en búsqueda de la respuesta hidráulica del concreto el cual observamos en los graficos complementarios Nº11 al Nº 28

observando que el valor de la constante K sufre interrupciones debido a los momentos de recarga general maniobra obligatoria para compensar la cantidad de aire presurizado y estabilizar la presión de diseño y que se grafican como saltos en su continuidad.

No encontrando un patron de tendencia general procedemos a concluir en informar solo un resultado estadístico de lo actuado obteniendo el siguiente cuadro N° 50.

CUADRO N° 53: Desempeño promedio de K , Capa Permeada y comparación

MEZCLA: A/C	K promedio (m/s) x10 ⁻¹⁰	Capa Permeada (cm)	% vacíos	Comparación
0.70	70.85	2.44	5.9%	100%
0.60	6.84	1.88	6.9%	10%
0.50	59.29	1.90	6.6%	84%
0.45	10.64	0.40	6.0%	15%
M- 050 10% 90%	18.92	0.90	6.6%	27%
M - 060 20% 80%	12.59	0.65	6.9%	18%
M - 070 30% 70%	507.33	4.64	6.0%	716%

Elaboración propia

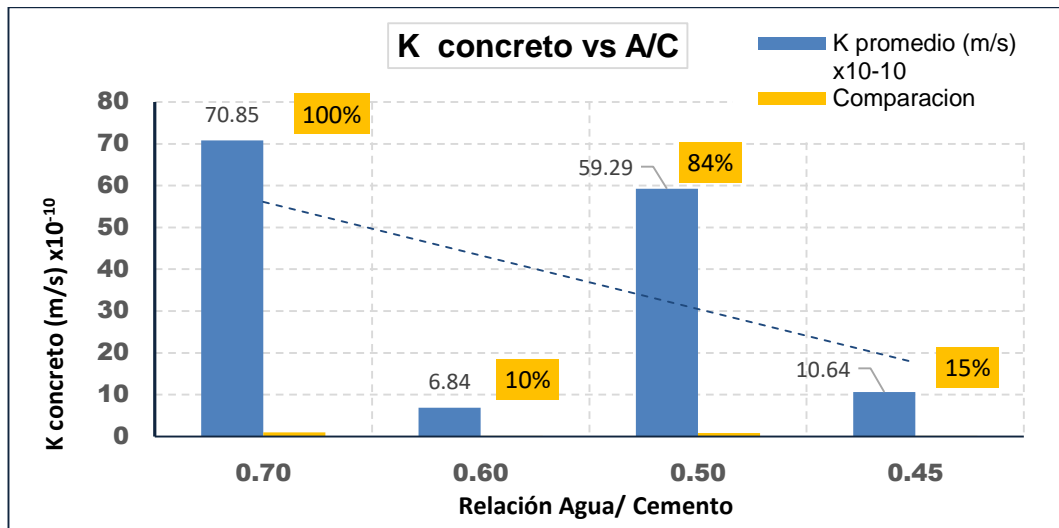


Figura N° 50: Coeficiente de Darcy del concreto (K) vs relación A/C

Con los resultados estadísticos del cuadro N° 50 del coeficiente de permeabilidad concluimos que existe un respectivo valor de permeabilidad asociado a una capa húmeda mediante el vacío hidráulico, representando de esta forma el aporte descriptivo de la absorción, resultando una fórmula mixta entre analítica por el principio de Darcy y descriptiva por el concepto del vacío hidráulico.

Finalmente procedemos a clasificar los cuatro diseños de mezcla según la recomendación del cuadro N° 24 ubicando nuestras muestra obtenemos lo siguiente:

CUADRO N° 54: Comparación final de la permeabilidad del concreto

CLASIFICACION	K (cm/s)		SUELO	K concreto
Muy Permeable	>10 ²		Grava	
Permeable	100	1E-03	Arena	
Poco Permeable	1E-03	1E-06	Limo	
Pract. Impermeable	1E-06	1E-09	Arcilla	C070.C050,C045
Impermeable	1E-09	1E-12	Arcilla Tratada	C060

Queda como observación final que el concreto responde con una permeabilidad cada vez más pequeña conforme transcurre el tiempo.

CONCLUSIONES

El presente estudio es una adaptación al aporte científico que hiciera uno de los primeros ingenieros Henry Philibert Gaspard Darcy en su legado sobre el comportamiento de un fluido en medios porosos, para el cual planteó una relación de proporcionalidad partiendo que el caudal de filtración es directamente proporcional al área del material filtrante y a la energía hidráulica que obliga el movimiento e inversamente proporcional al espesor de la capa filtrada, valor que será corregido por una constante experimental que identifica al material filtrante y se le conoce como constante hidráulica de Darcy.

La adaptación consiste en considerar al concreto como un material isotrópico donde el agua que absorbe el concreto permite un concepto de permeabilidad, la importancia por su estudio es cuando el agua transporta sustancias perjudiciales y viajan al interior del concreto.

1. La utilidad de contar con la constante de permeabilidad del concreto es responder a la cantidad de agua que atrapa el concreto y en otros casos conocer el agua permeada en estructuras de contención hidráulica como es el caso de represas, canales y tuberías de concreto.
2. En la presente investigación se aplicó un flujo unidireccional en el interior del concreto en un ducto con paredes de material homogéneo a una presión hidráulica constante que en nuestro caso es de 50 mt de columna de agua.

El concreto ensayado es de 28 días de edad de cuatro variedades diferenciados por su relación agua cemento que en nuestro caso son 0.70, 0.60, 0.50 y 0.45 con la intención de presentar valores de permeabilidad asociado a su resistencia por compresión simple.

3. Se fabricó un equipo diseñado por el investigador con la finalidad de mejorar la sujeción y hermeticidad lateral de la prueba por lo que se adoptó tomar muestras tronco cónicas de concreto por lo tanto la prueba de presión hidráulica se realizó en una capsula de cono invertido.
4. La medición del caudal de tránsito se realizó por desplazamiento del fluido en ductos transparentes que multiplicado por la sección circular del ducto nos da el volumen desplazado al interior del concreto.
5. La presión de trabajo de 50 mt de columna de agua es realizada por una compresora neumática conectada a un reservorio dispensador de agua.

La modelación de los diversos concretos destinados al presente estudio fueron

elaborados con agregado finos de la cantera La Molina, agregado grueso de la chancadora UNICON Sector T, cemento portland tipo I de la marca Sol y el agua potable de la red pública.

En la producción del concreto se ha examinado y controlado las propiedades del concreto fresco y endurecido.

En la etapa de concreto fresco se ha tomado exámenes de asentamiento, fluidez, peso unitario, exudación, contenido de aire y tiempo de fraguado obteniéndose: Asentamiento de 3" a 4" para todas la variedades de diseño con fluidez que va de 82% para A/C = 0.70 y 104% para A/C = 0.45.

Peso unitario del concreto fresco que va de 2.385 Kg/m³ para A/C = 0.70 y 2.293 Kg/m³ para concretos con A/C = 0.45.

6. Se verifica el contenido de Aire Atrapado para todas las variedades de diseño es 1.5 % por trabajarse con un agregado de tamaño máximo 1" y que representa 15 gr en 2.385 gr = 0.6 % de vacíos hidráulicos.
7. La Exudación se manifiesta como la salida de agua que excede en la mezcla húmeda el mismo que lo observamos como permeabilidad inicial registrando 1.15% del peso bruto del concreto.
8. El Tiempo de fraguado de las todas las variedades de diseño se encuentran en 3h 50 min para la fragua inicial y 5h 50 min para la fragua final.

Concluyendo que en la etapa de concreto fresco todas las variedades de diseño se clasifican como concretos normales y comunes.

9. En la etapa de concreto endurecido el ensayo de resistencia a la compresión simple a 28 días de edad se obtiene:
 - a. A/C = 0.70, Resistencia media de 251 kg/cm²
 - b. A/C = 0.60, Resistencia media de 277 kg/cm²
 - c. A/C = 0.50, Resistencia media de 323 kg/cm²
 - d. A/C = 0.45, Resistencia media de 383 kg/cm²
10. En el ensayo de Resistencia a tracción por compresión diametral se obtiene:
 - a. A/C = 0.70, Tracción media de 32 kg/cm²
 - b. A/C = 0.60, Tracción media de 35 kg/cm²
 - c. A/C = 0.50, Tracción media de 36 kg/cm²
 - d. A/C = 0.45, Tracción media de 36 kg/cm²

En el ensayo de Módulo de Elasticidad Estática se obtiene:

- e. A/C = 0.70, Elasticidad media de 255,810 kg/cm²

- f. A/C = 0.60, Elasticidad media de 243,728 kg/cm²
- g. A/C = 0.50, Elasticidad media de 251,593 kg/cm²
- h. A/C = 0.45, Elasticidad media de 231,545 kg/cm²

Concluyendo que son concretos comunes para sus respectivas relaciones A/C. En la nueva propuesta de medición de la permeabilidad se construyó un equipo de prueba hidráulica para pastillas de concreto moldeadas en sus respectivos moldes de prueba para soportar una presión promedio de 50 mt de columna de agua, se obtuvo un desplazamiento 50 a 150 ml de agua al interior del concreto sobre 177 cm² en área expuesta en los cuatro tipos de muestras de concreto los cuales necesitan de un nuevo parámetro experimental esto es la estimación de la porosidad hidráulica el cual llamamos vacío hidráulico en el concreto.

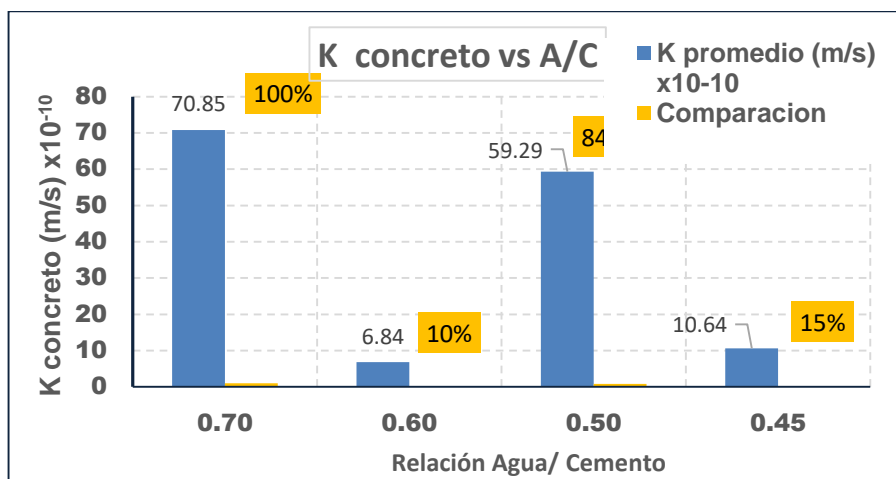
- 11. El vacío hidráulico es la máxima cantidad de agua que pueda transitar en el concreto, su estimación es de la diferencia del peso en estado saturado superficialmente seco y el estado seco al horno, lo llamamos Q.

Utilizamos la fórmula experimental:

$$k = \frac{(Q1)^2 \cdot e}{Q \cdot A \cdot H \cdot t1}$$

Aplicable al flujo unidireccional, siendo Q1 el caudal permeado en un tiempo T1 a través de la muestra de espesor e, área A, y presión hidráulica H.

- 12. El gráfico de los valores de K respecto al tiempo tiene tendencia a un comportamiento Exponencial.
- 13. Los valores de permeabilidad están asociadas al % de vacíos hidráulico de los cuales el resultado general es el siguiente:
 - a. Para A/C = 0.70, K = 7.085E-9 m/s, capa húmeda 2.4 cm y % vacíos = 5.95%
 - b. Para A/C = 0.60, K = 6.84E-10 m/s, capa húmeda 1.9 cm y % vacíos = 6.90%
 - c. Para A/C = 0.50, K = 5.929E-9 m/s, capa húmeda 1.9 cm y % vacíos = 6.60%
 - d. Para A/C = 0.45, K = 1.064E-9 m/s, capa húmeda 0.4 cm y % vacíos = 6.00%.



14. Se concluye que con forme transcurre el tiempo el coeficiente de permeabilidad no se manifiesta constante, que al transcurrir el tiempo dicho coeficiente disminuye bajo un comportamiento exponencial.
15. La estimación de la porosidad del concreto endurecido actualmente no tiene un procedimiento establecido para su medición de alguna institución dedicada al concreto, más por la disciplina de la mineralogía existe un examen destructivo por inmersión en mercurio el cual es diferente a los fines hidráulicos, donde se requiere a que el concreto sea inerte a la presencia del agua.
16. La permeabilidad obtenida en los concretos C070, C050 y C045 según la nueva propuesta de medición concluye en valores del orden de K: 1E-06 a 1E-09 (cm/s) los cuales según AASTHO T125 alcanzan a una denominación de materiales “prácticamente impermeables”.
17. La permeabilidad obtenida en concretos C060 según la nueva propuesta de medición concluye en valores del orden de K: 1E-09 a 1E-12 (cm/s) los cuales según AASTHO T125 alcanzan a una denominación de materiales “impermeables”.
18. En líneas generales la prueba de permeabilidad inyecta agua al interior del concreto el cual va perdiendo la velocidad de acción, dejando un vacío a la pregunta de propiciar o mejorar las propiedades del concreto por la presencia de agua en profundidades nada típicas en el concreto, siendo esta una de las pocas pruebas que trabajan con espesor húmedo y volumen de agua utilizada.

RECOMENDACIONES

Al realizar la prueba de permeabilidad se puede esperar dos resultados; el descriptivo que realiza una comparación superficial de la absorción y en otro caso el analítico el cual determina su constante de Darcy y en esto no se cuenta con un respaldo de resultados comparativos siendo en si una característica anónima.

Al emplear el presente método de medición se ha resuelto el camino analítico y descriptivo: el analítico mediante la fórmula de Darcy y el descriptivo al incorporar concepto del Vacío hidráulico en la fórmula ya mencionada.

Los resultados característicos en este tipo de experimentos está compuesto por dos magnitudes: la velocidad de flujo hidráulico el que recién se puede clasificar en niveles de permeabilidad y una segunda magnitud la capa efectiva que interviene el agua en el concreto sin la necesidad de partir la muestra.

Queda como labor pendiente aumentar los resultados que sirvan de base histórica de las diferentes variantes de diseño en el concreto ya sea por incorporación de aire, tipo de cemento, condición de curado y tipo de acabado.

Queda en recomendación general automatizar el sistema de medición y obtener resultados sin interrupciones integrando para este fin contadores de caudal en línea que faciliten la lectura respectiva complementando con la integración de una compresora de mayor capacidad estabilizando la presión hidráulica del experimento y seguir los procedimientos siguientes:

1. Utilizar muestras no menores de 6.0 cm de espesor.
2. Considerar tres días de prueba ininterrumpidas para la medición de la permeabilidad.
3. Resulta importante la estimación del vacío hidráulico de la muestra de concreto, de ello el uso de balanza de precisión al gr y un horno que proporcione un tratamiento térmico constante a 115° C.
4. El agua que se emplea en el ensayo debe de ser una muestra del líquido al que debe de estar expuesto la estructura de concreto, siendo las paredes del equipo resistentes a las reacciones químicas por oxidación.
5. Es recomendable extender la edad de ensayo a fin de trabajar con muestras hidratadas superiores a 28 días.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 AENOR. "Ensayos de Hormigón endurecido, parte 8", profundidad de penetración. UNE EN 12390-8 Asociación Española de Normalización y Certificación, Madrid – España 2001.
- 2 ASOCEM Asociación de Productores del Cemento, Boletines Técnicos 1 al 42, Editorial ACI 1993
- 3 Coral Jamanca, Luis, Tesis; "Método de Elementos Finitos en el flujo de agua a través de medios porosos", Biblioteca FIC – UNI, Lima – Perú 1,992
- 4 INCONTEC, "Método de ensayo para determinar la permeabilidad del concreto al agua", NTC 4483, Bogotá – Colombia 1998.
- 5 INN-Chile, "Hormigón y mortero – Método de ensayo – Determinación de la impermeabilidad al agua- Método de la penetración de agua bajo presión" NCh 2262 of 97
- 6 López Orozco, Juan Orlando "Porosidad del concreto" Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala 2004
- 7 Pasquel Carbajal, Enrique, "Tópicos de tecnología del Concreto en el Perú", Editorial CIP, Lima - Perú 1993.
- 8 Reglamento Americano, ASSTHO T 277, ASTM C 1202 Permeabilidad del Ion Cloruro.
- 9 Sakurai, Cristian, "Absorción por succión capilar del hormigón endurecido", LEMaC Centro de investigaciones viales, Argentina 2010.
- 10 Riva López, Enrique, "Diseño de Mezcla", Editorial Hozlo S.C.R.L. Lima – Perú 1,992
- 11 Riva López, Enrique, "Tecnología del Concreto", Editorial ACI. Lima – Perú 1,993

ANEXOS

ANEXO A: PREVIOS AL CONCRETO	114
ANEXO B: CONCRETO	122
ANEXO C: ARCHIVO FOTOGRÁFICO	145

ANEXO A:

PREVIOS AL CONCRETO

CUADRO A. 1. Norma técnica peruana 400.037 agregados para el concreto.

HUSO	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS													
		100 mm (4 pulg.)	90 mm (3 1/2 pulg.)	75 mm (3 pulg.)	63 mm (2 1/2 pulg.)	50 mm (2 pulg.)	37,5 mm (1 1/2 pulg.)	25,0 mm (1 pulg.)	19,0 mm (3/4 pulg.)	12,5 mm (1/2 pulg.)	9,5 mm (3/8 pulg.)	4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)	1,18 mm (No. 16)	4,75 µm (No. 50)
1	90 mm a 37,5 mm (3 1/2 a 1 1/2 pulg.)	100	90 a 100	---	25 a 60	---	0 a 15	---	0 a 15	---	---	---	---	---	---
2	63 mm a 37,5 mm (2 1/2 a 1 1/2 pulg.)	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	---	---	---	---	---	---	---
3	50 mm a 25,0 mm (2 a 1 pulg.)	---	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	0 a 5	---	---	---	---	---	---
367	50 mm a 4,75 mm (2 pulg. a No. 4)	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	0 a 30	---	0 a 5	---	---	---	---
4	37,5 mm a 19,0 mm (1 1/2 a 3/4 pulg.)	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	---	---	---	---	---	---
467	37,5 mm a 4,75 mm (1 1/2 pulg. a No. 4)	---	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	0 a 5	---	---	---
5	25,0 mm a 12,5 mm (1 a 1/2 pulg.)	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---	---	---
56	25,0 mm a 9,5 mm (1 a 3/8 pulg.)	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	---	---	---
57	25,0 mm a 4,75 mm (1 pulg. a No. 4)	---	---	---	---	---	100	95 a 100	---	25 a 60	---	0 a 10	0 a 5	---	---
6	19,0 mm a 9,5 mm (3/4 a 3/8 pulg.)	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	---	---	---
67	19,0 mm a 4,75 mm (3/4 pulg. a No. 4)	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	---	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---
7	12,5 mm a 4,75 mm (1/2 pulg. a No. 4)	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	---	---
8	9,5 mm a 2,36 mm (3/8 pulg. a No. 6)	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	---
89	9,5 mm a 1,18 mm (3/8 pulg. a No. 16)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	100	20 a 35	5 a 30	0 a 5	0 a 5
9	4,75 mm a 1,18 mm (No. 4 a No. 16)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

AGREGADO GLOBAL

CUADRO A. 2. Pesos de las muestras para la obtención de la mezcla de agregados promedio, para los distintos porcentajes de agregados.

Arena %	Piedra %	Arena (kg)	Piedra (kg)	Muestra 1 (kg)	Muestra 2 (kg)	Muestra 3 (kg)	Promedio (kg)
47	53	28.2	31.8	36.400	36.300	36.500	36.400
45	55	27.0	37.5	37.300	37.400	37.500	37.400
43	57	25.8	34.2	37.100	37.000	37.000	37.033
41	59	24.6	36.4	36.400	36.700	36.300	36.467

CUADRO A. 3. Cálculos y resultados para Peso Unitario Compactado del Agregado Global.

%Arena	%Piedra	Promedio (kg): A	Peso balde (kg): B	Peso de muestra (kg): (A-B)	P.U.C. (kg/m ³): (A-B)/C
47	53	36.400	8.60	27.80	2014
45	55	37.400	8.60	28.80	2087
43	57	37.033	8.60	28.43	2060
41	59	36.467	8.60	27.87	2019
Nota: C= Constante <>				0.0138	

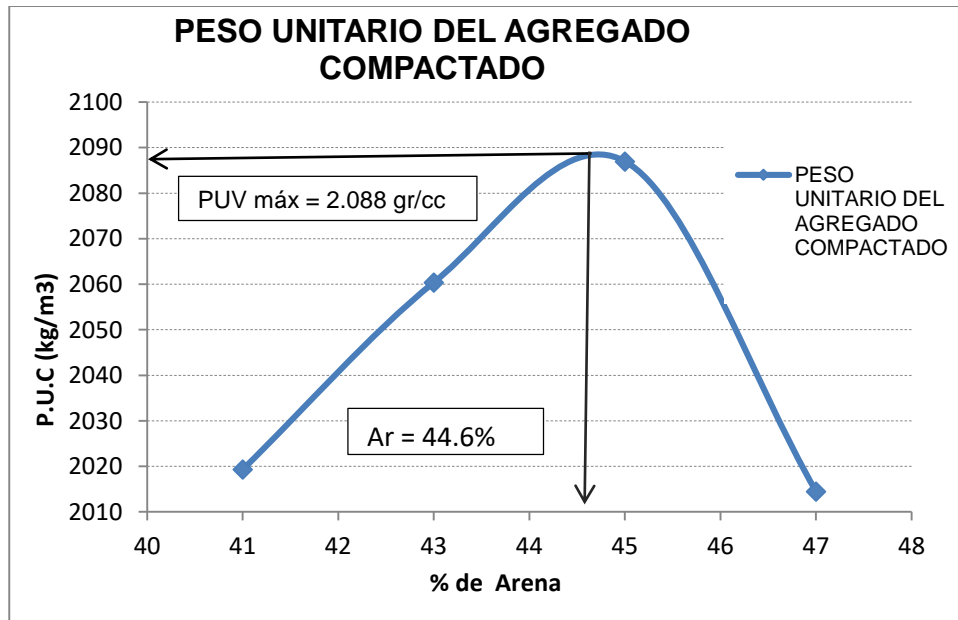


GRAFICO A. 1. Curva del Peso Unitario Compactado vs. % Arena.

Conclusión:

Agregado fino 44.6 % y agregado Grueso 55.4%

CUADRO A. 4. Análisis Granulométrico del agregado Global.

Malla		% Retenido		44.6% de Arena	55.6% de Piedra	% Acumulado Global	
N° Tamiz	mm	Arena	Piedra			Retenido	Pasa
1 1/2"	38.1		0	0	0	0	100
1"	25.4		5.9	0	3.27	3.27	96.73
3/4"	19.05		29.9	0	16.56	19.83	80.17
1/2"	12.7	0	36	0	19.94	39.77	60.23
3/8"	9.53	1.4	13.5	0.62	7.48	47.87	52.13
1/4"	6.35	1.7	11.8	0.76	6.54	55.17	44.83
N°4	4.76	10.6	2.9	4.73	1.61	61.51	38.49
N°8	2.38	19.8	0	8.83		70.34	29.66
N°16	1.19	19.7	0	8.79		79.13	20.87
N°30	0.595	17.0		7.58		86.71	13.29
N°50	0.297	13.2		5.89		92.60	7.40
N°100	0.149	9.1		4.06		96.66	3.34
Fondo		7.5		3.35		100.01	0

CUADRO A. 5. Requisitos granulométricos del agregado global DIN 1048

Tamices	DIN 1045		
	A	B	C
1 1/2"	100	100.0	100.0
1"	100.0	100.0	100.0
3/4"	72.0	84.0	92.0
1/2"			
3/8"	44.0	66.0	79.0
No 04	26.0	50.0	67.0
No 08	16.0	38.0	55.0
No 16	10.0	30.0	44.0
No 30	6.0	20.0	32.0
No 50	2.0	10.0	18.0
No 100	1.0	4.0	8.0
No 200			

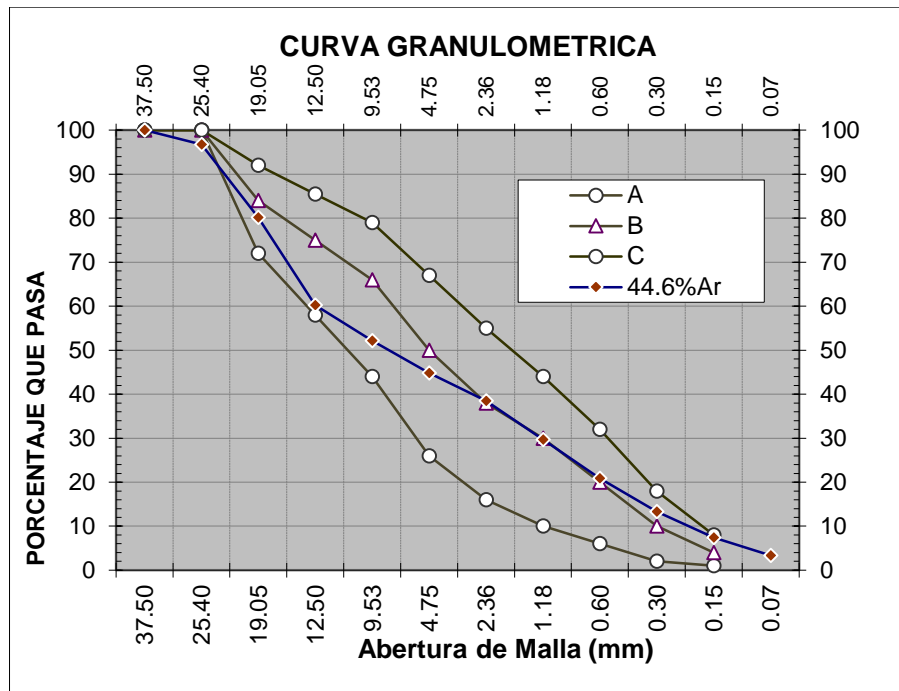


GRAFICO A. 2. Curva granulométrica del agregado global y normas DIN 1048.

Recomendación del comité 211 del ACI para la primera estimación del agua de mezclado y contenido de aire para diferentes valores de asentamientos y tamaños máximos de agregados

CUADRO A. 5. Primera estimación del agua de mezclado

ASENTAMIENTO O SLUMP (mm)	Agua en lt/m^3 de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados.								
	10mm (3/8")	12.5mm (1/2")	20mm (3/4")	25mm (1")	40mm (1 1/2")	50mm (2")	70mm (3")	150mm (6")	
CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO									
30 a 50 (1" a 2")	205	200	185	180	160	155	145	125	
80 a 100 (3" a 4")	225	215	200	195	175	170	160	140	
150 a 180 (6" a 7")	240	230	210	205	185	180	170	---	
Cantidad aproximada de aire atrapado (%).	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2	
CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO									
30 a 50 (1" a 2")	180	175	165	160	145	140	135	120	
80 a 100 (3" a 4")	200	190	180	175	160	155	150	135	
150 a 180 (6" a 7")	215	205	190	185	170	165	160	---	
Contenido total de aire incorporado (%), en función del grado de exposición.	Exposición suave	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5*	1.0*
	Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5*	3.0*
	Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5*	4.0*

Fuente Comité 211 - ACI

MÉTODO PARA LA OBTENCIÓN DEL AGUA

CUADRO N° 48: Características de los Agregados:

Propiedad	Unidad	Ag. Fino	Ag. Grueso
Tamaño Máximo			1"
Peso Unitario Suelto	Kg/m ³	1305	1393
Peso Unitario Compactado	Kg/m ³	1407	1547
Peso Específico	Kg/m ³	2.679	2.666
Porcentaje de Absorción	%	0.57	1.16
Contenido de humedad	%	0.60	2.91
Módulo de Finura		2.58	7.18

Elaboración propia; pag 98

Los datos de combinación de agregados se obtuvieron del P.U.C del Agregado Global, Se consideró valores de agua de 208, 213, 220 y 227 litros para hacer diseños de mezclas para la relación a/c =0.70. Para así obtener el gráfico "asentamiento del concreto VS agua", de esta manera obtener el agua para un asentamiento de 4".

1) Diseño de Mezcla a/c = 0.70 con 208 litros de agua

Hallamos la cantidad de cemento = $208/0.7 = 297.1$ kg

Y calculamos los volúmenes absolutos de los agregados considerando 1.5% de aire atrapado en el concreto fresco el cual se adjunta el respectivo apunte de diseño.

CUADRO A.6. Cálculos y resultados para el diseño seco de prueba C070.

Arena 44,6 %
Piedra 55,4 %

	D. Seco	Vol Abs.	D. Obra	Tanda		D.Seco	Vol Abs
Cemento	297.1	0.0943	297.1	5.64	7.143	304.3	0.0966
Agua (0,7)	208.0	0.2080	216.1	4.10	5.000	213.0	0.2130
Arena	813.5	0.3037	818.4	15.53		813.5	0.3037
Piedra	1010.5	0.379	1014.0	19.24		1010.5	0.3790
Aire		0.0150					0.0150
Suma	2329.134	1.0000	2345.6	44.51			1.0073

Slum – cm 5 7.5

Arena 44,6 %
Para 1 m3 Piedra 55,4 %

	DS Correg	D Obra	Tanda	DS busc	Vol Abs	D Obra
Cemento	302.1	302.10	5.77	304.3	0.0966	304.3
Agua (0,7)	211.5	219.50	4.19	213.0	0.2130	221.0
Arena	807.6	812.00	15.51	805.0	0.3005	810.0
Piedra	1003.2	1006.00	19.22	999.9	0.3751	1003.0
Aire					0.0150	
Suma	2324.4	2339.6	44.7		1.0002	2338.3

Slum – cm 8

2) Diseño de Mezcla a/c = 0.60 con 213 litros de agua

Hallamos la cantidad de cemento = $213/0.6 = 297.1.7$ kg

Y calculamos los volúmenes absolutos de los agregados considerando 1.5% de aire atrapado

CADRO A.7. Cálculos y resultados para el diseño seco de prueba C060.

Arena 44,6 %
Piedra 55,4 %

	D. Seco	Vol Abs.	D. Obra	Tanda		D.Seco	Vol Abs
Cemento	355.0	0.1127	355.0	6.78	3.333	358.3	0.1137
Agua (0,6)	213.0	0.2130	220.8	4.22	2.000	215.0	0.2150
Arena	785.5	0.2932	790.2	15.10		785.5	0.2932
Piedra	975.7	0.366	979.0	18.70		975.7	0.3660
Aire		0.0150					0.0150
Suma	2329.21	0.9999	2345.0	44.8			1.0029
Slum – cm				7			8

Arena 44,6 %
Piedra 55,4 %

	D. Seco	Vol Abs.	D. Obra	Tanda		D.Seco	Vol Abs
Cemento	355.0	0.1127	355.0	6.78	3.333	358.3	0.1137
Agua (0,6)	213.0	0.2130	220.8	4.22	2.000	215.0	0.2150
Arena	785.5	0.2932	790.2	15.10		785.5	0.2932
Piedra	975.7	0.366	979.0	18.70		975.7	0.3660
Aire		0.0150					0.0150
Suma	2329.21	0.9999	2345.0	44.8			1.0029
Slum – cm				7			8

3) Diseño de Mezcla a/c = 0.50 con 220 litros de agua

Hallamos la cantidad de cemento = $213/0.6 = 440.0$ kg

Y calculamos los volúmenes absolutos de los agregados considerando 1.5% de aire atrapado

CUADRO A.8. Cálculos y resultados para el diseño seco de prueba C050.

Arena 44,6 %
Piedra 55,4 %

	D. Seco	Vol Abs.	D. Obra	Tanda		D.Seco	Vol Abs
Cemento	440.0	0.1397	440.0	8.4	14.000	454.0	0.1441
Agua (0,5)	220.0	0.2200	227.4	4.4	7.000	227.0	0.2270
Arena	745.0	0.2781	749.5	14.40		745.0	0.2781
Piedra	925.4	0.3471	928.0	17.80		925.4	0.3471
Aire		0.0150					0.0150
Suma	2330.404	0.9999	2344.9	45			1.0113
Slum – cm				5			8

Arena 44,6 %
Para 1 m3 Piedra 55,4 %

	DS Correg	D Obra	Tanda	DS busc	Vol Abs	D Obra
Cemento	448.9	448.90	8.70	456.0	0.1448	456.0
Agua (0.5)	224.5	231.80	4.49	228.0	0.2280	235.2
Arena	736.7	741.00	14.37	729.5	0.2723	734.0
Piedra	915.1	918.00	17.8	906.2	0.3399	909.0
Aire					0.0150	
Suma	2325.2	2339.7	45.4		1.0000	2334.2
Slum – cm			8			

4) Diseño de Mezcla a/c = 0.45 con 220 litros de agua

Hallamos la cantidad de cemento = $230.6/0.6 = 512.5$ kg

Y calculamos los volúmenes absolutos de los agregados considerando 1.5% de aire atrapado en el concreto fresco el cual se adjunta el respectivo apunte de diseño

CUADRO A.9. Cálculos y resultados para el diseño seco de prueba C045.

Arena 44,6 %
Piedra 55,4 %

	D. Seco	Vol Abs.	D. Obra	Tanda		D.Seco	Vol Abs
Cemento	504.4	0.1601	504.4	9.79	13.333	517.8	0.1644
Agua (0,45)	227.0	0.2270	234.1	4.54	6.000	233.0	0.2330
Arena	712.5	0.266	716.8	13.90		712.5	0.2660
Piedra	885.0	0.332	888.0	17.20		885.0	0.3320
Aire		0.0150					0.0150
Suma	2328.978	1.0001	2343.3	45.43			1.0104
Slum – cm				4			7.5

Arena 44,6 %
Para 1 m3 Piedra 55,4 %

	DS Correg	D Obra	Tanda	DS busc	Vol Abs	D Obra
Cemento	512.5	512.5	10.03	520.0	0.1651	520.0
Agua (0.45)	230.6	237.6	4.65	234.0	0.2340	240.9
Arena	705.2	709.4	13.9	699.0	0.2609	703.0
Piedra	875.9	879.0	17.2	868.3	0.3257	871.0
Aire					0.0150	
Suma	2324.2	2324.2	45.78		1.0007	2334.9
Slum – cm			8			8.8

CUADRO A.10. Conclusión de los diversos diseños de mezcla

MEZCLA	Cemento (kg)	Agua (Lt)	Ag Fino (kg)	Ag Grueso (kg)	Peso de tanda (Kg)
D-070	304.3	221.0	810.0	1003.0	2338.3
D-060	355.0	220.8	790.0	979.0	2344.8
D-050	456.0	235.2	734.0	909.0	2334.2
D-045	520.0	240.9	703.0	871.0	2334.9

ANEXO B:

CONCRETO

Se procederá a realizar el reconocimiento de las propiedades en el estado de los cuatro diseños de mezclas los cuales son: Asentamiento, Extensibilidad, Peso unitario del concreto fresco, exudación, Tiempo de fraguado, Contenido de aire atrapado. De los cuales los ensayos de Asentamiento y Fluidez son ensayos instantáneos los cuales serán correlacionados

1) Asentamiento y Extensibilidad:

CUADRO B. 1. Cálculos y resultados del asentamiento y la extensibilidad en la mesa de sacudidas.

MEZCLA		C070	C060	C050	C045
Temperatura		22.5 ° c	28.0°c	26.0 °	26.0 °c
fecha		08-Abr	24-Abr	09-Abr	30-Abr
Asent.	pulg	3.75	3.75	3.75	3.50
D1	cm	50.0	52.0	53.0	52.5
D2	cm	49.3	50.5	52.5	52.0
D3	cm	48.0	51.0	53.0	51.5
D4	cm	48.0	52.0	52.5	51.0
D5	cm	48.5	52.0	53.0	53.0
D6	cm	48.0	52.0	52.5	52.0
D promedio		48.63	51.58	52.75	52.00
Dp / 25	%	194.5%	206.3%	211.0%	208.0%
Extensibilidad	%-100%	94.5%	106.3%	111.0%	108.0%

2) Peso Unitario del Concreto Fresco:

CUADRO B.2. Cálculos y resultados para hallar el PUCF.

MEZCLA		C070	C060	C050	C045	
Temperatura		22.5 ° c	28.0°c	26.0 °	26.0 °c	
fecha		08-Abr	24-Abr	09-Abr	30-Abr	
W b+ cf	A	42150	44250	44900	44900	gr
W balde	B	8400	11900	12000	12000	gr
W cf	C= A-B	33750	32350	32900	32900	gr
Vol balde	D	14.15	14.15	14.15	14.15	l
PUCF	C / D	2385	2286	2325	2325	Kg/m3
Asentamiento		3.75	3.75	3.75	3.50	pulg

3) Exudación y % de vacíos.

CUADRO B.3. Cálculos y resultados para hallar la exudación expresado en % de agua exudada/agua de mezcla, agua exudada / área superficial y el % de vacíos que se considera como porosidad inicial para A/C = 0.70.

MEZCLA		C070		
Temp		22.5 ° c		
Tipo	C070	A (cm2)=	498.8	cm2
Examen	08-abr	e(cm)=	26.50	cm
Asent.	3.75 pulg	agua tanda	221.0	gr
		W tanda	2338.3	gr
W cf+balde=		a	42150	gr
Wcf - 1"+balde=		b	38600	gr
W balde=		c	8400	gr
Concreto fresco		a-c = d	33750	gr
Concreto f -1"		b-c = f	30200	gr
Agua en muestra		f x Ag / W = Am	2854	gr
PUCF		(a-c)/ 14.15	2385	Kg/m3

Vacios

aire atrapado (peso%)	15/PUCF	0.629%
agua permeada	Aper / (d-Aper)	0.533%
% vacios total	suma	1.162%

Hora H:M	Vol exudado cm3	Tiempo min	T acum min	vol acum cm3
15:18				
15:28	6.0	10	10	0.0
15:38	11.0	10	20	11.0
15:48	16.0	10	30	27.0
15:58	51.0	10	40	78.0
16:15	41.0	17	57	119.0
17:03	50.0	48	105	169.0
17:19	10.0	16	121	179.0
Exudación	(%)	Aper / Am		6.271%
	(ml/cm2)	Aper / A geomt		0.359

CUADRO B.4. Cálculos y resultados para hallar la exudación expresado en % de agua exudada/agua de mezcla, agua exudada / área superficial y el % de vacíos que se considera como porosidad inicial para A/C = 0.60.

MEZCLA		C060		
Temp		28.0° c		
Tipo	C060	A (cm ²)=	498.8	cm ²
Examen	24-abr	e(cm)=	26.00	cm
Asent.	3.75 pulg	agua tanda	220.8	gr
		W tanda	2344.8	gr
W cf+balde=		a	44250	gr
Wcf - 1"+balde=		b	40400	gr
W balde=		c	11900	gr
Concreto fresco		a-c = d	32350	gr
Concreto f -1"		b-c = f	28500	gr
Agua en muestra		f x Ag / W = Am	2684	gr
PUCF		(a-c) / 14.15	2286	Kg/m ³

Vacios

aire atrapado (peso%)	15/PUCF	0.656%
agua permeada	Aper / (d-Aper)	0.519%
% vacios total	suma	1.175%

Hora H:M	Vol exudado cm ³	Tiempo min	T acum min	vol acum cm ³
13:02	0			
13:13	0	11	11	0.0
13:23	9	10	21	9.0
13:33	13.5	10	31	22.5
13:43	15.5	10	41	38.0
13:53	20	10	51	58.0
14:03	27	10	61	85.0
14:13	30	10	71	115.0
15:03	50	50	121	165.0
15:33	0	30	151	165.0
15:46	2	13	164	167.0
15:59	0	13	177	167.0

Exudación (%) (ml/cm ²)	Aper / Am	6.223%
	Aper / A geomt	0.335

CUADRO B.5. Cálculos y resultados para hallar la exudación expresado en % de agua exudada/agua de mezcla, agua exudada / área superficial y el % de vacíos que se considera como porosidad inicial para A/C = 0.50.

MEZCLA		C050		
Temp	26.0° c			
Tipo	C050	A (cm ²)=	498.8	cm ²
Examen	09-abr	e(cm)=	26.60	cm
asent.	3.75 pulg	agua tanda	235.2	gr
		W tanda	2334.2	gr
W cf+balde=		a	44250	gr
Wcf - 1"+balde=		b	40400	gr
W balde=		c	12000	gr
Concreto fresco		a-c = d	32250	gr
Concreto f -1"		b-c = f	28400	gr
Agua en muestra		f x Ag / W = Am	2862	gr
PUCF		(a-c) / 14.15	2279	Kg/m ³
Vacios				
aire atrapado (peso%)		15/PUCF	0.658%	
agua permeada		Aper / (d-Aper)	0.521%	
% vacios total		suma	1.179%	
Hora H:M	Vol exudado cm ³	Tiempo min	T acum min	vol acum cm ³
13:02	0			
13:13	0	11	11	0.0
13:23	9	10	21	9.0
13:33	13.5	10	31	22.5
13:43	15.5	10	41	38.0
13:53	20	10	51	58.0
14:03	27	10	61	85.0
14:13	30	10	71	115.0
15:03	50	50	121	165.0
15:33	0	30	151	165.0
15:46	2	13	164	167.0
15:59	0	13	177	167.0
Exudación (%) (ml/cm ²)		Aper / Am		5.836%
		Aper / A geomt		0.335

CUADRO B.6. Cálculos y resultados para hallar la exudación expresado en % de agua exudada/agua de mezcla, agua exudada / área superficial y el % de vacíos que se considera como porosidad inicial para A/C = 0.45.

MEZCLA		C045	
Temp	26.0° c		
Tipo	C050	A (cm ²)=	498.8 cm ²
Examen	30-jul	e(cm)=	26.00 cm
asent.	3.50 pulg	agua tanda	240.9 gr
		W tanda	2334.5 gr
Wcf+balde=	a		44900 gr
Wcf - 1"+balde=	b		41250 gr
W balde=	c		12000 gr
Concreto fresco	a-c = d		32900 gr
Concreto f -1"	b-c = f		29250 gr
Agua en muestra	f x Ag / W = Am		3018 gr
PUCF	(a-c) / 14.15		2325 Kg/m ³

Vacios

aire atrapado (peso%)	15/PUCF	0.645%
agua permeada	Aper / (d-Aper)	0.280%
% vacios total	suma	0.926%

Hora H:M	Vol exudado cm ³	Tiempo min	T acum min	vol acum cm ³
11:16	0			
11:26	2	10	10	2.0
11:36	4	10	20	6.0
11:46	6	10	30	12.0
11:56	4	10	40	16.0
12:06	19	10	50	35.0
12:36	36	30	80	71.0
13:06	17	30	110	88.0
13:36	4	30	140	92.0
14:06	0	30	170	92.0

Exudación (%)	Aper / Am	3.048%
(ml/cm ²)	Aper / A geomt	0.184

CUADRO B.7. Cuadro conclusión de Exudación y % de vacíos.

MEZCLA	Exudación (%)	Exudación (ml/cm ²)	Vacios (%)
D-070	6.27%	0.359	1.162%
D-060	6.22%	0.335	1.175%
D-050	5.84%	0.335	1.179%
D-045	3.05%	0.184	0.926%

Respecto al Agua de amasado

Respecto al Área superficial

Respecto al peso seco

4) Tiempo de fraguado.

CUADRO B.8. Cálculos y resultados para hallar el tiempo de fragua en C070-1.

Hora (h:m)	Tiempo (h:m)	Aguja (Pulg.)	Fuerza (Lb.)	Área (Pulg ²)	Presión (Lb/Pulg ²)
Lectura = a		equipo	Lectura= b	(c)	(b / c)
09:55					
13:55	4:00	1	150	1.000	150
15:00	5:05	9/16	182	0.250	728
15:02	5:07	5/16	90	0.100	900
16:02	6:07	3/16	157	0.025	6,280
16:11	6:16	3/16	190	0.025	7,600
Regresión de Potencia: $P = A * T^B$			A,B =ctes por P: presión ; T = tiempo		
Donde : $\ln P = \ln A + B \ln T$			$Y = c + B \cdot X$		
n=5	Ln (t)	metodo de minimos cuadrados			Ln (p)
c = 0.000475					
B = 8.96668					
r = 0.98856					
Fragua Inic	4:41				500
Fragua fin	5:55				4000

CUADRO B.9. Cálculos y resultados para hallar el tiempo de fragua en C070-2.

Hora (h:m)	Tiempo (h:m)	Aguja (Pulg.)	Fuerza (Lb.)	Área (Pulg ²)	Presión (Lb/Pulg ²)
Lectura = a		equipo	Lectura= b	(c)	(b / c)
09:55	0:00				
12:55	3:00	1	27	1.000	27
13:56	4:01	13/16	80	0.500	160
15:00	5:05	9/16	174	0.250	696
15:02	5:07	5/16	90	0.100	900
16:02	6:07	3/16	170	0.025	6,800
16:11	6:16	3/16	190	0.025	7,600
Regresión de Potencia: $P = A * T^B$			P: presión ; T = tiempo		
Donde : $\ln P = \ln A + B \ln T$			$Y = c + B \cdot X$		
n=5	Ln (t)	metodo de minimos cuadrados			Ln (p)
c = 0.00428					
B = 7.6861836					
r = 0.9859539					
Fragua Inic	4:33				500
Fragua fin	5:58				4000

Cuadro B.10. Cálculos y resultados para hallar el tiempo de fragua en C060-1.

Hora (h:m)	Tiempo (h:m)	Aguja (Pulg.)	Fuerza (Lb.)	Área (Pulg ²)	Presión (Lb/Pulg ²)
Lectura = a		equipo	Lectura= b	(c)	(b / c)
09:55					
12:55	3:00	1	27	1.000	27
13:55	4:00	0.8125	80	0.500	160
15:00	5:05	0.5625	174	0.250	696
15:02	5:07	0.3125	90	0.100	900
16:02	6:07	0.1875	170	0.025	6,800
16:11	6:16	0.1875	190	0.025	7,600
16:11	6:16	3/16	190	0.025	7,600
Regresión de Potencia: $P = A * T^B$			A,B =ctes por hallar P: presión ; T = tiempo		
Donde : $\ln P = \ln A + B \ln T$			$Y = c + B \cdot X$		
n=5	Ln (t)	metodo de minimos cuadrados			Ln (p)
c = 0.00428					
B = 7.686164					
r = 0.9859563					
Fragua Inic	4:33				500
Fragua fin	5:58				4000

CUADRO B.11. Cálculos y resultados para hallar el tiempo de fragua en C060-2.

Hora (h:m) Lectura = a	Tiempo (h:m)	Aguja (Pulg.) equipo	Fuerza (Lb.) Lectura= b	Área (Pulg ²) (c)	Presión (Lb/Pulg ²) (b/c)
09:55	0:00				
13:55	4:00	1	150	1.000	150
15:00	5:05	0.5625	182	0.250	728
15:02	5:07	0.3125	90	0.100	900
16:02	6:07	0.1875	157	0.025	6,280
16:11	6:16	0.1875	190	0.025	7,600
Regresión de Potencia: $P = A * T^B$		A,B =ctes por hallar		P: presión ; T = tiempo	
Donde : $\ln P = \ln A + B \ln T$				$Y = c + B. X$	
n=5	$\ln (t)$	metodo de minimos cuadrados			$\ln (p)$
		c = 0.000475			
		B = 8.96655			
		r = 0.98857			
C060-2					
Fragua Inic	4:41				500
Fragua fin	5:55				4000

CUADRO B.12. Cálculos y resultados para hallar el tiempo de fragua en C050-1.

Hora (h:m) Lectura = a	Tiempo (h:m)	Aguja (Pulg.) equipo	Fuerza (Lb.) Lectura= b	Área (Pulg ²) (c)	Presión (Lb/Pulg ²) (b/c)
08:39					
11:39	1:44	1	19.5	1.000	19.5
13:09	3:14	13/16	168	0.500	336.0
14:09	4:14	5/16	164	0.100	1,640.0
14:42	4:47	3/16	186	0.025	7,440.0
14:56	5:01	3/16	192	0.025	7,680.0
Regresión de Potencia: $P = A * T^B$		A,B =ctes por		P: presión ; T = tiempo	
Donde : $\ln P = \ln A + B \ln T$				$Y = c + B. X$	
n=5	$\ln (t)$	metodo de minimos cuadrados			$\ln (p)$
		c = 0.00201			
		B = 8.193233			
		r = 0.992051			
C050 - 1					
Fragua Inic	4:33				500
Fragua fin	5:52				4000

Cuadro B.13. Cálculos y resultados para hallar el tiempo de fraguado en C050-2.

Hora (h:m) Lectura = a	Tiempo (h:m)	Aguja (Pulg.) equipo	Fuerza (Lb.) Lectura= b	Área (Pulg ²) (c)	Presión (Lb/Pulg ²) (b/c)
08:39					
11:39	3:00	1	20	1.000	20.0
12:39	4:00	1	192	1.000	192.0
13:39	5:00	9/16	194	0.250	776.0
14:39	6:00	4/16	208	0.050	4,160.0
14:42	6:03	3/16	178	0.025	7,120.0
14:57	6:18	3/16	210	0.025	8,400.0
Regresión de Potencia: $P = A * T^B$		A,B =ctes por		P: presión ; T = tiempo	
Donde : $\ln P = \ln A + B \ln T$				$Y = c + B. X$	
n=5	$\ln (t)$	metodo de minimos cuadrados			$\ln (p)$
		c = 0.002511			
		B = 8.089941			
		r = 0.994913			
C050 - 2					
Fragua Inic	4:31				500
Fragua fin	5:50				4000

Cuadro B.14. Cálculos y resultados para hallar el tiempo de fraguado en C045-1.

Hora (h:m) Lectura = a	Tiempo (h:m)	Aguja (Pulg.) equipo	Fuerza (Lb.) Lectura= b	Área (Pulg ²) (c)	Presión (Lb/Pulg ²) (b / c)
10:05					
13:05	3:00	1	86	1.000	86
14:28	4:23	5/16	83	0.100	830
15:07	5:02	4/16	185	0.050	3,700
15:10	5:05	3/16	100	0.025	4,000
Regresión de Potencia: $P = A * T^B$			A,B =ctes por P: presión ; T = tiempo		
Donde : $\ln P = \ln A + B \ln T$			$Y = c + B. X$		
n=5	$\ln (t)$	metodo de minimos cuadrados		$\ln (p)$	
			c =	0.028134	
			B =	7.213077	
C045 - 1			r =	0.990632	
Fragua Inic	3:52				500
Fragua fin	5:10				4000

Cuadro B.15. Cálculos y resultados para hallar el tiempo de fraguado en C045-2.

Hora (h:m) Lectura = a	Tiempo (h:m)	Aguja (Pulg.) equipo	Fuerza (Lb.) Lectura= b	Área (Pulg ²) (c)	Presión (Lb/Pulg ²) (b / c)
10:05					
12:33	2:38	1	26	1.000	26
13:35	3:40	13/16	120	0.500	240
14:28	4:33	5/16	120	0.100	1,200
15:05	5:10	4/16	191	0.050	3,820
15:07	5:12	3/16	102	0.025	4,080
Regresión de Potencia: $P = A * T^B$			A,B =ctes por P: presión ; T = tiempo		
Donde : $\ln P = \ln A + B \ln T$			$Y = c + B. X$		
n=5	$\ln (t)$	metodo de minimos cuadrados		$\ln (p)$	
			c =	0.038868	
			B =	7.089792	
C045 - 2			r =	0.9980236	
Fragua Inic	3:47				500
Fragua fin	5:05				4000

Cuadro C.16. Conclusión de los resultados respecto al tiempo de fraguado.

MEZCLA	Tiempo de Fragua Inicial	Tiempo de Fragua Final
D-070	04:37:45	05:56:30
D-060	4:37:00	5:56:30
D-050	4:32:30	5:51:00
D-045	3:49:30	5:07:30

1) Resistencia a la Compresión:

Recogiendo los resultados experimentales se tienen los siguientes resultados para el diseño de mezcla C070

Cuadro B. 17. Datos y resultados en el ensayo de resistencia a la compresión – 7 días

Diseño de Mezcla C070		NTP 339.034			Rotura: 07 días		
Relación A/C = 0.70					Curado: 06 días bajo agua		
$C = F/A$ $A = \pi D^2/4$ Fecha	Peso de la Probeta (Kg.)	Dimensiones		Carga Máxima (Kg)	Área en Compresión (cm ²)	Resistencia en Compresión (Kg/cm ²)	
		Diámetro (cm)	Altura (cm)				
1	05-Dic	12.50	14.95	30.1	38,800	175.5	221
2	05-Dic	12.60	15.05	30.0	37,900	177.9	213
3	05-Dic	12.70	14.90	30.1	37,500	174.4	215
4	28-Abr	12.60	14.95	30.1	37,300	175.5	212
5	28-Abr	12.65	14.92	30.1	37,100	174.8	212
6	28-Abr	12.60	14.95	30.1	37,900	175.5	216
7	28-Abr	12.60	14.85	30.1	37,200	173.2	215
8	28-Abr	12.65	14.93	30.2	36,200	175.1	207
9	28-Abr	12.60	14.93	30.2	36,200	175.1	207
PROMEDIO							213.1
Desviación Estándar (Kg/cm ² , %)						4.40	2.06%

Cuadro B. 18. Datos y resultados en el ensayo de resistencia a la compresión -14 días

Diseño de Mezcla C070		NTP 339.034			Rotura: 14 días		
Relación A/C = 0.70					Curado: 13 días bajo agua		
$C = F/A$ $A = \pi D^2/4$ Fecha	Peso de la Probeta (Kg.)	Dimensiones		Carga Máxima (Kg)	Área en Compresión (cm ²)	Resistencia en Compresión (Kg/cm ²)	
		Diámetro (cm)	Altura (cm)				
1	07-Abr	12.60	14.93	30.2	42,600	175.1	243
2	07-Abr	12.50	14.95	30.1	39,600	175.5	226
3	07-Abr	12.60	15.05	30.2	41,280	177.9	232
4	07-Abr	12.70	14.90	30.1	41,400	174.4	237
5	07-Abr	12.70	14.90	30.1	41,160	174.4	236
6	07-Abr	12.70	14.90	30.1	42,120	174.4	242
7	07-Abr	12.70	14.90	30.1	43,080	174.4	247
8	07-Abr	12.70	14.90	30.1	37,300	174.4	214
9	07-Abr	12.70	14.90	30.1	39,490	174.4	226
10	28-Abr	12.65	15.10	30.1	42,200	179.1	236
11	28-Abr	12.65	15.15	30.1	42,400	180.3	235
12	28-Abr	12.70	15.15	30.1	42,700	180.3	237
13	28-Abr	12.70	15.00	30.1	43,000	176.7	243
14	28-Abr	12.70	15.10	30.2	41,200	179.1	230
PROMEDIO							234.6
Desviación Estándar (Kg/cm ² , %)						8.62	3.67%

Cuadro B.19. Datos y resultados en el ensayo de resistencia a la compresión -28 días

Diseño de Mezcla C070		NTP 339.034			Rotura: 28 días		
Relación A/C = 0.70					Curado: 27 días bajo agua		
$C = F/A$ $A = \pi D^2/4$ Fecha	Peso de la Probeta (Kg.)	Dimensiones		Carga Máxima (Kg)	Área en Compresión (cm ²)	Resistencia en Compresión (Kg/cm ²)	
		Diámetro (cm)	Altura (cm)				
1	14-Ene	12.60	15.00	30.1	44,300	176.7	251
2	14-Ene	12.60	14.96	30.1	44,700	175.8	254
3	14-Ene	12.60	14.95	30.1	44,200	175.5	252
4	14-Ene	12.65	14.96	30.1	44,600	175.8	254
5	14-Ene	12.60	14.96	30.1	44,400	175.8	253
6	06-Feb	12.50	14.93	30.2	42,300	175.1	242
7	06-Feb	12.65	14.90	30.1	43,600	174.4	250
8	06-Feb	12.65	14.85	30.2	44,600	173.2	258
9	06-Feb	12.80	15.00	30.1	43,300	176.8	245
10	06-Feb	12.50	15.20	30.1	42,500	181.5	234
11	07-Abr	12.65	14.94	30.1	42,350	175.3	242
12	07-Abr	12.60	14.93	30.1	44,550	175.1	254
13	07-Abr	12.65	14.95	30.2	43,010	175.5	245
13	28-Abr	12.60	15.00	30.1	48,300	176.7	273
14	28-Abr	12.55	15.20	30.1	48,400	181.5	267
PROMEDIO							251.6
Desviación Estándar (Kg/cm ² , %)						9.78	3.89%

Cuadro B. 20. Datos y resultados en el ensayo de resistencia a la compresión - 42 días

Diseño de Mezcla C070		NTP 339.034			Rotura: 42 días		
Relación A/C = 0.70					Curado: 41 días bajo agua		
$C = F/A$ $A = \pi D^2/4$ Fecha	Peso de la Probeta (Kg.)	Dimensiones		Carga Máxima (Kg)	Área en Compresión (cm ²)	Resistencia en Compresión (Kg/cm ²)	
		Diámetro (cm)	Altura (cm)				
1	08-Ene	12.60	15.06	30.2	43,200	178.1	243
2	08-Ene	12.70	15.06	30.0	47,800	178.1	268
3	08-Ene	12.55	15.10	30.2	40,800	179.1	228
4	08-Ene	12.70	15.02	30.2	43,500	177.2	246
5	08-Ene	12.70	15.10	30.1	43,100	179.1	241
6	08-Ene	12.70	14.96	30.2	40,000	175.8	228
7	14-Ene	12.65	14.95	30.1	44,500	175.5	254
8	14-Ene	12.60	14.95	30.0	46,100	175.5	263
9	14-Ene	12.75	14.90	30.1	45,700	174.4	262
10	14-Ene	12.80	14.97	30.1	45,100	176.0	256
11	14-Ene	12.80	15.06	30.2	45,300	178.1	254
PROMEDIO							249.4
Desviación Estándar (Kg/cm ² , %)						13.47	5.40%

Para el diseño de mezcla C060 se tiene los siguientes resultados

Cuadro B.21. Datos y resultados en el ensayo de resistencia a la compresión - 07 días

Diseño de Mezcla C060 NTP 339.034 Rotura: 07 días
Relación A/C = 0.60 Curado: 06 días bajo agua

C = F/A A = $\pi D^2/4$ Fecha	Peso de la Probeta (Kg.)	Dimensiones		Carga Máxima (Kg)	Área en Compresión (cm ²)	Resistencia en Compresión (Kg/cm ²)	
		Diámetro (cm)	Altura (cm)				
1	08-Abr	12.60	15.06	30.1	42,300	178.1	237
2	08-Abr	12.60	15.14	30.1	39,000	180.0	217
3	08-Abr	12.60	15.30	30.1	42,400	183.9	231
4	08-Abr	12.60	15.05	30.1	39,900	177.9	224
5	08-Abr	12.75	15.15	30.2	37,500	180.3	208
6	24-Jun	12.60	15.15	30.2	42,700	180.3	237
7	24-Jun	12.50	14.95	30.1	42,500	175.5	242
8	24-Jun	12.60	15.05	30.0	39,500	177.9	222
9	24-Jun	12.70	14.90	30.1	37,700	174.4	216
PROMEDIO							226.0
Desviación Estándar (Kg/cm ² , %)						11.45	5.06%

Cuadro B.22. Datos y resultados en el ensayo de resistencia a la compresión - 14 días

Diseño de Mezcla C060 NTP 339.034 Rotura: 14 días
Relación A/C = 0.60 Curado: 13 días bajo agua

C = F/A A = $\pi D^2/4$ Fecha	Peso de la Probeta (Kg.)	Dimensiones		Carga Máxima (Kg)	Área en Compresión (cm ²)	Resistencia en Compresión (Kg/cm ²)	
		Diámetro (cm)	Altura (cm)				
1	09-Abr	12.75	15.05	30.1	44,900	177.9	252
2	09-Abr	12.60	14.98	30.1	43,300	176.2	246
3	09-Abr	12.70	14.92	30.0	46,000	174.8	263
4	09-Abr	12.75	14.98	30.1	46,300	176.2	263
5	09-Abr	12.70	15.05	30.2	46,700	177.9	263
6	09-Abr	12.70	15.15	30.2	44,800	180.3	249
7	09-Abr	12.75	15.05	30.1	47,300	177.9	266
8	09-Abr	12.70	15.25	30.2	43,000	182.7	235
9	24-Jun	12.70	14.90	30.1	46,700	174.4	268
PROMEDIO							256.1
Desviación Estándar (Kg/cm ² , %)						11.16	4.36%

Cuadro B.23. Datos y resultados en el ensayo de resistencia a la compresión - 28 días

Diseño de Mezcla C060 NTP 339.034 Rotura: 28 días
Relación A/C = 0.60 Curado: 27 días bajo agua

C = F/A A = $\pi D^2/4$ Fecha	Peso de la Probeta (Kg.)	Dimensiones		Carga Máxima (Kg)	Área en Compresión (cm ²)	Resistencia en Compresión (Kg/cm ²)	
		Diámetro (cm)	Altura (cm)				
1	20-Ene	12.60	15.12	30.0	49,800	179.6	277
2	21-Ene	12.70	15.02	30.1	45,300	177.2	256
3	21-Ene	12.70	15.02	30.0	47,300	177.2	267
4	21-Ene	12.50	15.09	30.2	47,200	178.8	264
5	21-Ene	12.60	15.04	30.2	47,300	177.7	266
6	21-Ene	12.60	15.01	30.0	47,000	177.0	266
7	21-Ene	12.70	15.06	30.1	49,000	178.1	275
8	21-Ene	12.70	15.06	30.2	47,200	178.1	265
9	05-Feb	12.65	14.95	30.2	51,300	175.5	292
10	05-Feb	12.70	15.00	30.0	52,000	176.7	294
11	05-Feb	12.70	15.10	30.1	54,700	179.1	305
12	05-Feb	12.80	15.04	30.1	51,900	177.7	292
PROMEDIO							276.6
Desviación Estándar (Kg/cm ² , %)						15.44	5.58%

Cuadro B.24. Datos y resultados en el ensayo de resistencia a la compresión - 42 días

Diseño de Mezcla C060 NTP 339.034 Rotura: 42 días
Relación A/C = 0.60 Curado: 41 días bajo agua

C = F/A A = $\pi D^2/4$ Fecha	Peso de la Probeta (Kg.)	Dimensiones		Carga Máxima (Kg)	Área en Compresión (cm ²)	Resistencia en Compresión (Kg/cm ²)	
		Diámetro (cm)	Altura (cm)				
1	11-Dic	12.60	15.01	30.2	54,200	177.0	306
2	11-Dic	12.60	15.00	30.1	54,100	176.7	306
3	11-Dic	12.70	15.02	30.2	53,300	177.2	301
4	20-Ene	12.85	15.03	30.2	44,300	177.4	250
5	20-Ene	12.75	15.05	30.2	48,300	177.9	272
6	20-Ene	12.70	15.06	30.1	42,100	178.1	236
7	20-Ene	12.50	14.95	30.0	51,900	175.5	296
8	20-Ene	12.70	14.95	30.1	51,100	175.5	291
9	20-Ene	12.65	14.95	30.0	51,300	175.5	292
10	20-Ene	12.90	15.02	30.0	48,300	177.2	273
11	05-Feb	12.60	14.98	30.0	53,500	176.2	304
PROMEDIO							284.3
Desviación Estándar (Kg/cm ² , %)						23.74	8.35%

Para el diseño de mezcla C050 se tiene los siguientes resultados

Cuadro B.25. Datos y resultados en el ensayo de resistencia a la compresión - 07 días

Diseño de Mezcla C050		NTP 339.034			Rotura: 07 días		
Relación A/C = 0.50					Curado: 06 días bajo agua		
$C = F/A$	Peso de la Probeta (Kg.)	Dimensiones		Carga Máxima (Kg)	Área en Compresión (cm ²)	Resistencia en Compresión (Kg/cm ²)	
$A = \pi D^2/4$		Diámetro (cm)	Altura (cm)				
Fecha							
1	17-Jul	12.65	14.95	30.0	45,600	175.5	260
2	17-Jul	12.65	15.00	30.2	46,600	176.7	264
3	17-Jul	12.60	14.95	30.0	45,600	175.5	260
4	17-Jul	12.65	14.85	30.0	44,800	173.2	259
5	17-Jul	12.65	15.00	30.1	44,100	176.7	250
6	17-Jul	12.60	15.00	30.1	47,000	176.7	266
7	30-Jul	12.70	15.00	30.1	49,100	176.7	278
8	30-Jul	12.60	15.10	30.2	48,000	179.1	268
9	30-Jul	12.70	15.00	30.2	51,100	176.7	289
PROMEDIO						266.0	
Desviación Estándar (Kg/cm ² , %)						11.50	4.32%

Cuadro B 27. Datos y resultados en el ensayo de resistencia a la compresión - 14 días

Diseño de Mezcla C050		NTP 339.034			Rotura: 14 días		
Relación A/C = 0.50					Curado: 13 días bajo agua		
$C = F/A$	Peso de la Probeta (Kg.)	Dimensiones		Carga Máxima (Kg)	Área en Compresión (cm ²)	Resistencia en Compresión (Kg/cm ²)	
$A = \pi D^2/4$		Diámetro (cm)	Altura (cm)				
Fecha							
1	15-Abr	12.70	14.95	30.1	50,000	175.5	285
2	15-Abr	12.60	14.90	30.0	51,000	174.4	292
3	15-Abr	12.60	14.85	30.0	48,000	173.2	277
4	15-Abr	12.60	14.95	30.0	51,500	175.5	293
5	15-Abr	12.65	14.90	30.0	50,500	174.4	290
6	15-Abr	12.60	14.85	30.1	53,000	173.2	306
7	15-Abr	12.75	14.95	30.1	47,300	175.5	269
8	15-Abr	12.65	14.90	30.1	47,000	174.4	270
9	15-Abr	12.60	14.90	30.1	51,700	174.4	297
PROMEDIO						286.6	
Desviación Estándar (Kg/cm ² , %)						12.48	4.36%

Cuadro B.28. Datos y resultados en el ensayo de resistencia a la compresión – 28 días

$C = F/A$		Peso de la Probeta (Kg.)	Dimensiones		Carga Máxima (Kg)	Área en Compresión (cm ²)	Resistencia en Compresión (Kg/cm ²)
$A = \pi D^2/4$	Fecha		Diámetro (cm)	Altura (cm)			
1	29-Ene	12.80	14.95	30.2	58,000	175.5	330
2	29-Ene	12.70	15.00	30.0	59,800	176.7	338
3	29-Ene	12.70	15.05	30.1	56,400	177.9	317
4	29-Ene	12.70	14.95	30.1	56,800	175.5	324
5	14-Abr	12.60	15.05	30.0	56,300	177.9	316
6	14-Abr	12.70	15.05	30.1	56,700	177.9	319
7	14-Abr	12.70	15.00	30.2	55,500	176.7	314
8	14-Abr	12.65	15.00	30.2	59,000	176.7	334
9	14-Abr	12.70	15.05	30.1	57,500	177.9	323
10	14-Abr	12.65	15.00	30.1	55,100	176.7	312
11	14-Abr	12.70	15.05	30.2	56,700	177.9	319
12	14-Abr	12.70	15.12	30.0	56,000	179.6	312
13	14-Abr	12.70	14.95	30.1	60,000	175.5	342
14	14-Abr	12.75	14.98	30.1	57,300	176.2	325
PROMEDIO							323.2
Desviación Estándar (Kg/cm ² , %)						9.61	2.97%

Cuadro B.29. Datos y resultados en el ensayo de resistencia a la compresión – 42 días

$C = F/A$		Peso de la Probeta (Kg.)	Dimensiones		Carga Máxima (Kg)	Área en Compresión (cm ²)	Resistencia en Compresión (Kg/cm ²)
$A = \pi D^2/4$	Fecha		Diámetro (cm)	Altura (cm)			
1	29-Ene	12.75	15.05	30.1	55,700	177.9	313
2	29-Ene	12.80	15.03	30.0	55,300	177.4	312
3	29-Ene	12.80	14.92	30.0	55,700	174.8	319
4	29-Ene	12.80	14.96	30.1	58,200	175.8	331
5	29-Ene	12.70	15.02	30.0	57,500	177.2	325
6	29-Ene	12.70	14.94	30.2	56,400	175.3	322
7	29-Ene	12.85	14.84	30.1	55,500	173.0	321
8	29-Ene	12.80	15.00	30.1	56,000	176.7	317
9	29-Ene	12.80	15.08	30.1	56,100	178.6	314
PROMEDIO							319.3
Desviación Estándar (Kg/cm ² , %)						6.18	1.94%

Para el diseño de mezcla C045 se tiene los siguientes resultados

Cuadro B. 30. Datos y resultados en el ensayo de resistencia a la compresión - 07 días

Diseño de Mezcla C045		NTP 339.034			Rotura: 07 días		
Relación A/C = 0.45					Curado: 06 días bajo agua		
C = F/A A = $\pi D^2/4$ Fecha	Peso de la Probeta (Kg.)	Dimensiones		Carga Máxima (Kg)	Área en Compresión (cm ²)	Resistencia en Compresión (Kg/cm ²)	
		Diámetro (cm)	Altura (cm)				
1	30-Ene	12.65	15.10	30.0	54,300	179.1	303
2	17-Abr	12.70	14.90	30.1	50,300	174.4	288
3	17-Abr	12.65	14.87	30.0	49,900	173.7	287
4	17-Abr	21.65	15.00	30.1	49,300	176.7	279
5	17-Abr	12.70	14.98	30.1	48,800	176.2	277
6	17-Abr	12.70	14.87	30.2	51,200	173.7	295
7	31-Jul	12.70	14.95	30.1	54,400	175.5	310
8	31-Jul	12.75	15.15	30.1	50,800	180.3	282
9	31-Jul	12.80	15.05	30.1	50,000	177.9	281
PROMEDIO							289.1
Desviación Estándar (Kg/cm ² , %)						11.37	3.93%

Cuadro B. 31. Datos y resultados en el ensayo de resistencia a la compresión - 14 días

Diseño de Mezcla C045		NTP 339.034			Rotura: 14 días		
Relación A/C = 0.45					Curado: 13 días bajo agua		
C = F/A A = $\pi D^2/4$ Fecha	Peso de la Probeta (Kg.)	Dimensiones		Carga Máxima (Kg)	Área en Compresión (cm ²)	Resistencia en Compresión (Kg/cm ²)	
		Diámetro (cm)	Altura (cm)				
1	24-Abr	12.70	14.95	30.1	59,300	175.5	338
2	24-Abr	12.70	15.00	30.0	59,100	176.7	334
3	24-Abr	12.70	15.00	30.0	56,200	176.7	318
4	24-Abr	12.70	15.15	30.0	58,900	180.3	327
5	24-Abr	12.80	15.15	30.1	59,500	180.3	330
6	24-Abr	12.70	15.10	30.2	56,500	179.1	316
7	24-Abr	12.70	15.00	30.2	59,500	176.7	337
8	24-Abr	12.65	15.00	30.2	57,300	176.7	324
9	24-Abr	12.70	14.95	30.1	57,600	175.5	328
PROMEDIO							328.0
Desviación Estándar (Kg/cm ² , %)						7.76	2.37%

Cuadro B. 32. Datos y resultados en el ensayo de resistencia a la compresión - 28 días

Diseño de Mezcla C045		NTP 339.034			Rotura: 28 días		
Relación A/C = 0.45					Curado: 27 días bajo agua		
C = F/A A = $\pi D^2/4$ Fecha	Peso de la Probeta (Kg.)	Dimensiones		Carga Máxima (Kg)	Área en Compresión (cm ²)	Resistencia en Compresión (Kg/cm ²)	
		Diámetro (cm)	Altura (cm)				
1	30-Ene	12.65	15.06	30.1	61,800	178.1	347
2	30-Ene	12.75	14.96	30.0	61,900	175.8	352
3	30-Ene	12.75	15.06	30.1	62,400	178.1	350
4	22-Abr	12.75	15.00	30.1	69,300	176.7	392
5	22-Abr	12.60	15.00	30.0	71,400	176.7	404
6	22-Abr	12.66	15.10	30.0	69,000	179.1	385
7	22-Abr	12.60	15.00	30.0	71,200	176.7	403
8	22-Abr	12.70	15.10	30.1	69,500	179.1	388
9	22-Abr	12.70	15.10	30.1	66,300	179.1	370
10	22-Abr	12.70	15.00	30.1	72,800	176.7	412
11	22-Abr	12.70	15.00	30.1	70,200	176.7	397
12	22-Abr	12.80	15.10	30.1	71,500	179.1	399
PROMEDIO							383.3
Desviación Estándar (Kg/cm ² , %)						22.88	5.97%

Cuadro B. 33. Datos y resultados en el ensayo de resistencia a la compresión - 42 días

Diseño de Mezcla C045		NTP 339.034			Rotura: 42 días		
Relación A/C = 0.45					Curado: 41 días bajo agua		
C = F/A A = $\pi D^2/4$ Fecha	Peso de la Probeta (Kg.)	Dimensiones		Carga Máxima (Kg)	Área en Compresión (cm ²)	Resistencia en Compresión (Kg/cm ²)	
		Diámetro (cm)	Altura (cm)				
1	30-Ene	12.70	15.16	30.2	67,100	180.5	372
2	30-Ene	12.80	15.09	30.1	71,300	178.8	399
3	30-Ene	12.60	15.04	30.1	71,500	177.7	402
4	30-Ene	12.70	15.10	30.0	68,900	179.1	385
5	30-Ene	12.60	15.11	30.1	68,100	179.3	380
6	30-Ene	12.60	15.00	30.0	64,900	176.7	367
7	30-Ene	12.70	15.00	30.0	68,500	176.7	388
8	30-Ene	12.70	15.12	30.1	68,800	179.6	383
9	23-Jul	12.70	15.11	30.2	68,500	179.3	382
PROMEDIO							384.2
Desviación Estándar (Kg/cm ² , %)						11.29	2.94%

2) Resistencia a la Tracción por compresión diametral:

Cuadro B.34. Ensayo de tracción por compresión diametral - 28 días, A/C =0.70

Diseño de Mezcla C070		Compresión Diametral			Rotura: 28días		
Relación A/C = 0.70		NTP 339.084			Curado: 27 días bajo agua		
$T = 2 * F / \pi A$	Peso de la	Dimensiones		Carga Máxima (Kg)	Área en Compresión (cm ²)	Resistencia en Compresión (Kg/cm ²)	
A = LxD Fecha	Probeta (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)				
1	06-Feb	12.50	14.93	29.95	22,500	447.2	32.03
2	06-Feb	12.65	14.90	29.95	20,850	446.3	29.74
3	06-Feb	12.65	14.85	29.97	23,300	445.1	33.33
4	06-Feb	12.80	15.03	29.93	19,600	449.8	27.74
5	06-Feb	12.50	15.20	30.00	22,200	456.0	30.99
6	08-Abr	12.70	14.95	30.10	23,400	450.0	33.10
7	08-Abr	12.70	14.92	29.90	22,000	446.1	31.40
8	08-Abr	12.60	14.95	29.25	24,350	437.3	35.45
9	08-Abr	12.60	14.90	30.00	25,250	447.0	35.96
10	08-Abr	12.70	14.90	30.20	22,500	450.0	31.83
11	08-Abr	12.70	14.80	30.20	23,400	447.0	33.33
PROMEDIO							32.26
Desviación Estándar (Kg/cm ² , %)						2.37	7.35%

Cuadro B.35. Ensayo de tracción por compresión diametral - 28 días, A/C =0.60

Diseño de Mezcla C060		Compresión Diametral			Rotura: 28días		
Relación A/C = 0.60		NTP 339.084			Curado: 27 días bajo agua		
$T = 2 * F / \pi A$	Peso de la	Dimensiones		Carga Máxima (Kg)	Área en Compresión (cm ²)	Resistencia en Compresión (Kg/cm ²)	
A = LxD Fecha	Probeta (Kg.)	Diámetro (cm)	Altura (cm)				
1	05-Feb	12.65	14.98	30.02	24,900	449.7	35.25
2	05-Feb	12.65	15.00	30.12	25,500	451.8	35.93
3	05-Feb	12.60	14.93	30.02	23,500	448.2	33.38
4	05-Feb	12.50	14.94	29.98	26,000	447.9	36.95
5	05-Feb	12.65	15.05	30.05	23,400	452.3	32.94
6	09-Abr	12.75	14.95	30.00	24,750	448.5	35.13
7	09-Abr	12.75	15.00	30.15	24,600	452.3	34.63
8	09-Abr	12.75	14.95	30.05	24,250	449.2	34.36
9	09-Abr	12.75	14.95	30.25	24,150	452.2	34.00
10	09-Abr	12.75	15.00	30.28	23,650	454.2	33.15
PROMEDIO							34.50
Desviación Estándar (Kg/cm ² , %)						1.28	3.71%

Cuadro B. 36. Ensayo de tracción por compresión diametral - 28 días, A/C = 0.50

Diseño de Mezcla C050 Relación A/C = 0.50		Compresión Diametral NTP 339.084			Rotura: 28 días Curado: 27 días bajo agua		
$T = 2 * F / \pi A$ $A = L * D$ Fecha	Peso de la Probeta (Kg.)	Dimensiones		Carga Máxima (Kg)	Área en Compresión (cm ²)	Resistencia en Compresión (Kg/cm ²)	
		Diámetro (cm)	Altura (cm)				
1	14-Abr	12.75	15.10	30.10	28,800	454.5	40.34
2	14-Abr	12.70	15.05	30.17	26,300	454.1	36.87
3	14-Abr	12.80	14.95	30.20	28,000	451.5	39.48
4	14-Abr	12.75	14.98	30.15	26,700	451.6	37.64
5	15-Abr	12.90	14.90	30.20	22,100	450.0	31.27
6	15-Abr	12.70	14.90	30.10	22,500	448.5	31.94
7	15-Abr	12.85	14.84	30.00	25,300	445.2	36.18
8	15-Abr	12.80	15.00	30.20	26,000	453.0	36.54
9	15-Abr	12.80	15.08	30.20	26,700	455.4	37.32
PROMEDIO							36.40
Desviación Estándar (Kg/cm ² , %)						3.04	8.35%

Cuadro B. 37. Datos y resultados en el ensayo de tracción por compresión diametral - 28 días, A/C = 0.45

Diseño de Mezcla C045 Relación A/C = 0.45		Compresión Diametral NTP 339.084			Rotura: 28 días Curado: 27 días bajo agua		
$T = 2 * F / \pi A$ $A = L * D$ Fecha	Peso de la Probeta (Kg.)	Dimensiones		Carga Máxima (Kg)	Área en Compresión (cm ²)	Resistencia en Compresión (Kg/cm ²)	
		Diámetro (cm)	Altura (cm)				
1	22-Abr	12.70	15.10	30.20	23,300	456.0	32.53
2	22-Abr	12.70	15.10	30.10	23,000	454.5	32.22
3	22-Abr	12.80	15.00	30.10	17,700	451.5	24.96
4	24-Abr	12.70	15.10	30.10	32,000	454.5	44.82
5	24-Abr	12.60	15.00	30.10	28,100	451.5	39.62
6	24-Abr	12.60	15.00	30.10	29,000	451.5	40.89
7	17-Jul	12.65	14.92	30.10	25,200	449.1	35.72
8	17-Jul	12.70	14.90	30.00	27,400	447.0	39.02
9	17-Jul	12.70	14.80	30.10	23,800	445.5	34.01
PROMEDIO							35.98
Desviación Estándar (Kg/cm ² , %)						12.09	33.60%

3) Módulo de Elasticidad Unitaria.-

Cuadro B. 38. Datos y resultados en el ensayo de Modulo Elástico Estático del C070

Material	C060	Norma ASTM C 469	Muestra	24-jul
Especimen	Cilindro 15 x 30		Operarios	MCB, CRD, JSD
Diámetro	14.90 cm		Área (cm ²)	174.4
Método	Espejos Martens		Curado	27 Días en agua

Carga Kg	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Lectura Derecha	Lectura Izquierda	Promedio Corregido	Deformacion Unitaria x 10 ⁻⁴
200	1.1	0.1	0.0	0.05	0.05
2,000	11.5	0.1	0.1	0.10	0.10
4,000	22.9	0.2	0.2	0.20	0.20
6,000	34.4	0.3	0.2	0.25	0.25
8,000	45.9	0.3	0.3	0.30	0.30
10,000	57.3	0.4	0.3	0.35	0.35
12,000	68.8	0.7	0.7	0.70	0.70
14,000	80.3	1.2	1.2	1.20	1.20
16,000	91.7	1.6	1.7	1.65	1.65
18,000	103.2	2.1	2.2	2.15	2.15
20,000	114.7	2.6	2.7	2.65	2.65
22,000	126.1	3.1	3.2	3.15	3.15
24,000	137.6	3.6	3.8	3.70	3.70
26,000	149.1	4.1	4.3	4.20	4.20
28,000	160.6	4.7	4.9	4.80	4.80
30,000	172.0	5.3	5.6	5.45	5.45
32,000	183.5	5.8	6.2	6.00	6.00
34,000	195.0	6.5	7.0	6.75	6.75
36,000	206.4	7.1	7.8	7.45	7.45
38,000	217.9	7.9	8.6	8.25	8.25
40,000	229.4	8.6	9.5	9.05	9.05
42,000	240.8	8.6	10.6	9.60	9.60
44,000	252.3	10.4	11.8	11.10	11.10
46,000	263.8	11.5	13.3	12.40	12.40
48,000	275.2	12.8	16.3	14.55	14.55
50,000	286.7	14.0	18.6	16.30	16.30
50,400	289.0	Rotura (Kg/cm ²)			

$\sigma_2 = 0.4 f'_c$	115.60	Kg/cm ²
ϵ_1	5.00E-05	
CALCULAMOS		
ϵ_2	2.69E-04	
σ_1	62.22	Kg/cm ²

$E = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\epsilon_2 - \epsilon_1)$
E = 243,728. kg/cm²

Cuadro B. 39. Datos y resultados en el ensayo de Modulo Elástico Estático del C060

Material	C060	Norma ASTM C 469	Muestra	24-jul
Especimen	Cilindro 15 x 30		Operarios	MCB, CRD, JSD
Diámetro	14.90 cm		Área (cm ²)	174.4
Método	Espejos Martens		Curado	27 Días en agua

Carga Kg	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Lectura Derecha	Lectura Izquierda	Promedio Corregido	Deformación Unitaria x 10 ⁻⁴
200	1.1	0.2	0.2	0.20	0.20
2,000	11.5	0.3	0.3	0.30	0.30
4,000	22.9	0.3	0.4	0.35	0.35
6,000	34.4	0.4	0.4	0.40	0.40
8,000	45.9	0.4	0.5	0.45	0.45
10,000	57.3	0.5	0.6	0.55	0.55
12,000	68.8	1.0	1.1	1.05	1.05
14,000	80.3	1.4	1.7	1.55	1.55
16,000	91.7	1.9	2.2	2.05	2.05
18,000	103.2	2.3	2.7	2.50	2.50
20,000	114.7	2.8	3.3	3.05	3.05
22,000	126.1	3.3	3.4	3.35	3.35
24,000	137.6	3.8	3.9	3.85	3.85
26,000	149.1	4.3	5.1	4.70	4.70
28,000	160.6	4.8	5.6	5.20	5.20
30,000	172.0	5.4	6.4	5.90	5.90
32,000	183.5	6.0	7.1	6.55	6.55
34,000	195.0	6.6	7.8	7.20	7.20
36,000	206.4	7.3	8.7	8.00	8.00
38,000	217.9	8.1	9.6	8.85	8.85
40,000	229.4	8.8	10.7	9.75	9.75
42,000	240.8	8.7	11.8	10.25	10.25
44,000	252.3	10.7	13.2	11.95	11.95
46,000	263.8	11.8	14.8	13.30	13.30
48,000	275.2	13.1	16.9	15.00	15.00
50,000	286.7	14.9	20.2	17.55	17.55
50,500	289.6	Rotura (Kg/cm ²)			

$\sigma_2 = 0.4 f'_c$	115.83	Kg/cm ²
ϵ_1	5.00E-05	

CALCULAMOS

ϵ_2	3.09E-04	
σ_1	51.60	Kg/cm ²

$$E = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\epsilon_2 - \epsilon_1)$$

$E = 247,976. \text{ kg/cm}^2$

Cuadro B. 40. Ensayo de Modulo Elástico Estático del C050.

Material	C050		Muestra	31-jul	
Especimen	Cilindro 15 x 30		Operarios	MCB , CRD, JSD	
Diámetro	14.90 cm		Área (cm ²)	174.4	
Método	Espejos Martens		Curado	27 Días en agua	
Carga Kg	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Lectura Derecha	Lectura Izquierda	Promedio Corregido	Deformacion Unitaria x 10 ⁻⁴
200	1.1	0.1	0.1	0.10	0.10
2,000	11.5	0.5	0.4	0.45	0.45
4,000	22.9	1.0	0.7	0.85	0.85
6,000	34.4	1.5	1.0	1.25	1.25
8,000	45.9	2.0	1.4	1.70	1.70
10,000	57.3	2.6	1.8	2.20	2.20
12,000	68.8	3.2	2.3	2.75	2.75
14,000	80.3	3.5	2.6	3.05	3.05
16,000	91.7	4.1	3.0	3.55	3.55
18,000	103.2	4.5	3.5	4.00	4.00
20,000	114.7	5.1	3.9	4.50	4.50
22,000	126.1	5.6	4.4	5.00	5.00
24,000	137.6	6.1	4.8	5.45	5.45
26,000	149.1	6.6	5.3	5.95	5.95
28,000	160.6	7.2	5.8	6.50	6.50
30,000	172.0	7.7	6.3	7.00	7.00
32,000	183.5	8.3	5.8	7.05	7.05
34,000	195.0	9.0	7.4	8.20	8.20
36,000	206.4	9.7	7.9	8.80	8.80
38,000	217.9	10.4	8.6	9.50	9.50
40,000	229.4	11.1	9.2	10.15	10.15
42,000	240.8	12.0	9.9	10.95	10.95
44,000	252.3	12.8	10.6	11.70	11.70
46,000	263.8	13.7	11.3	12.50	12.50
48,000	275.2	14.9	12.1	13.50	13.50
50,000	286.7	16.1	13.0	14.55	14.55
52,000	298.2	17.6	14.0	15.80	15.80
54,000	309.6	20.0	15.4	17.70	17.70
55,000	315.4	Rotura (Kg/cm ²)			

$\sigma_2 = 0.4 f'_c$	126.15	Kg/cm ²
ϵ_1	5.00E-05	

CALCULAMOS

ϵ_2	5.00E-04	
σ_1	12.93	Kg/cm ²

$$E = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\epsilon_2 - \epsilon_1)$$

E =	251,593. kg/cm²
-----	-----------------------------------

Cuadro B. 41. Ensayo de Modulo Elástico Estático del C045.

Material	C045	Norma ASTM C 469	Muestra	Ju 23-07-07
Especimen	Cilindro 15 x 30		Operarios	MCB, CRD, JSD
Diámetro	14.85 cm		Área (cm ²)	173.2
Método	Espejos Martens		Curado	27 Días en agua

Carga Kg	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Lectura Derecha	Lectura Izquierda	Promedio Corregido	Deformacion Unitaria x 10 ⁻⁴
200	1.2	0.1	0.0	0.05	0.05
2,000	11.5	0.1	0.1	0.10	0.10
4,000	23.1	0.2	0.1	0.15	0.15
6,000	34.6	0.2	0.2	0.20	0.20
8,000	46.2	0.4	0.4	0.40	0.40
10,000	57.7	0.8	0.8	0.80	0.80
12,000	69.3	1.2	1.2	1.20	1.20
14,000	80.8	1.6	1.7	1.65	1.65
16,000	92.4	2.2	2.2	2.20	2.20
18,000	103.9	2.4	2.6	2.50	2.50
20,000	115.5	2.9	3.1	3.00	3.00
22,000	127.0	3.4	3.6	3.50	3.50
24,000	138.6	3.8	4.1	3.95	3.95
26,000	150.1	4.3	4.6	4.45	4.45
28,000	161.7	4.8	5.2	5.00	5.00
30,000	173.2	5.3	5.8	5.55	5.55
32,000	184.8	5.8	6.4	6.10	6.10
34,000	196.3	6.3	7.0	6.65	6.65
36,000	207.9	6.8	7.7	7.25	7.25
38,000	219.4	7.4	8.4	7.90	7.90
40,000	230.9	8.0	9.2	8.60	8.60
42,000	242.5	8.6	10.0	9.30	9.30
44,000	254.0	9.2	10.9	10.05	10.05
46,000	265.6	10.0	12.0	11.00	11.00
48,000	277.1	10.7	13.0	11.85	11.85
50,000	288.7	11.5	14.2	12.85	12.85
52,000	300.2	12.4	15.7	14.05	14.05
54,000	311.8	13.3	17.4	15.35	15.35
56,000	323.3	14.5	19.9	17.20	17.20
57,500	332.0	Rotura (Kg/cm ²)			

$\sigma_2 = 0.4 f'_c$	132.79	Kg/cm ²
ϵ_1	0.5	10 ⁻⁴

CALCULAMOS

ϵ_2	3.70	
σ_1	58.70	Kg/cm ²

$$E = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\epsilon_2 - \epsilon_1)$$

E = 231,545. kg/cm ²

ANEXO C:

ARCHIVO FOTOGRAFICO

Foto No 1. Sistema de medición de la permeabilidad propuesto, anotando las capsulas de presión manómetro y conjunto de llaves de manipulación hidráulica.



Foto No 2. Equipo de medición de la permeabilidad con muestras de concreto



Foto No 3. Diseño de mezclas, dosificación rutinaria de agregados.



Foto No 4. Toma de muestras para el concreto fresco: Exudación



Foto No 5. Toma de muestras para el concreto fresco: Asentamiento y Peso unitario del concreto fresco.



Foto No 6. Toma de muestras para el concreto fresco: Tiempo de Fraguado.



Foto No 7. Toma de muestras para el concreto endurecido: Resistencia y Permeabilidad.



Foto No 8. Cuidado de muestras para el concreto endurecido



Agua utilizada para el curado: red pública sedapal.

Foto No 9. Ensayo de rotura del concreto para resistencia y módulo de elasticidad estática.



Foto No 10. Ensayo de rotura del concreto para tracción por compresión diametral.



Foto No 11. Proceso de fabricación de la capsula de presión.



Foto No 12. Puesta a prueba hidráulica en el laboratorio No 1 de la facultad de mecánica.



Foto No 13. Ejecución de la prueba de permeabilidad.



Foto No 14. Muestra de capa mojada en prueba del concreto, 3 días de ensayo.



Foto No 15. Pesado de las muestras de permeabilidad, antes y después



Foto No 16. Corte diamantino de la muestra de concreto endurecido destinada a la permeabilidad.

