

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO DE $f'c=300\text{Kg/cm}^2$ EMPLEANDO CEMENTO PORTLAND TIPO I Y EL ADITIVO SIKA CEM IMPERMEABLE, EN LA PROVINCIA DE CAJAMARCA”

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

AUTOR

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

TERÁN TEJADA, Wilder

ASESOR:

M. en I. PÉREZ LOAYZA, Héctor Albarino.

CAJAMARCA – PERÚ

2018

AGRADECIMIENTO

Agradecer a mi familia y en especial a mis padres por ayudarme a afrontar los retos del día a día, y así llegar a cumplir uno de mis grandes sueños, ser Ingeniero Civil, por lo que de aquí en adelante me incorporaré dentro de la sociedad para salvaguardar la seguridad de ésta en lo que respecta a obras de construcción civil.

A mi asesor M. en I. Héctor Pérez Loayza por la continua orientación y supervisión, que hizo posible el desarrollo de esta investigación.

A todos los ingenieros que compartieron sus valiosos conocimientos durante mi formación profesional para tener una base sólida y bien fundada en el campo de la Ingeniería Civil, gracias al aporte de sus conocimientos hoy estoy más cerca de considerarme parte del equipo de Ingenieros Civiles del Perú, y por ello he elaborado la presente tesis para cumplir esta gran meta.

Finalmente, a todos los amigos que se involucraron de alguna manera en el desarrollo de esta investigación.

DEDICATORIA

A mi Universidad Nacional de Cajamarca, por haber permitido formarme en sus aulas Magistrales y brindarme una fuente de conocimientos sólida.

A mis padres, quienes después de Dios son los más grandes maestros de la vida, que además con su amor, comprensión y apoyo incondicional pude superar las dificultades con gran facilidad.

A mis hermanos y amigos, por acompañarme siempre en los buenos y malos momentos de mi vida, y brindarme siempre su apoyo y confianza sincera.

RESUMEN

Esta tesis tiene como objetivo analizar la influencia del aditivo Sika Cem Impermeable en las propiedades físico-mecánicas del concreto de $f_c=300\text{Kg/cm}^2$, adicionándole aditivo en porcentajes de 0.96%, 1.92% y 2.88% del peso del cemento Portland tipo I. El desarrollo de esta investigación se centró en el estudio de especímenes de concreto normal y con aditivo en los porcentajes ya indicados para edades de curado de 7, 14 y 28 días, con los que se ensayaron 120 especímenes para la determinación de las propiedades mecánicas como resistencia a la compresión y flexión, y 96 para las propiedades físicas como porosidad, absorción y permeabilidad. Para los ensayos mencionados se siguieron procedimientos descritos en las normas técnicas peruanas (NTP) y las American Society for Testing and Materials (ASTM); la normativa ASTM D2434 se tomó como base para el cálculo de la permeabilidad el cual se determinó utilizando la ley de Darcy mediante un permeámetro de carga variable. Los resultados promedio de las propiedades físicas, obtenidos para el concreto patrón, tienen como porosidad 14.14% y absorción 6.09%, siendo mayores estos valores casi en un 50% respecto al de un concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88%, de forma similar, la permeabilidad del concreto patrón igual a $2.46 \cdot 10^{-9}$ m/s es disminuida por los tres porcentajes del aditivo a $1.85 \cdot 10^{-10}$, $1.79 \cdot 10^{-10}$ y $1.80 \cdot 10^{-10}$ m/s. Los resultados promedio de las propiedades mecánicas, obtenidos para el concreto patrón, tienen como resistencia a la compresión 365.45Kg/cm^2 y es mejorada por el aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88% dando como resultados 428Kg/cm^2 , 433Kg/cm^2 y 454Kg/cm^2 respectivamente, mientras que la resistencia a la flexión se mantiene en el orden del 15% y 16 % de la resistencia a la compresión. Los resultados obtenidos indican que el aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96% y 1.92% tienen valores similares en las propiedades físico-mecánicas del concreto, mientras que al 2.88% esta similitud se mantiene excepto para la resistencia a la compresión la cual fue 5% mayor a las muestras anteriores.

PALABRAS CLAVE: Cemento Portland Tipo I, aditivo Sika Cem Impermeable, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, porosidad, absorción, permeabilidad.

ABSTRACT

The aim of this thesis is to analyze the influence of the Sika Cem Impermeable additive on the physico-mechanical properties of the concrete of $f'c = 300\text{Kg} / \text{cm}^2$, adding additive in percentages of 0.96%, 1.92% and 2.88% of the weight of Portland cement type I. The development of this research focused on the study of specimens of normal concrete and with additive in the percentages already indicated for ages of curing of 7, 14 and 28 days, with which 120 specimens were tested for the determination of mechanical properties as resistance to compression and bending, and 96 for physical properties such as porosity, absorption and permeability. For the mentioned trials, procedures described in the Peruvian technical standards (NTP) and the American Society for Testing and Materials (ASTM) were followed; The ASTM D2434 standard was taken as the basis for the calculation of permeability which was determined using Darcy's law by means of a variable load permeameter. The average results of the physical properties, obtained for the concrete pattern, have as porosity 14.14% and absorption 6.09%, being these values greater by 50% than that of a concrete with Sika Cem additive Impermeable to 0.96%, 1.92% and 2.88%, similarly, the permeability of the concrete pattern equal to $2.46 * 10^{-9}$ m / s is decreased by the three percentages of the additive at $1.85 * 10^{-10}$, $1.79 * 10^{-10}$ and $1.80 * 10^{-10}$ m / s . The average results of the mechanical properties, obtained for the concrete pattern, have as resistance to compression $365.45\text{Kg} / \text{cm}^2$ and is improved by the additive Sika Cem Waterproof to 0.96%, 1.92% and 2.88% giving as a result $428\text{Kg} / \text{cm}^2$, $433\text{Kg} / \text{cm}^2$ and $454\text{Kg} / \text{cm}^2$ respectively, while the resistance to bending remains in the order of 15% and 16% of the compressive strength. The results obtained indicate that the Sika Cem Waterproofing additive at 0.96% and 1.92% have similar values in the physico-mechanical properties of the concrete, while at 2.88% this similarity is maintained except for the compressive strength which was 5% higher to the previous samples

KEY WORDS:

Portland Cement Type I, Sika Cem additive Waterproof, compression resistance, flexural strength, porosity, absorption, permeability.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE CUADROS	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xiv
ÍNDICE DE IMÁGENES	xv

CAPÍTULO I : INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.3.1. Hipótesis General	2
1.3.2. Hipótesis Específicas	2
1.3.3. Definición de variables	3
1.4. OBJETIVOS	3
1.4.1. Objetivo General.....	3
1.4.2. Objetivos Específicos.....	3
1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.6. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.7. DESCRIPCIÓN DE LOS CONTENIDOS DE LOS CAPÍTULOS	5

CAPÍTULO II : MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	6
2.1.1. Antecedentes Internacionales	6
2.1.2. Antecedentes Nacionales	7
2.1.3. Antecedentes Locales.....	7

2.2.	BASES TEÓRICAS	8
2.2.1.	CONCRETO NORMAL.....	8
2.2.1.1.	Componentes del concreto.....	8
2.2.1.1.1.	Cemento	8
2.2.1.1.2.	Agregados para el concreto	8
2.2.1.1.3.	El agua en el concreto	9
2.2.2.	CONCRETO IMPERMEABLE	9
2.2.2.1.	Aditivo impermeabilizante Sika Cem Impermeable	9
2.2.3.	PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO	10
2.2.3.1.	Porosidad del concreto	10
2.2.3.2.	Absorción del concreto.....	11
2.2.3.3.	Permeabilidad del concreto	11
2.2.3.3.1.	Ensayo de Permeabilidad del concreto	11
2.2.3.4.	Resistencia a la compresión.....	13
2.2.3.5.	Resistencia a la flexión.....	13
2.2.3.6.	Módulo de elasticidad	13
2.3.	DEFINICIÓN DE TERMINOS BÁSICOS	14

CAPÍTULO III : MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
3.2.	MÉTODOS Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
3.3.	POBLACIÓN, MUESTRA Y UNIDAD DE ANÁLISIS	16
3.3.1.	Población.....	16
3.3.2.	Muestra.....	16
3.3.3.	Unidad de análisis.....	16
3.4.	CANTERA PROVEEDORA DE MATERIALES.....	17
3.4.1.	Ubicación de la cantera	17
3.4.2.	Extracción de agregados de la cantera	18
3.5.	PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL AGREGADO	18
3.5.1.	Extracción y preparación de muestras para ensayos.....	18
3.5.2.	Reducción de muestras de agregados a tamaño de ensayo	19
3.5.3.	Análisis Granulométrico	19

3.5.4.	Tamaño máximo y tamaño máximo nominal del agregado grueso.....	20
3.5.5.	Módulo de fineza para el agregado fino (m.f).....	20
3.5.6.	Módulo de fineza para el agregado grueso (m.g)	20
3.5.7.	Material más fino que el tamiz N°200	20
3.5.8.	Peso Específico y Absorción.....	21
3.5.9.	Contenido de Humedad.....	23
3.5.10.	Peso Unitario	24
3.5.10.1.	Peso unitario suelto	24
3.5.10.2.	Peso unitario compactado.....	24
3.5.11.	Resistencia al desgaste o abrasión del agregado:	26
3.6.	COMPONENTES DE LA PASTA	27
3.6.1.	Cemento	27
3.6.2.	Agua	27
3.7.	DISEÑO DE MEZCLA PARA EL CONCRETO DE $f'c=300\text{Kg/cm}^2$	27
3.7.1.	Procedimiento para el diseño de mezclas	27
3.8.	AJUSTE DE MEZCLAS DEL CONCRETO PATRÓN DE $f'c=300\text{Kg/cm}^2$	29
3.8.1.	AJUSTE POR LAS CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA.....	29
3.8.1.1.	Procedimiento del ajuste por las características de la mezcla	29
3.9.	ADICIÓN DEL ADITIVO SIKA CEM IMPERMEABLE AL AJUSTE DEL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO.....	31
3.9.1.	Procedimiento del diseño de mezcla con aditivo Sika Cem Impermeable	31
3.10.	PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO CON ADITIVO SIKA CEM IMPERMEABLE	32
3.10.1.	Permeabilidad.....	32
3.10.2.	Porosidad.....	36
3.10.3.	Absorción	37
3.10.4.	Resistencia mecánica a la compresión y flexión	38
3.10.5.	Módulo de elasticidad	39

CAPÍTULO IV : ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1.	RESULTADOS GENERALES DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS Y DE LOS ESPECÍMENES DE CONCRETO.....	41
------	---	----

4.2.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL CONCRETO	43
4.2.1.	Análisis de los resultados de la permeabilidad del concreto	43
4.2.2.	Análisis de la relación entre los resultados de la permeabilidad, porosidad y absorción del concreto	50
4.3.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO	52
4.3.1.	Análisis de los resultados de las resistencias a compresión del concreto .	52
4.3.2.	Análisis de la relación entre los resultados de la resistencia a la compresión, flexión y el módulo de elasticidad del concreto.	53
4.4.	ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO	54

CAPÍTULO V : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	CONCLUSIONES.....	56
5.2.	RECOMENDACIONES.....	57
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
	ANEXOS.....	60
	ANEXO N° 01: PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS	60
1.1.	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS.	60
1.1.1.	Módulo de fineza para el agregado fino (mf).....	60
1.1.2.	Módulo de fineza para el Agregado Grueso (mg).	63
1.1.3.	Tamaño máximo del agregado grueso (T.M)	66
1.1.4.	Tamaño máximo nominal del agregado grueso (T.M.N)	66
1.1.5.	Material Más Fino Que El Tamiz N°200.....	66
1.2.	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN	66
1.2.1.	Peso específico y absorción del agregado fino	66
1.2.1.1.	Peso específico y absorción del agregado grueso.....	67
1.3.	CONTENIDO DE HUMEDAD.....	67
1.4.	PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DE LOS AGREGADOS.....	67
1.5.	RESISTENCIA AL DESGASTE O ABRASIÓN DEL AGREGADO	68
	ANEXO N°02: TABLAS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO ...	68

ANEXO N°03: DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO.....	71
ANEXO N°04: PROPIEDADES FÍSICAS DEL CONCRETO.....	78
4.1. PERMEABILIDAD DEL CONCRETO	78
4.1.1. Altura equivalente de evaporación en el permeámetro.....	78
4.1.2. Ensayos de permeabilidad del concreto a los 7 días de curado.....	79
4.1.3. Ensayos de permeabilidad del concreto a los 14 días de curado.....	83
4.1.4. Ensayos de permeabilidad del concreto a los 28 días de curado.....	87
4.1.5. Ensayos de permeabilidad del concreto a los 28 días de curado (Restringiendo la evaporación).....	91
4.2. POROSIDAD DEL CONCRETO.....	95
4.3. ABSORCIÓN DEL CONCRETO.....	96
ANEXO N°05: PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO	97
5.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y FLEXIÓN DEL CONCRETO	97
5.1.1. Ensayo de compresión y flexión del concreto a los 7 días de curado.....	97
5.1.2. Ensayo de compresión y flexión del concreto a los 14 días de curado...	101
5.1.3. Ensayo de compresión y flexión del concreto a los 28 días de curado...	105
ANEXO N°06 : INFORMACIÓN ADICIONAL DEL CÁLCULO DE LA PERMEABILIDAD.	109
6.1. Permeabilidad usando la fórmula de Valenta (Ensayo realizado en laboratorio de la Universidad Nacional de Cajamarca).	109
6.2. Permeabilidad del concreto según tesis de pregrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú.	110
ANEXO N°07: GRÁFICAS ESFUERZO VS. DEFORMACIÓN DEL CONCRETO	110
ANEXO N°08: FICHAS TÉCNICAS DE LOS MATERIALES.....	131
8.1. Ficha técnica del cemento	131
8.2. Ficha técnica del aditivo	132
ANEXO N°09: CERTIFICACIÓN DE USO DEL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES.....	134
ANEXO N°10: PANEL FOTOGRÁFICO.....	136

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Muestreo de la investigación	16
Tabla N° 2: Porción de muestra requerida para los ensayos de laboratorio	18
Tabla N° 3: Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso	19
Tabla N° 4: Cantidad mínima de muestra para partículas menores al tamiz N° 200	20
Tabla N° 5: Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso para el ensayo de peso específico y absorción.	21
Tabla N° 6: Carga abrasiva según tipo de gradación del material	26
Tabla N° 7: Clasificación de la permeabilidad del concreto según la NTC 4483.....	33
Tabla N° 8: Resistencia Promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra.....	68
Tabla N° 9: Consistencia, Asentamiento y Trabajabilidad del concreto.....	68
Tabla N° 10: Requerimientos de agua en L/m ³ y contenido de aire del concreto para los tamaños nominales máximos del agregado grueso y consistencia indicada	69
Tabla N° 11: Contenido de aire atrapado.....	69
Tabla N° 12: Relación agua / cemento por resistencia	69
Tabla N° 13: Relación agua / cemento por durabilidad.....	70
Tabla N° 14: Módulo de fineza de la combinación de agregados	70

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1: Muestreo para ensayo de permeabilidad.....	33
Cuadro N° 2: Muestreo para ensayos de porosidad	36
Cuadro N° 3: Muestreo para ensayo de absorción.....	37
Cuadro N° 4: Muestreo para el ensayo a compresión	38
Cuadro N° 5: Muestreo para el ensayo a flexión	38
Cuadro N° 6: Propiedades del agregado fino y grueso	41
Cuadro N° 7: Propiedades físico-mecánicas del concreto patrón y del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88%	42
Cuadro N° 8: Coeficiente de permeabilidad del concreto en m/s, a 7, 14 y 28 días de curado, para las cantidades de aditivo Sika Cem Impermeable de 0.96%, 1.92% y 2.88%	43
Cuadro N° 9: Coeficiente de permeabilidad del concreto a los 28 días de curado con 0.96%, 1.92% y 2.88% de aditivo Sika Cem Impermeable (Restringiendo la evaporación).	48
Cuadro N° 10: Propiedades físicas del concreto patrón y el concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88%; a los 28 días de curado	50
Cuadro N° 11: Resistencia a la compresión del concreto patrón y el concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88%; a los 7, 14 y 28 días de curado	52
Cuadro N° 12: Relación de las propiedades mecánicas del concreto patrón y el concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88%; a los 28 días de curado.....	53
Cuadro N° 13: Análisis Granulométrico de Agregado Fino E-1.....	60
Cuadro N° 14: Análisis Granulométrico de Agregado Fino E-2.....	61
Cuadro N° 15: Análisis Granulométrico de Agregado Fino E-3.....	62
Cuadro N° 16: Análisis Granulométrico de Agregado Grueso E-1.....	63
Cuadro N° 17: Análisis Granulométrico de Agregado Grueso E-2.....	64
Cuadro N° 18: Análisis Granulométrico de Agregado Grueso E-3.....	65
Cuadro N° 19: Porcentaje de material menor al tamiz N°200	66
Cuadro N° 20: Peso específico y Absorción del Agregado Fino.	66

<i>Cuadro N° 21:</i> Peso específico y Absorción del Agregado Grueso	67
<i>Cuadro N° 22:</i> Contenido de humedad de los agregados fino y grueso.	67
<i>Cuadro N° 23:</i> Pesos unitarios suelto y compactado de los agregados fino y grueso.....	67
<i>Cuadro N° 24:</i> Porcentaje de abrasión o desgaste del agregado grueso.	68
<i>Cuadro N° 25:</i> Diseño de mezclas del concreto patrón por el método del Módulo de Finura de la Combinación de los Agregados.	71
<i>Cuadro N° 26:</i> Peso unitario del concreto fresco	72
<i>Cuadro N° 27:</i> Ajuste por las características de la mezcla de concreto.....	73
<i>Cuadro N° 28:</i> Porcentaje mínimo y máximo del aditivo Sika Cem Impermeable.....	74
<i>Cuadro N° 29:</i> Diseño de mezcla con 0.96% de Sika Cem Impermeable	75
<i>Cuadro N° 30:</i> Diseño de mezcla con 1.92% de Sika Cem Impermeable.	76
<i>Cuadro N° 31:</i> Diseño de mezcla con 2.88% de Sika Cem Impermeable.	77
<i>Cuadro N° 32:</i> Ensayo de la evaporación del agua durante 24 y 72 horas	78
<i>Cuadro N° 33:</i> Ensayo (repetitivo) de permeabilidad a los 7 días de curado del concreto patrón, considerando la evaporación del agua.....	79
<i>Cuadro N° 34:</i> Ensayo (acumulativo) de permeabilidad a los 7 días de curado del concreto patrón, considerando la evaporación del agua.	79
<i>Cuadro N° 35:</i> Ensayo (repetitivo) de permeabilidad a los 7 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, considerando la evaporación del agua.....	80
<i>Cuadro N° 36:</i> Ensayo (acumulativo) de permeabilidad a los 7 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, considerando la evaporación del agua.....	80
<i>Cuadro N° 37:</i> Ensayo (repetitivo) de permeabilidad a los 7 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 1.92%, considerando la evaporación del agua.....	81
<i>Cuadro N° 38:</i> Ensayo (acumulativo) de permeabilidad a los 7 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 1.92%, considerando la evaporación del agua.....	81
<i>Cuadro N° 39:</i> Ensayo (repetitivo) de permeabilidad a los 7 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 2.88%, considerando la evaporación del agua.....	82
<i>Cuadro N° 40:</i> Ensayo (acumulativo) de permeabilidad a los 7 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 2.88%, considerando la evaporación del agua.....	82
<i>Cuadro N° 41:</i> Ensayo (repetitivo) de permeabilidad a los 14 días de curado del concreto patrón, considerando la evaporación del agua.....	83
<i>Cuadro N° 42:</i> Ensayo (acumulativo) de permeabilidad a los 14 días de curado del concreto patrón, considerando la evaporación del agua.	83
<i>Cuadro N° 43:</i> Ensayo (repetitivo) de permeabilidad a los 14 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, considerando la evaporación del agua.....	84
<i>Cuadro N° 44:</i> Ensayo (acumulativo) de permeabilidad a los 14 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, considerando la evaporación del agua.....	84
<i>Cuadro N° 45:</i> Ensayo (repetitivo) de permeabilidad a los 14 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 1.92%, considerando la evaporación del agua.....	85
<i>Cuadro N° 46:</i> Ensayo (acumulativo) de permeabilidad a los 14 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 1.92%, considerando la evaporación del agua.....	85
<i>Cuadro N° 47:</i> Ensayo (repetitivo) de permeabilidad a los 14 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 2.88%, considerando la evaporación del agua.....	86
<i>Cuadro N° 48:</i> Ensayo (acumulativo) de permeabilidad a los 14 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 2.88%, considerando la evaporación del agua.....	86
<i>Cuadro N° 49:</i> Ensayo (repetitivo) de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto patrón, considerando la evaporación del agua.....	87
<i>Cuadro N° 50:</i> Ensayo (acumulativo) de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto patrón, considerando la evaporación del agua.	87
<i>Cuadro N° 51:</i> Ensayo (repetitivo) de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, considerando la evaporación del agua.....	88

<i>Cuadro N° 52:</i> Ensayo (acumulativo) de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, considerando la evaporación del agua.....	88
<i>Cuadro N° 53:</i> Ensayo (repetitivo) de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 1.92%, considerando la evaporación del agua.....	89
<i>Cuadro N° 54:</i> Ensayo (acumulativo) de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 1.92%, considerando la evaporación del agua.....	89
<i>Cuadro N° 55:</i> Ensayo (repetitivo) de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 2.88%, considerando la evaporación del agua.....	90
<i>Cuadro N° 56:</i> Ensayo (acumulativo) de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 2.88%, considerando la evaporación del agua.....	90
<i>Cuadro N° 57:</i> Ensayo (repetitivo) de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto patrón, considerando la evaporación del agua.....	91
<i>Cuadro N° 58:</i> Ensayo (acumulativo) de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto patrón, considerando la evaporación del agua.....	91
<i>Cuadro N° 59:</i> Ensayo (repetitivo) de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, considerando la evaporación del agua.....	92
<i>Cuadro N° 60:</i> Ensayo (acumulativo) de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, considerando la evaporación del agua.....	92
<i>Cuadro N° 61:</i> Ensayo (repetitivo) de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 1.92%, considerando la evaporación del agua.....	93
<i>Cuadro N° 62:</i> Ensayo (acumulativo) de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 1.92%, considerando la evaporación del agua.....	93
<i>Cuadro N° 63:</i> Ensayo (repetitivo) de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 2.88%, considerando la evaporación del agua.....	94
<i>Cuadro N° 64:</i> Ensayo (acumulativo) de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 2.88%, considerando la evaporación del agua.....	94
<i>Cuadro N° 65:</i> Porosidad del concreto patrón.....	95
<i>Cuadro N° 66:</i> Porosidad del concreto con 0.96% Aditivo Sika Cem Impermeable	95
<i>Cuadro N° 67:</i> Porosidad del concreto con 1.92% Aditivo Sika Cem Impermeable.....	95
<i>Cuadro N° 68:</i> Porosidad del concreto con 2.88% Aditivo Sika Cem Impermeable	95
<i>Cuadro N° 69:</i> Absorción del concreto patrón.....	96
<i>Cuadro N° 70:</i> Absorción del concreto con 0.96% Aditivo Sika Cem Impermeable.....	96
<i>Cuadro N° 71:</i> Absorción del concreto con 1.92% Aditivo Sika Cem Impermeable.....	96
<i>Cuadro N° 72:</i> Absorción del concreto con 2.88% Aditivo Sika Cem Impermeable.....	96
<i>Cuadro N° 73:</i> Esfuerzo de compresión y módulo de elasticidad del concreto patrón a los 7 días de curado.....	97
<i>Cuadro N° 74:</i> Esfuerzo de flexión del concreto patrón a los 7 días de curado.....	97
<i>Cuadro N° 75:</i> Esfuerzo de compresión y módulo de elasticidad del concreto Impermeable (0.96%) a los 7 días de curado.....	98
<i>Cuadro N° 76:</i> Esfuerzo de flexión del concreto Impermeable (0.96%) a los 7 días de curado.....	98
<i>Cuadro N° 77:</i> Esfuerzo de compresión y módulo de elasticidad del concreto Impermeable (1.92%) a los 7 días de curado.....	99
<i>Cuadro N° 78:</i> Esfuerzo de flexión del concreto Impermeable (1.92%) a los 7 días de curado.....	99
<i>Cuadro N° 79:</i> Esfuerzo de compresión y módulo de elasticidad del concreto Impermeable (2.88%) a los 7 días de curado.....	100
<i>Cuadro N° 80:</i> Esfuerzo de flexión del concreto Impermeable (2.88%) a los 7 días de curado.....	100
<i>Cuadro N° 81:</i> Esfuerzo de compresión y módulo de elasticidad del concreto patrón a los 14 días de curado.....	101
<i>Cuadro N° 82:</i> Esfuerzo de flexión del concreto patrón a los 14 días de curado.....	101

<i>Cuadro N° 83:</i> Esfuerzo de compresión y módulo de elasticidad del concreto Impermeable (0.96%) a los 14 días de curado.	102
<i>Cuadro N° 84:</i> Esfuerzo de flexión del concreto Impermeable (0.96%) a los 14 días de curado.	102
<i>Cuadro N° 85:</i> Esfuerzo de compresión y módulo de elasticidad del concreto Impermeable (1.92%) a los 14 días de curado.	103
<i>Cuadro N° 86:</i> Esfuerzo de flexión del concreto Impermeable (1.92%) a los 14 días de curado.	103
<i>Cuadro N° 87:</i> Esfuerzo de compresión y módulo de elasticidad del concreto Impermeable (2.88%) a los 14 días de curado.	104
<i>Cuadro N° 88:</i> Esfuerzo de flexión del concreto Impermeable (2.88%) a los 14 días de curado.	104
<i>Cuadro N° 89:</i> Esfuerzo de compresión y módulo de elasticidad del concreto patrón a los 28 días de curado.	105
<i>Cuadro N° 90:</i> Esfuerzo de flexión del concreto patrón a los 28 días de curado.	105
<i>Cuadro N° 91:</i> Esfuerzo de compresión y módulo de elasticidad del concreto Impermeable (0.96%) a los 28 días de curado.	106
<i>Cuadro N° 92:</i> Esfuerzo de flexión del concreto Impermeable (0.96%) a los 28 días de curado.	106
<i>Cuadro N° 93:</i> Esfuerzo de compresión y módulo de elasticidad del concreto Impermeable (1.92%) a los 28 días de curado.	107
<i>Cuadro N° 94:</i> Esfuerzo de flexión del concreto Impermeable (1.92%) a los 28 días de curado.	107
<i>Cuadro N° 95:</i> Esfuerzo de compresión y módulo de elasticidad del concreto Impermeable (2.88%) a los 28 días de curado.	108
<i>Cuadro N° 96:</i> Esfuerzo de flexión del concreto Impermeable (2.88%) a los 28 días de curado.	108
<i>Cuadro N° 97:</i> Coeficiente de permeabilidad con la fórmula de Valenta	109
<i>Cuadro N° 98:</i> Coeficiente de permeabilidad – Tesis PUCP	110

ÍNDICE DE GRÁFICOS

<i>Gráfico N° 1:</i> Permeabilidad del concreto patrón y del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88%; a los 7, 14 y 28 días de curado.	44
<i>Gráfico N° 2:</i> Permeabilidad del concreto patrón a 7, 14 y 28 días de curado.	45
<i>Gráfico N° 3:</i> Permeabilidad del concreto con 0.96%, 1.92% y 2.88% de aditivo Sika Cem Impermeable a 7, 14 y 28 días de curado.	46
<i>Gráfico N° 4:</i> Permeabilidad del concreto con 0.96%, 1.92% y 2.88% de aditivo Sika Cem Impermeable a los 28 días de curado.	47
<i>Gráfico N° 5:</i> Permeabilidad del concreto Patrón y del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88%; a los 28 días de curado (Restringiendo la evaporación).	49
<i>Gráfico N° 6:</i> Permeabilidad del concreto con 0.96%, 1.92% y 2.88% de aditivo Sika Cem Impermeable a los 28 días de curado. (*Restringiendo la evaporación).	49
<i>Gráfico N° 7:</i> Porosidad Vs. Absorción del concreto patrón y el concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88%; a los 28 días de curado	50
<i>Gráfico N° 8:</i> Relación de las propiedades físicas del concreto patrón y el concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88%; a los 28 días de curado	51
<i>Gráfico N° 9:</i> Resistencia a la compresión del concreto patrón y el concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88%; a los 7, 14 y 28 días de curado	52

<i>Gráfico N° 10:</i> Resistencias mecánicas (a la compresión y flexión) Vs. Módulo de Elasticidad del concreto patrón y el concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88%; a los 28 días de curado	54
<i>Gráfico N° 11:</i> Relación de la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y permeabilidad del concreto patrón y el concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88%; a los 28 días de curado.....	55
<i>Gráfico N° 12:</i> Curva Granulométrica del Agregado Fino E-1	60
<i>Gráfico N° 13:</i> Curva Granulométrica del Agregado Fino E-2.....	61
<i>Gráfico N° 14:</i> Curva Granulométrica del Agregado Fino E-3.....	62
<i>Gráfico N° 15:</i> Curva Granulométrica del Agregado Fino E-1	63
<i>Gráfico N° 16:</i> Curva Granulométrica del Agregado Fino E-2.....	64
<i>Gráfico N° 17:</i> Curva Granulométrica del Agregado Fino E-3.....	65
<i>Gráfico N° 18:</i> Comparación del Coeficiente de permeabilidad y la Relación a/c	110

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen N° 1: Permeámetro de Carga Variable	12
Imagen N° 2: Ubicación Geográfica del lugar de la Investigación.....	15
Imagen N° 3: Ubicación Cantera Tartar Chico (Google Maps)	17
Imagen N° 4: Esfuerzo deformación unitaria del concreto	40
<i>Imagen N° 5:</i> Cantera Tartar Chico-Baños del Inca	136
Imagen N° 6: Secado y análisis granulométrico.....	136
Imagen N° 7: Peso específico y absorción del agregado fino.....	137
Imagen N° 8: Peso específico y absorción del agregado grueso.....	137
Imagen N° 9: Determinación del peso unitario de los agregados.	138
Imagen N° 10: Finos menores que el tamiz N° 200	137
Imagen N° 11: Abrasión del agregado grueso.....	138
Imagen N° 12: Elaboración de la mezcla de concreto	139
Imagen N° 13: Conformación de los especímenes cilíndricos y prismáticos.	139
<i>Imagen N° 14:</i> Ensayo a la compresión de los especímenes cilíndricos.	140
Imagen N° 15: Ensayo a la Flexión de los especímenes prismáticos.....	140
Imagen N° 16: Ensayo de permeabilidad.....	141
Imagen N° 17: Ing. Héctor Pérez Loayza, Asesor de la tesis	141
Imagen N° 18: Finalización del ensayo de permeabilidad.	142

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las propiedades físico mecánicas son indicadores de calidad que sirven para determinar qué tan bueno es el concreto. De acuerdo con O'Reilly D. (2010), “El concreto por definición debe ser homogéneo, sólido, compacto, resistente y poco poroso, debe garantizar una adecuada protección, a la armadura de acero, de los agentes externos que la circundan”.

A nivel mundial el concreto es el material más utilizado, con él se han realizado muchas obras de envergadura pero en algunos casos se han detectado problemas en el comportamiento de sus propiedades, tal es así que, la revista “Ingeniería de la Construcción” en su artículo “Análisis de la evolución de los daños en los puentes de Colombia” menciona que la porosidad es uno de los muchos factores de deterioro de las estructuras de los puentes estudiados en ese país. Así mismo, en la ciudad de Venecia en Italia existen muchos problemas de humedad, por lo que sus estructuras están sujetas al deterioro constante.

En el Perú y a partir del siglo XXI, el uso del concreto en el ámbito de la construcción civil se ha vuelto imprescindible, pero sin embargo el 80% de su uso se lo hace sin un criterio técnico. Por lo que hace que muchas de las estructuras tengan problemas de baja resistencia y alta porosidad. Por ejemplo, en Lima, la Planta de Tratamiento de Agua de Huachipa está altamente deteriorada, tanto así que el concreto está cayendo por pedazos. También podemos mencionar infraestructuras como colegios y hospitales que han sido afectados por las inundaciones provocadas por el fenómeno del niño. Así mismo en Cajamarca existen muros de contención y canales que presentan problemas de humedad en tal grado que sobre ellos a crecido los musgos; estos vegetales destruyen lentamente al concreto.

Por ello antes de conformar un elemento estructural de concreto se debe diseñar, de tal manera, que este nuevo elemento tenga buenas propiedades físicas y mecánicas; por el contrario si estas son deficientes pues se correrá el riesgo de tener concretos de mala calidad.

Los concretos de mala calidad son aquellos cuya resistencia a la compresión es menor a la de diseño y además tienen alta porosidad. Esto es producto del desconocimiento del proceso que se debería seguir en la elaboración del concreto y su control de calidad. Los concretos de mala calidad en muchos de los casos son un peligro porque no tienen la resistencia a la compresión para los cuales deberían estar diseñados y peor aún tienen alta porosidad favoreciendo de esta manera el ingreso de agentes externos que podrían deteriorar al concreto hasta el punto de desintegrarlo poco a poco.

Frente a esta problemática se plantea diseñar la mezcla de un determinado concreto para un $f'c=300 \text{ Kg/cm}^2$ y además adicionarle un aditivo químico que amplifique la mejora de sus propiedades tanto físicas como mecánicas. Por ello en esta investigación se optó por utilizar el aditivo Sika Cem Impermeable y el cemento Portland Tipo I.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La problemática expuesta nos lleva a formular la siguiente pregunta:

- ¿Cuál es la influencia en las propiedades físico-mecánicas del concreto de $f'c=300 \text{ Kg/cm}^2$ al emplear en la mezcla el cemento Portland Tipo I y el aditivo Sika Cem Impermeable?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis General

El uso del aditivo Sika Cem Impermeable en cantidades de 0.96%, 1.92% y 2.88% del peso del cemento Portland tipo I, mejora las propiedades físico-mecánicas del concreto $f'c=300 \text{ Kg/cm}^2$.

1.3.2. Hipótesis Específicas

- El aditivo Sika Cem Impermeable aumenta en 20% la resistencia a la compresión y flexión del concreto $f'c=300 \text{ Kg/cm}^2$.
- El aditivo Sika Cem Impermeable disminuye en 40% la absorción, porosidad y permeabilidad del concreto $f'c=300 \text{ Kg/cm}^2$.

1.3.3. Definición de variables

Variable independiente

- “Aditivo Sika Cem Impermeable”

Variables dependientes

- “Propiedades físico-mecánicas”
- Propiedades físicas: Permeabilidad, porosidad y absorción.
- Propiedades mecánicas: Resistencia a la compresión y resistencia a la flexión.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Evaluar las propiedades físico-mecánicas del concreto de $f_c=300\text{Kg/cm}^2$, empleando cemento Portland tipo I y el aditivo Sika Cem Impermeable, en la provincia de Cajamarca.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades físicas de absorción y porosidad del concreto a los 28 días de curado, utilizando aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88%.
- Determinar la permeabilidad del concreto a los 7, 14 y 28 días de curado, utilizando aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96% 1.92% y 2.88%.
- Determinar las propiedades mecánicas de resistencia a la compresión y resistencia a la flexión a los 7, 14 y 28 días de curado, utilizando aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88%.
- Determinar el módulo de elasticidad a los 28 días de curado, utilizando aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88%.

1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación se realiza con el fin de priorizar la evaluación de las propiedades físico-mecánicas de un concreto de $f_c=300\text{kg/cm}^2$ utilizando para su elaboración el Cemento Portland Tipo I y el Aditivo Sika Cem Impermeable. De la calidad de las propiedades físico-mecánicas del concreto depende el tiempo de vida útil que puede tener una estructura, es por ello que, antes de realizar un vaciado de cimentaciones, columnas vigas y losas se debe seguir un diseño de mezclas el cual nos facilite obtener un buen producto.

Para optimizar la calidad de las propiedades físico-mecánicas del concreto se optó por utilizar el Cemento Portland Tipo I y el Aditivo Sika Cem Impermeable. La combinación de estos dos productos, para una determinada relación agua/cemento, hacen que aumente la resistencia a la compresión y disminuya la permeabilidad, la absorción así como la porosidad del concreto. Lo mencionado nos proyecta a tener estructuras más durables y económicas que las tradicionales. La permeabilidad reducida mejora la resistencia mecánica y la resistencia al ataque de sustancias químicas perjudiciales para el concreto.

Finalmente esta investigación es de mucha utilidad en el ámbito de la construcción civil porque concientizaría a elaborar concretos funcionales y de óptima calidad.

1.6. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se desarrolló a nivel local en la Universidad Nacional de Cajamarca en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería, durante el período académico 2017.

Esta investigación es de tipo experimental con un enfoque cuantitativo, que busca mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto de $f_c=300\text{ kg/cm}^2$ al incluir en la mezcla el cemento Portland Tipo I y el aditivo Sika Cem Impermeable. En esta investigación se estudió muestras de concreto con tres porcentajes de aditivo Sika Cem Impermeable estos son 0.96%, 1.92% y 2.88%; además, se ensayaron a diferentes edades de curado 7, 14 y 28 días.

1.7. DESCRIPCIÓN DE LOS CONTENIDOS DE LOS CAPITULOS

- **Primer capítulo**, “Introducción”, resalta la esencia de la investigación a través del planteamiento y formulación del problema, sus hipótesis, objetivos, justificación e importancia así como la delimitación del mismo.
- **Segundo capítulo**, “Marco Teórico”, cita los antecedentes de esta investigación en el ámbito internacional, nacional y local; también define elementos necesarios para facilitar al lector la comprensión de los capítulos desarrollados.
- **Tercer capítulo**, “Materiales y Métodos”, se muestran teóricamente todos los procedimientos para el estudio de los agregados y la elaboración del concreto incluyendo los ensayos para determinar sus propiedades físicas y mecánicas.
- **Cuarto capítulo**, “Análisis y discusión de los resultados” se analizan los resultados de las propiedades físico-mecánicas del concreto, y se hace una comparación entre éstas.
- **Quinto capítulo**, “Conclusiones y recomendaciones” contempla las conclusiones a las que se llega al finalizar los resultados de esta investigación las cuales satisfacen los objetivos; además, se recomienda seguir la línea de esta investigación.
- Referencias bibliográficas, se citan las referencias tanto de libros, tesis, revistas y Normas Técnicas Peruanas.
- Anexos, se adjuntan resultados de los ensayos de agregados, las tablas del diseño de mezclas, el diseño de mezclas y su ajuste, las propiedades físicas y mecánicas del concreto; así como, las especificaciones técnicas del cemento Portland tipo I y del aditivo Sika Cem Impermeable, y finalmente se muestra el panel fotográfico.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

- Benavides R. (2014), en Colombia, en su tesis de maestría “Concreto de alto desempeño” utilizó adiciones minerales (humo de sílice, ceniza volante, escoria) y aditivos químicos que permitan no solamente aumentar su resistencia mecánica sino mejorar sus propiedades físicas. Para ello realizó ensayos con muestras de 21, 42, 49, y 56MPa, de los cuales con base a la norma NTC-4483, permite clasificar a las mezclas de 21 y 42 MPa en rango de permeabilidad media, y de 49 y 56 MPa, en un rango de permeabilidad bajo. Concluyó que a menor relación agua/material cementante el concreto tiene una mayor resistencia a la compresión mayor módulo de elasticidad, así como, mayor durabilidad dado que se mejora la adherencia, y se reduce la permeabilidad y porosidad.
- Limón J. (2016), en México, en su tesis de maestría “Estudio sobre tecnologías aplicadas a las mezclas de concreto hidráulico para reducir su permeabilidad al agua e incrementar su durabilidad” proyectó su investigación hacia la obtención de un concreto con mayor vida útil que el convencional; por lo que, se estableció realizar ensayos de concreto para relaciones agua/cemento igual a 0,40 y 0.45, utilizando aditivos químicos reductores de permeabilidad como: Sika® ViscoCrete 7500, Membrana Interna Krystol (Kim), Penetron Admix, Sika WT-100. Finalmente se llegó a la conclusión, en la que estable que un concreto de buena durabilidad no debe tener una relación agua/cemento mayor a 0.45 y que el aditivo que mejor desempeño tiene en la reducción de permeabilidad es la Membrana Interna Krystol (Kim).

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

- Suárez, L. (2000), en su tesis, “Estudio del estado de permeabilidad para concretos de mediana a alta resistencia, utilizando el cemento Portland tipo I – Sol”, para obtener el título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional de Ingeniería; tiene como objetivo estudiar la permeabilidad del concreto para diferentes relaciones agua/cemento desde 0.40 a 0.60, pero en esta investigación por no tener los equipos necesarios los resultados no son la determinación del coeficiente de permeabilidad sino la absorción parámetro mediante el cual, determina que concreto es más permeable que otro. Finalmente concluyó que a medida que se reduce la relación a/c aumenta la resistencia a la compresión y disminuye la permeabilidad.
- Bustamante, I. (2017), en su tesis, “Estudio de la correlación entre la relación agua/cemento y la permeabilidad al agua de concretos usuales en Perú”, para obtener el título profesional de Ingeniero Civil en la Pontificia Universidad Católica; realizó el cálculo del coeficiente de permeabilidad basándose en las normas españolas UNE-EN 12390-8, colombianas NTC 4483 utilizando la fórmula de Valenta. Los ensayos de concreto normal que se realizaron en esta investigación fue para las relaciones agua/cemento 0.45, 0.50, 0.60 y 0.70; al término de esta investigación se concluyó que la permeabilidad varía de forma exponencial respecto a la relación a/c, es decir, a menor relación a/c menor permeabilidad y que el tiempo de curado húmedo es determinante para una baja permeabilidad.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

- Sota, H. (2017), en su tesis, “Influencia del aditivo Sika 1 y agregado chancado en la resistencia a la compresión y propiedades físicas en concreto de baja permeabilidad”, para obtener el título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional de Cajamarca; estudió la influencia del aditivo Sika 1, en las propiedades físicas y mecánicas del concreto, usando para ello un porcentaje equivalente a 1, 2, 3 y 5% del peso del cemento; para el cálculo de la permeabilidad se basó en la norma colombiana NTC 4483 y española UNE-EN 12390-8. Finalmente define un porcentaje óptimo de aditivo;

concluyendo de esta manera que para el 3% de aditivo la resistencia a compresión aumenta en 41% respecto a la de diseño (210Kg/cm^2), mientras que la porosidad y absorción disminuyen en 37%; además la impermeabilidad disminuye de 5.91×10^{-11} a $2.36 \times 10^{-11} \text{ m/s}$; este mejoramiento significativo que confiere el aditivo Sika 1, se traduce en durabilidad del concreto.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. CONCRETO NORMAL

Según Torre, A. (2004, p.77) el concreto normal o convencional es una mezcla de pasta de cemento más agregados pétreos:

- La pasta de cemento es la combinación de cemento, agua y vacíos.
- Los agregados pétreos son las arenas y las rocas trituradas conocidas como gravilla, éstas son extraídas de lechos de río o de cerros.

Al respecto Salamanca, R. (2001) menciona que “la pasta de cemento, es el componente activo, que envuelve los agregados y llena los espacios entre ellos. Ella actúa primero como un lubricante, y luego como un adhesivo. Las burbujas de aire pueden subsistir después de la colocación del concreto” (p. 34).

2.2.1.1. Componentes del concreto

2.2.1.1.1. Cemento

Rivera, G. (2005, p.18) define que el cemento es un material pulverizado que además de óxido de calcio contiene: sílice, alúmina y óxido de hierro, y que por la adición de una cantidad apropiada de agua, forma una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto en el agua como en el aire.

2.2.1.1.2. Agregados para el concreto

Los agregados ocupan alrededor de las $\frac{3}{4}$ partes del volumen total del concreto. Éstos deberán cumplir con los requisitos de la norma NTP 400.037 o la norma ASTM C33, la cual define a los agregados fino y grueso como el conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial que son aglomerados por la pasta de cemento para formar la estructura resistente.

2.2.1.1.3. El agua en el concreto

Neville A.M. y Brooks J.J. (1998, p. 62) exponen que la calidad del agua es importante, ya que, las impurezas que contenga pueden interferir el endurecimiento del cemento, afectar negativamente la resistencia del concreto u ocasionar el manchado de su superficie, así como llevar a la corrosión del refuerzo. Por estas razones, debe evaluarse su conveniencia para fines de mezclado y curado. Debe hacerse una distinción clara entre los efectos del agua para mezcla y el ataque de aguas agresivas al concreto endurecido, ya que algunas de estas últimas son inofensivas e incluso benéficas si se usan en el mezclado.

2.2.2. CONCRETO IMPERMEABLE

Hermida, G. (2013, p.26) menciona que, un concreto impermeable es un concreto normal más la adición de un aditivo químico o la adición de puzolanas naturales y/o artificiales. Es necesario aclarar que no existe la impermeabilidad absoluta, pues todo concreto tiene un grado de permeabilidad.

La función principal de un concreto impermeable o vale decir de baja permeabilidad es minimizar el paso de un líquido a través de su estructura. La razón por la que se usan los aditivos para disminuir la permeabilidad no es solamente impedir la entrada o salida de agua, sino también impedir o disminuir la aparición de eflorescencias, para aminorar los riesgos de corrosión del acero, de carbonatación y la acción de hielo/deshielo.

2.2.2.1. Aditivo impermeabilizante Sika Cem Impermeable

La NTP 339.086 define los aditivos como una sustancia añadida a los componentes fundamentales del concreto con el propósito de modificar alguna de sus propiedades.

Sika (2015) menciona que, Sika Cem Impermeable es un aditivo impermeabilizante líquido especialmente indicado para concreto y mortero. Es libre de cloruros y actúa como bloqueador de poros; tiene las siguientes características y ventajas:

- Es un líquido de color blanco con densidad igual a 1,02 +/- 0,02 Kg/L.
- Gran acción impermeabilizante
- Disminuye la porosidad del concreto.
- Proporciona concretos más resistentes y durables.

2.2.3. PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO

2.2.3.1. POROSIDAD DEL CONCRETO

Según Hernández, J. (2010, p.136) el concreto es inherentemente poroso, debido principalmente a la formación de canales capilares como consecuencia de la evaporación de agua durante el proceso de fraguado, a la permeabilidad del agregado y a la reducción gradual de volumen de la pasta cuando ocurre la reacción química entre el agua y el cemento.

Clasificación de los poros:

Los vacíos presentes en la pasta de cemento hidratado se clasifican como sigue:

- a) **Poros por aire atrapado:** Son relativamente grandes vacíos inevitables y perjudiciales en todo concreto. Se originan por una mala compactación en la mezcla del concreto. Normalmente se presentan en un mínimo del 1% del volumen del concreto y su tamaño está en el rango de 1 a 10 mm.
- b) **Poros por aire incorporado:** Está conformado por burbujas de aire de tamaño pequeño y variable de entre 0.1mm (100µm) a 1mm. Estos vacíos son generados a propósito utilizando para ello aditivos incorporadores de aire. Además el aire incorporado tiende a incrementar la trabajabilidad, la plasticidad y fluidez de las mezclas.
- c) **Poros capilares:** Son los espacios que en el proceso de hidratación no han sido ocupados por el gel. Al inicio de la hidratación los poros capilares se conectan tridimensionalmente entre sí, sin embargo a medida que la hidratación progresa los poros capilares quedan aislados o desconectados. Esta desconexión tiene unas repercusiones muy importantes sobre las propiedades de transporte de líquidos y gases a través de la pasta. Su tamaño varía desde 10nm a 10µm (10⁴nm).
- d) **Poros de gel S-C-H:** Estos vacíos son los que existen dentro de la estructura propia de las placas sólidas de la pasta cemento hidratado. Estamos así hablando de una distancia que varía entre 5 a 25 Angstroms (2.5nm). Esta porosidad no es la responsable de la penetración de agua, pero sí de la densidad del hidrato S-C-H.

2.2.3.2. ABSORCIÓN DEL CONCRETO

Según Rivera, G. (2005, p.51) la absorción es una propiedad física que se expresa en porcentaje y es la capacidad que tiene el concreto para retener agua hasta su condición de saturado superficialmente seco. Esta propiedad así como la permeabilidad y porosidad es un indicador de durabilidad.

2.2.3.3. PERMEABILIDAD DEL CONCRETO

Salamanca, L. y Quiroz, V. (2006, p.133), mencionan que en una pasta de cemento pura recién mezclada, se cuenta con espacios llenos de agua para la formación de los productos de la hidratación. Este espacio, originalmente en función de la relación A/C de la pasta, es reducido en forma continua por el volumen del gel hidratado. El sistema capilar es esa parte del espacio original lleno de agua que no se llena con gel hidratado. De este modo, resulta evidente que la hidratación reduce el tamaño y volumen de los poros capilares e incrementa el volumen del gel, y que el proceso es continuo a medida que progresa la hidratación. Se ha afirmado que, si el espacio capilar es pobre (relación A/C menor que 0.40 en peso), al final el gel llenará todo el espacio original del agua y dejará una pasta sin poros capilares. Conforme se aumenta la relación A/C y a medida que se disminuye el grado de hidratación, se incrementa el volumen de los poros capilares.

2.2.3.3.1. Ensayo de Permeabilidad del concreto

Según Garibay, T. (2006, p.22) la permeabilidad de un suelo se obtiene por la determinación de la cantidad de agua que atraviesa a la muestra durante un intervalo de tiempo y esta se puede calcular con un permeámetro de carga constante para suelos granulares o de carga variable para suelos finos, en otras palabras el permeámetro de carga variable es usado para suelos que ofrecen mayor resistencia a ser atravesados por el agua; los cálculos de permeabilidad se hacen siguiendo la teoría de Darcy . En esta investigación se toma este criterio, para el ensayo de permeabilidad del concreto mediante un permeámetro de carga variable y con los datos obtenidos se calcula el coeficiente de permeabilidad.

- **Coefficiente de permeabilidad “K”**

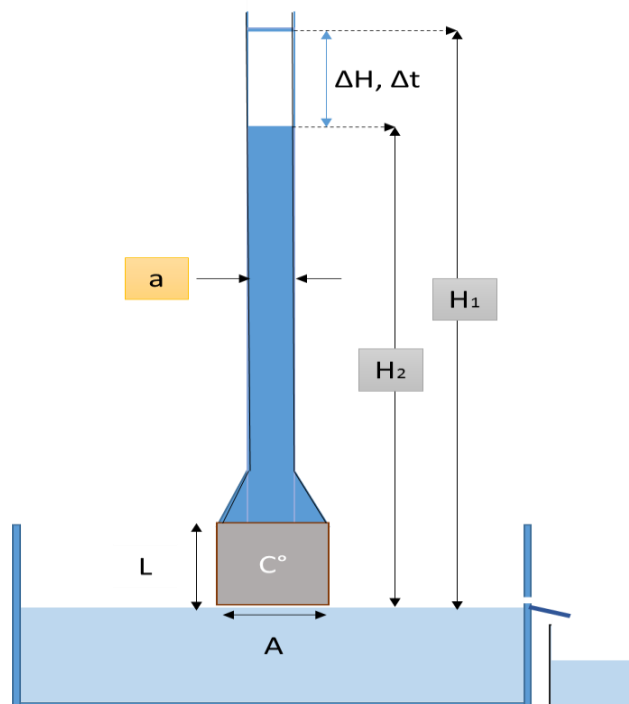
El coeficiente de permeabilidad es un indicador de que tan permeable es una muestra y en mecánica de suelos se utiliza la siguiente fórmula:

$$K = \frac{2.3 * a * L}{A * \Delta t} * \text{Log} \left(\frac{H1}{H2} \right) \dots \dots (1)$$

Donde:

- **a** es la sección del tubo de carga (cm²)
- **A** es la sección de la muestra (cm²)
- **L** es la altura de la muestra (m)
- **H1** es la altura inicial de carga (cm)
- **H2** es la altura final después de un tiempo Δt (cm)
- Δt es el intervalo de tiempo de ensayo (s)

Imagen N° 1: Permeámetro de Carga Variable



Fuente: Garibay, T. (2006)

2.2.3.4. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Según Hernández, J. (2010, p.132) en términos generales, la gran mayoría de estructuras de concreto son diseñadas bajo la suposición de que este resiste únicamente esfuerzos de compresión, por consiguiente, para propósitos de diseño estructural, la resistencia a la compresión es el criterio de calidad.

La resistencia a la compresión está normalizada por la norma NTP 339.034 y la ASTM C 39; además, este ensayo se lo realiza en especímenes cilíndricos de concreto.

2.2.3.5. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

“Los elementos sometidos a flexión tienen una zona sometida a compresión y otra región en que predominan los esfuerzos a tracción” (Hernández, J., 2010, p. 125).

Este método de ensayo se aplica para determinar el módulo de rotura de especímenes de concreto extraídos en el control de calidad del concreto en pistas. Según la norma NTP 339.079 y la ASTM C293.

2.2.3.6. MÓDULO DE ELASTICIDAD

Según Osorio, G. (2011) Los materiales en general, tienen un comportamiento elástico hasta que alcanzan cierta deformación. Si el esfuerzo que incide sobre el material aumenta hasta superar las fuerzas internas de cohesión y adherencia, el material comienza a microfisurarse y termina por fallar.

A continuación se definen algunos conceptos para tener clara la idea.

- ✓ **Material elástico**, es elástico cuando la deformación que sufre ante la acción de una fuerza, cesa al desaparecer la misma.
- ✓ **La deformación**, es la variación de forma y dimensión de un cuerpo.
- ✓ **Módulo de elasticidad**, es la propiedad mecánica que hace que los materiales sufran deformaciones reversibles por la acción de las fuerzas exteriores que actúan sobre ellos y se mide en Kg /cm².

El módulo de elasticidad del concreto representa la rigidez de este material ante una carga impuesta sobre el mismo y ésta se calcula gráficamente o con fórmulas según describe el ACI 318M-2 y la E0-60.

2.3. DEFINICIÓN DE TERMINOS BÁSICOS

- **Cemento Portland Tipo I:** Según la norma ASTM C 219 es un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del clinker del portland compuesto esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos. Además, el ASTM C 150 menciona que este tipo de cemento es de uso general, destinado a obras de concreto que no estén al contacto de factores agresivos.
- **Aditivo Sika Cem Impermeable:** Es un aditivo líquido libre de cloruros y actúa como bloqueador de poros, generando una reducción importante de la permeabilidad del concreto o morteros. (Sika, 2015)
- **Propiedades físico-mecánicas del concreto:** Las propiedades físicas como la absorción, porosidad y permeabilidad son un indicador de durabilidad del concreto y las propiedades mecánicas son un indicador de resistencia ante solicitaciones de carga, estas propiedades son resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y módulo de elasticidad.
- **Permeámetro de carga variable:** Es un equipo que facilita el cálculo de la permeabilidad. En él se coloca una columna de agua y se mide el tiempo en el que atraviesa a la muestra de ensayo un diferencial de altura de columna de agua.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN

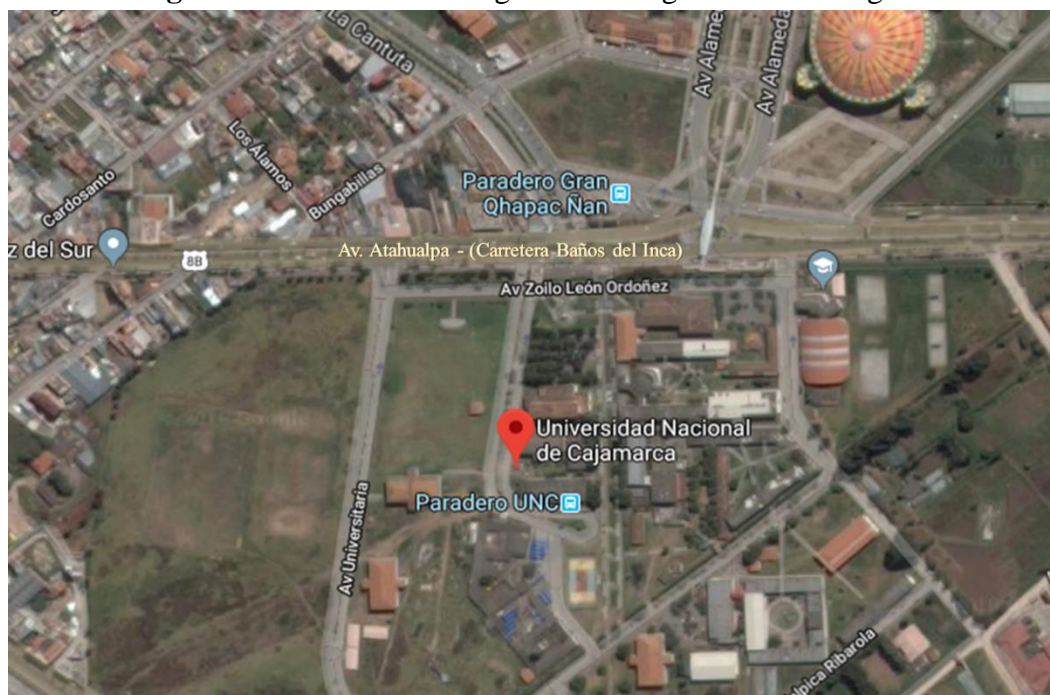
La investigación se realizó en:

- País : Perú
- Departamento : Cajamarca
- Provincia, Distrito : Cajamarca

La ubicación específica donde se realizaron los ensayos de esta investigación, fue en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería en la Universidad Nacional de Cajamarca, ubicada en la Av. Atahualpa N°1050.

- Coordenadas : 776617E - 92070030N
- Altitud : 2683 m.s.n.m.

Imagen N° 2: Ubicación Geográfica del lugar de la Investigación



Fuente: Google Maps 2018

3.2. MÉTODOS Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

- Tipo : Aplicada
- Nivel : Descriptivo, explicativo y comparativo
- Diseño : Experimental
- Método de la investigación : Cuantitativa

3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y UNIDAD DE ANÁLISIS

3.3.1. Población

La población de estudio fue el concreto de $f'c = 300 \text{ Kg/cm}^2$ elaborado con cemento Portland Tipo I y el aditivo Sika Cem Impermeable en 0.96%, 1.92% y 2.88%.

3.3.2. Muestra

En el análisis físico-mecánico del concreto la muestra de estudio fue de 216 especímenes de concreto, de los cuales:

Tabla N° 1: Muestreo de la investigación

Ensayo	Especímen de Concreto		Cantidad de muestreo				Total
	Tipo	Dimensiones	Sin aditivo	Con aditivo Sika Cem Impermeable			
				0.96 %	1.92%	2.88%	
Compresión	Cilíndrica	6"x12"	15	15	15	15	60
Flexión	Prismática	0.15x0.15x0.50m	15	15	15	15	60
Porosidad	Cilíndrica	4"x4"	3	3	3	3	12
		6"x12"	3	3	3	3	12
Absorción	Cilíndrica	4"x4"	3	3	3	3	12
		6"x12"	3	3	3	3	12
Permeabilidad	Cilíndrica	4"x4"	12	12	12	12	48
MUESTREO TOTAL							216

3.3.3. Unidad de análisis

La unidad de análisis de esta investigación fueron las “probetas de concreto”, sin embargo, la denominación correcta es “especímenes de concreto”.

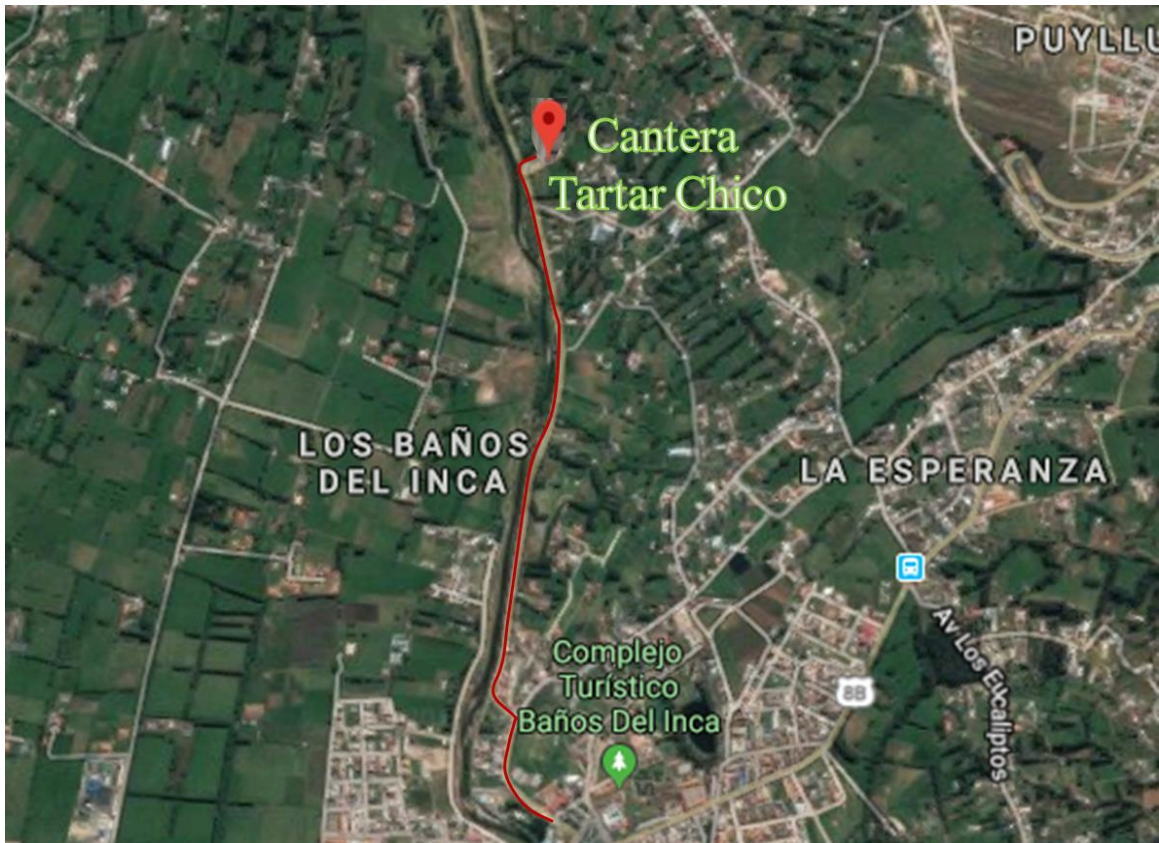
3.4. CANTERA PROVEEDORA DE MATERIALES

3.4.1. Ubicación de la cantera

De los agregados que se eligieron para este estudio, el agregado grueso se obtuvo en la planta de chancado “Tartar Chico”, cuyo propietario es el Ing. Edilberto Aguilar Flores. Dicha cantera se ubica a orillas del río Chonta en el distrito de Baños del Inca, provincia y departamento de Cajamarca. . Geográficamente en las coordenadas UTM, según Datum WGS-84, ubican a la cantera en la Zona 17M con coordenadas 0779879 Este y 9208891 Norte, a una altitud de 2670 m.s.n.m.

El agregado fino se obtuvo de la cantera Tartar Chico pero es procedente del distrito de Chilete de la cantera ubicada en el km 94 carretera Ciudad de Dios- Cajamarca. El propietario de la cantera, ofrece este tipo de agregados solo para pedidos especiales.

Imagen N° 3: Ubicación Cantera Tartar Chico (Google Maps)



Fuente: Google Maps 2018

3.4.2. Extracción de agregados de la cantera

El agregado fino el cual fue extraído del lecho fluvial en el distrito de Chilete cuenta con una granulometría bastante homogénea, con muy pocas impurezas. El transporte desde la cantera de Chilete a Baños del Inca en Cajamarca lo realizó el propietario de la cantera Tartar Chico.

El agregado grueso se encuentran a lo largo del Río Chonta, el área de explotación de la cantera es aproximadamente mil ochocientos metros cuadrados (1800 m²). Los materiales son extraídos desde los márgenes del río con maquinaria pesada y transportado a la zona de proceso, donde son lavados, reducidos a través de trituración y tamizados para su futura venta.

3.5. PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL AGREGADO

3.5.1. Extracción y preparación de muestras para ensayos

Para los ensayos del agregado fino y grueso se realizó los procedimientos de muestreo descritos en la Norma NTP 400.010-2011.

El muestreo representativo para el estudio de los agregados fino y grueso se describe en la siguiente tabla.

Tabla N° 2: Porción de muestra requerida para los ensayos de laboratorio

Tamaño del agregado	Masa de la muestra de campo, mín. Kg	Muestra de campo Volumen mín. L
Agregado Fino		
2.36 mm [N° 8]	10	8
4.75 mm [N° 4]	10	8
Agregado Grueso		
09.5 mm [3/8 in.]	10	8
12.5 mm [1/2 in.]	15	12
19.0 mm [3/4 in.]	25	20
25.0 mm [1 in.]	50	40
37.5 mm [1 1/2 in.]	75	60
50.0 mm [2 in.]	110	80
63.0 mm [2 1/2 in.]	125	100
75.0 mm [3 in.]	150	120
90.0 mm [3 1/2 in.]	175	140

Fuente: NTP 400.010-2011

3.5.2. Reducción de muestras de agregados a tamaño de ensayo

Esta práctica de reducción de muestras se realizó según la Norma ASTM C 702 o su equivalente la norma peruana NTP 400.043, aplicando el Método del Cuarteo.

- Procedimiento

El material seleccionado se colocó sobre la superficie del piso, libre de impurezas para evitar contaminar el mismo; seguidamente, se mezcló el material girando la muestra más de tres veces con ayuda de una palana, formando un pequeño montículo de forma cónica, enseguida se aplanó la pila cónica hasta un espesor uniforme, de tal forma, que el diámetro de la muestra aplanada sea de cuatro a ocho veces el espesor. Luego utilizando una espátula y palana se procedió a dividir, a la muestra aplanada, en cuatro partes iguales y se tomó dos divisiones opuestas para los respectivos ensayos.

Finalmente, con las muestras obtenidas se analizó sus propiedades a través de los siguientes ensayos.

3.5.3. Análisis Granulométrico

Esta propiedad se determinó, según la norma ASTM C 136 o su equivalente la norma peruana NTP 400.012.

- Preparación de la muestra

La cantidad de la muestra de ensayo para el agregado fino, luego del secado, fue de 300g mínimo y la cantidad de muestra de ensayo para el agregado grueso fue el que corresponde al tamaño máximo nominal, como se indica en la Tabla N° 3.

Tabla N° 3: Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL Aberturas cuadradas mm (pulg)	Cantidad mínima de la muestra de ensayo Kg (Lb)
9.50 mm (3/8")	1 (2)
12.5 mm (1/2")	2 (4)
19,0 mm (3/4")	5 (11)
25,0 mm (1")	10 (22)
37.5 mm (1 1/2")	15 (33)
50,0 mm (2")	20 (44)
63,0 mm (2 1/2")	35 (77)

Fuente: NTP 400.012-20013

- Procedimiento de ensayo

La muestra de agregado grueso y fino se colocó en la estufa a una temperatura de 110°C. Secada la muestra se colocó en la malla superior del juego de tamices, como especifica la norma y se realizó el tamizado mecánico con movimientos de vaivén. Luego, con la distribución granulométrica obtenida se determinó el módulo de fineza de cada agregado y se verificó los requerimientos de la norma NTP 400.037.

3.5.4. Tamaño máximo y tamaño máximo nominal del agregado grueso

Se calculó según lo que indica la norma NTP 400.037

3.5.5. Módulo de fineza para el agregado fino (m.f)

$$m.f = \left(\frac{\sum \%Ret. acum(N^{\circ}100, N^{\circ}50, N^{\circ}30, N^{\circ}16, N^{\circ}8, N^{\circ}4)}{100} \right) \dots \dots \dots (2)$$

3.5.6. Módulo de fineza para el agregado grueso (m.g)

$$m.g = [\sum \%Ret. acum \left(N^{\circ}4, 3/8", 3/4", 1 \frac{1}{2}" \right) + 500] / 100 \dots \dots \dots (3)$$

3.5.7. Material más fino que el tamiz N°200

Se siguió el procedimiento de la norma ASTM C117 o su equivalente la NTP 400.018

Tabla N° 4: Cantidad mínima de muestra para partículas menores al tamiz N° 200

Tamaño máximo nominal del agregado	Cantidad mín. (g)
4.75 mm (N° 4) o más pequeño	300
Mayor que 4.75 mm (N° 4) a 9.5 mm (3/8 pulg)	1000
Mayor que 9.5 mm (3/8 pulg) a 19 mm (3/4 pulg)	2500
Mayor a 19 mm (3/4 pulg)	5000

Fuente: NTP 400.018-2013

- Procedimiento de ensayo

De la tabla N°4 se eligió mínimo 300g de arena, luego se secó la muestra a peso constante a una temperatura de 110°C. Se registró el peso seco inicial (Wo) y se procedió

al lavado por el tamiz N° 200 (75 µm), la muestra retenida en el tamiz N°200 se la secó en la estufa durante 24 horas a una temperatura de 110°C y finalmente se registró el peso seco después del lavado (W1). Con los datos obtenidos se procedió al cálculo.

- **Fórmula**

$$F_{200} = \frac{(W_0 - W_1)}{W_0} * 100 \dots\dots\dots(4)$$

Donde:

- F₂₀₀ = Porcentaje de material que pasa el tamiz N° 200 por vía húmeda.
- W₀ = Peso seco de la muestra original (en g).
- W₁ = Peso Seco de la muestra después del lavado (en g).

3.5.8. Peso Específico y Absorción

Estas propiedades se determinaron de acuerdo a lo establecido en las normas NTP 400.021 y ASTM C 127 para el agregado grueso y la NTP 400.022 y ASTM C 128 para el agregado fino.

- **Procedimiento de ensayo**

- **Para el agregado grueso**

La cantidad de muestra se seleccionó como indica la tabla N°5, luego se procedió a lavar la muestra para eliminar el polvo y otras impurezas superficiales. Seguidamente se sumergió en agua a temperatura ambiente por un periodo de 24 horas.

Tabla N° 5: Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso para el ensayo de peso específico y absorción.

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL mm (pulg)	Cantidad mínima de muestra de ensayo Kg (Lb)
12.5 mm (1/2")	2
19,0 mm (3/4")	3
25,0 mm (1")	4
37.5 mm (1 1/2")	5
50,0 mm (2")	8
63,0 mm (2 1/2")	12

Fuente: NTP 400.021-2013

Luego, se extrajo la muestra y se la hizo rodar sobre un paño absorbente hasta desaparecer toda película de agua visible, en ese mismo instante, se registró el peso de la muestra en estado Saturado Superficialmente Seco (SSS), llamado peso B; seguidamente se llenó de agua un recipiente de volumen considerable y sobre este se adecuó la balanza. La balanza tenía un gancho de la cual se suspendió la cesta de alambre y se registró su peso sumergido en agua, luego se procedió a sumergir la cesta de alambre conteniendo la muestra de ensayo, con estos datos obtuvimos el peso de la muestra en estado SSS obteniendo de esta manera el peso C. Finalmente esta muestra se secó en la estufa a una temperatura de 110°C, con el que se registró el peso A.

- **Para el agregado fino**

Se procedió de acuerdo a los lineamientos de la norma NTP 400.022. Primero se seleccionó por el método del cuarteo 1000g de agregado fino, seguidamente se colocó en una bandeja y se puso a secar en la estufa a una temperatura constante de 110°C, después de haber secado la muestra se sumergió en agua durante 24 horas. Luego se extrajo la muestra, se extendió en una superficie plana expuesta a la corriente de aire tibio y se removió con frecuencia para garantizar un secado uniforme. Se continuó esta operación hasta que los granos de agregado fino no se adhieran marcadamente entre sí. Luego se colocó el agregado fino en el molde troncocónico, seguidamente se golpeó suavemente la superficie 25 veces con la varilla de metal y el resultado de ello fue que la muestra no se desmoronó, entonces, se removió la muestra unos minutos más y se repitió el ensayo, esta vez el material se desmoronó, es decir, el agregado fino alcanzó la condición de saturado con superficie seca (SSS).

Siguiendo el procedimiento, luego de la prueba del cono se introdujo inmediatamente en la fiola 500g del material en estado SSS, y se llenó de agua hasta antes de la marca de 500 cm³, seguidamente se eliminó las burbujas de aire haciendo rodar la fiola sobre una superficie plana, luego se dejó reposar por el lapso de 1 hora, pasado ese tiempo se llenó con agua hasta alcanzar la marca de 500 cm³, se determinó este peso y se extrajo el agregado fino de la fiola para secarlo en la estufa a una temperatura de 110°C finalmente se registró este peso seco de la muestra.

- **Fórmula para el agregado fino**

$$\text{Peso específico de masa} = \frac{W_o}{V-Va} \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{Peso específico sss} = \frac{500}{V-Va} \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{W_o}{(V-Va)-(500-W_o)} \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{Absorción} = \frac{500-W_o}{W_o} * 100 \dots\dots\dots (8)$$

Donde:

Wo: Peso en el aire de la muestra secada al horno (gr)

V: Volumen de la fiola (cm³)

Va: peso (gr) o volumen (cm³) del agua añadida a la fiola.

- **Fórmulas para el agregado grueso**

$$\text{Peso específico de masa} = \frac{A}{B-C} \dots\dots\dots (9)$$

$$\text{Peso específico sss} = \frac{B}{B-C} \dots\dots\dots (10)$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{A-C} \dots\dots\dots (11)$$

$$\text{Absorción} = \frac{B-A}{A} * 100 \dots\dots\dots (12)$$

Donde:

A: Peso en el aire de la muestra secada al horno (gr)

B: Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca (gr)

C: peso en el agua de la muestra saturada (gr)

3.5.9. Contenido de Humedad.

- **Procedimiento de ensayo**

Siguiendo el procedimiento descrito en la norma NTP 339.185 o su equivalente ASTM C566-2013, se tomó una muestra representativa de los agregados en su estado natural, es decir conteniendo un grado de humedad y se registró su peso, luego se llevó esta muestra

a la estufa, para secarla durante 24 horas a una temperatura de 110°C, finalmente se registró este peso seco y se determinó el contenido de humedad de la muestra.

- **Fórmula**

$$W = \frac{(M_h - M_s) * 100}{M_s} \dots\dots\dots(13)$$

Donde:

Mh = Peso de la muestra húmeda.

Ms = Peso de la muestra seca.

W = Porcentaje de humedad.

3.5.10. Peso Unitario

De acuerdo a las normas ASTM C29 y NTP 400.017, se determinó los pesos unitarios sueltos y compactados de los agregados fino y grueso.

3.5.10.1. Peso unitario suelto

- **Procedimiento**

A una altura no mayor de 5cm desde el borde superior del recipiente, se dejó caer la muestra del agregado hasta llenar el recipiente, luego se niveló la superficie del agregado sobrante empleando para ello la varilla metálica. Finalmente se registró los pesos del recipiente y del recipiente más el agregado.

3.5.10.2. Peso unitario compactado

- **Procedimiento**

Con un marcador se dividió al molde en 3 partes iguales, luego se procedió a llenar la primera capa de material hasta la primera marca (1/3) y se apisonó con 25 golpes empleando la varilla metálica, los golpes fueron uniformes de forma helicoidal partiendo de la parte externa y terminando en el centro. El mismo procedimiento se efectuó para la segunda (2/3) y tercera (3/3) capa. La última capa se llenó a sobre-volumen y el material sobrante se eliminó nivelando con la varilla. Finalmente, se registró los pesos del recipiente y del recipiente más agregado compactado.

- **Fórmulas para el cálculo del peso unitario de los agregados**

- **Peso específico del agua:** Calcular como sigue:

$$\delta w = \frac{W_2 - W_1}{V} \dots\dots\dots(14)$$

Donde:

δw = Peso específico del agua, en kg/m³

W_1 = Masa de la fiola, kg, W_2 = Masa del fiola y agua, kg

V = Volumen de la fiola hasta la línea de calibración, m³.

- **Calibración del recipiente:** Para ello calculamos el volumen del recipiente para poder calcular el peso específico del agua y luego con estos datos hallamos f:

✓ **Volumen del recipiente:** $V = \frac{(\pi * \phi^2)}{4} * H \dots\dots\dots(15)$

✓ **Factor “f”:** $f = \frac{\delta w}{W_a} \dots\dots\dots (16)$

Donde:

V = Volumen del recipiente, m³, f = Factor para el recipiente, m³,

H = Altura del recipiente, en m, ϕ = Diámetro del recipiente, en m

δw = Peso específico del agua, en Kg/m³

W_a = Peso del agua para llenar el recipiente a 16.7°C, en Kg

- **Peso Unitario del agregado:**

$$PU = W_n \times f \dots\dots\dots(17)$$

Donde:

PU = El peso unitario del agregado, kg/m³

W_n = Peso neto del agregado, kg

f = Factor para el recipiente, m⁻³

3.5.11. Resistencia al desgaste o abrasión del agregado:

Este ensayo se realizó como indica las normas ASTM C 131 y NTP 400.019.

- Procedimiento de ensayo

La muestra de ensayo se lavó para eliminar finos y luego se llevó a la estufa a una temperatura de 110°C. Después de haber lavado y secado el agregado, se seleccionó el número de esferas (carga abrasiva) de acuerdo a la tabla N°6, luego se colocó en la máquina de los Ángeles la muestra de agregado grueso (5000g) y las 11 esferas.

Tabla N° 6: Carga abrasiva según tipo de gradación del material

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

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 400.019-2014

Teniendo todo listo se accionó la máquina para que gire a 500 revoluciones a una velocidad de 30 a 33 r.p.m., luego se descargó el material de la máquina y se retiró las esferas. Seguidamente se hizo el proceso siguiente:

- Se realizó una separación preliminar del material, tamizando el agregado por el tamiz N°4, el material que pasó se lo tamizó por el tamiz N°12. Luego, se mezclaron los materiales retenidos en el tamiz N°4 y N°12.
- El material retenido total se lo lavó para quitarle los finos adheridos a las partículas. Luego, se colocó en la estufa a una temperatura de 110° C y por un periodo de 24 horas.
- Finalmente se registró el peso seco del material.

- Fórmula

$$\% \text{ Abrasión} = \frac{(W_o - W_f) * 100}{W_o} \dots\dots\dots(18)$$

Donde:

W_o: Peso original de la muestra antes de ensayar (gr).

W_f: Peso final de la muestra después del ensayo (gr)

3.6. COMPONENTES DE LA PASTA

3.6.1. Cemento

El cemento que se utilizó en esta investigación es el cemento Portland tipo I de la empresa cementera Pacasmayo

3.6.2. Agua

El agua que se utilizó en esta investigación, para la elaboración y curado de los especímenes de concreto fue del suministro de la Universidad Nacional de Cajamarca.

3.7. DISEÑO DE MEZCLA PARA EL CONCRETO DE $f'c=300\text{Kg/cm}^2$

3.7.1. Procedimiento para el diseño de mezclas

El método de diseño de mezclas para esta investigación fue el “Módulo de Finura de la Combinación de los Agregados”.

En este método de diseño se consideró las tablas empleadas por el comité 211 del ACI, para la determinación de las cantidades de agregado fino y grueso se basa en los módulos de finura de cada uno de los agregados mencionados.

El diseño de mezclas, se realizó para un concreto de $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$, utilizando cemento Pacasmayo Tipo I, agregados de Tartar - Baños del Inca y de Chilete, y el agua potable de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Los pasos del diseño de mezcla realizado según el método antes mencionado es:

1° Selección de la resistencia a la compresión promedio requerida ($f'cr$), para alcanzar la resistencia mínima especificada ($f'c$). Debido a que se desconoció el valor de la desviación estándar por no tener ensayos previos, es que se utilizó la **Tabla N° 8 [Anexo N°2]**.

2° Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso (TMN = 3/4").

3° Selección del asentamiento, se eligió una consistencia plástica tomando como referencia la **Tabla N° 9 [Anexo N°2]**.

4° Determinación del volumen de agua. Se utilizó la **Tabla N°10 [Anexo N°2]**. En la elección se tuvo en cuenta el TMN del agregado grueso, la consistencia de la mezcla y el concreto sin aire incorporado.

5° Se determinó el contenido de aire atrapado. Se utilizó la **Tabla N°11 [Anexo N°2]**.

6° Selección de la relación Agua – Cemento (A/C) requerida para obtener la resistencia deseada. Se utilizó la **Tabla N° 12 y N°13 [Anexo N°2]**. Para este diseño se consideró diseñar por durabilidad, por lo que se escogió de la tabla N°12 la relación A/C igual a 0.50.

7° Cálculo del contenido de cemento. Esta cantidad se obtuvo por unidad cúbica de concreto en función de la relación agua/cemento (A/C) seleccionada y del volumen de agua en Lt. Con esos valores se determinó el factor cemento en las unidades de bls/m³.

$$\text{Factor cemento} = \frac{\text{volumen unitario de agua}}{42.5 * \text{relacion A/C}} \dots\dots\dots(19)$$

8° Cálculo de los volúmenes absolutos de la pasta. Se obtuvo dividiendo los pesos específicos de los componentes de la pasta entre su cantidad por m³.

9° Volumen absoluto de los agregados. Se calculó por la diferencia entre 1m³ de concreto y el volumen de la pasta.

10° Módulo de fineza de la combinación de agregados (mc). Para encontrar el valor de “mc”, se ingresó a la **Tabla N° 14 [Anexo N°2]**, con el número de bolsas de cemento por metro cúbico (factor cemento) y el TMN del agregado grueso. También se hizo la corrección por contenido de vacíos en el agregado grueso (comentario Tabla N°14)

11° Cálculo del porcentaje de agregado fino (rf). Se calculó como el cociente de la diferencia del módulo de fineza del agregado grueso y el de la combinación de agregados, con la diferencia de los módulos de fineza del agregado grueso y fino.

Luego, el porcentaje del agregado grueso se calculó por simple diferencia respecto del 100% que representa la cantidad total de agregados.

12° Cálculo de los volúmenes absolutos de los agregados. Se obtuvo al multiplicar los porcentajes hallados de cada agregado al volumen total de los agregados.

13° Peso de los materiales de diseño por m³. Se calculó multiplicando el peso específico de masa de cada uno de los agregados por su respectivo volumen absoluto.

14° Corrección del diseño por el aporte de humedad de los agregados.

- ✓ **Humedad superficial de los agregados:** Se obtuvo por la diferencia de porcentajes de la humedad y la absorción de los agregados.

- ✓ **Aporte de la humedad de los agregados:** Se calculó multiplicando la humedad superficial del agregado y su peso seco.

15° Presentación del diseño de mezcla por m³ en estado húmedo. En este nivel se colocaron los nuevos valores calculados de los agregados afectados por su respectiva humedad y la cantidad de agua de diseño que se modificaron según la cantidad de humedad y absorción de los mismos.

El agua de diseño al ser afectada por el aporte de humedad de los agregados recibe el nombre de agua efectiva.

16° Proporción en peso de obra. Se obtuvo dividiendo a las cantidades del ítem anterior por el peso del cemento.

17° Conversión del peso de obra a volumen equivalente.

- ✓ **Peso unitario de los agregados:** Se obtuvo al convertir cada peso unitario suelto de los agregados en peso unitario suelto en estado húmedo.
- ✓ **Peso por pie cúbico:** Se convirtió las cantidades unitarias en peso por pie cúbico. Para ello fue necesario tener en cuenta que el volumen de una bolsa de cemento se consideró 1pie³, además 1m³ equivale a 35.3147 pie³.
- ✓ **Dosificación en volumen equivalente.** Finalmente, los valores de la proporción en peso se multiplicaron por 42.5 y se lo dividió entre sus pesos por pie cúbico, dando como resultado la proporción en volumen. Impermeable

3.8. AJUSTE DE MEZCLAS DEL CONCRETO PATRÓN DE $f'c=300\text{Kg/cm}^2$

Con los datos obtenidos en el diseño de mezclas, se elaboró una mezcla de prueba, de esta se obtuvo las características, con las que se realizó el ajuste de mezclas.

3.8.1. AJUSTE POR LAS CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA

3.8.1.1. Procedimiento del ajuste por las características de la mezcla

1° Volumen absoluto de la pasta: Se tomó del cálculo del diseño de mezcla original.

2° Volúmenes absolutos de los agregados: Se tomó del cálculo del diseño de mezcla original.

3° *Peso específico de la mezcla:* Se calculó con los volúmenes absolutos de los materiales con sus respectivos pesos específicos de masa saturados superficialmente secos.

4° *Tanda de mezclado:* Se calculó el peso de la colada como la sumatoria de los materiales húmedos necesarios para una tanda de 0.02m^3 .

5° *Datos obtenidos en laboratorio:* Aquí se anotaron las características de la mezcla, obtenidas luego de su elaboración, estas fueron:

- ✓ ***Apariencia:*** gravosa o arenosa
- ✓ ***Slump:*** Asentamiento de la mezcla respecto de su altura inicial.
- ✓ ***Agua adicional:*** Agua que le faltó a la mezcla.
- ✓ ***Peso específico de la mezcla:*** Se calculó en el procedimiento anterior.
- ✓ ***Peso Unitario del Concreto Fresco:*** Se obtuvo de la división entre el peso de la mezcla y el volumen que ocupaba ésta.
- ✓ ***% de vacíos teórico:*** Se obtuvo como la diferencia entre las dos últimas características respecto al peso específico de la mezcla.
- ✓ ***% de vacíos práctico (olla de Washington):*** Se obtuvo en base a la normativa NTP 339.083, el cual determina el contenido de aire de mezcla del concreto por el método de presión, haciendo uso para ello la olla de Washington.

6° *Rendimiento:* Se calculó dividiendo el peso de la colada y el peso unitario del concreto fresco.

7° *Agua de mezclado por tanda:* Se calculó como la sumatoria de los aportes de humedad de los agregados correspondientes a una tanda, el agua adicional y el agua efectiva.

8° *Agua de mezclado por m^3 , corrección por agua adicional:* Se calculó dividiendo el agua de mezclado por tanda entre el rendimiento de la tanda.

9° *Corrección por el asentamiento del concreto:* En la mezcla de prueba realizada se disminuyó el asentamiento por lo que se tuvo que disminuir el agua 2 lt por cm.

10° *Agua de mezclado por m^3 , corrección por asentamiento:* Se calculó como la sumatoria de la corrección por agua adicional y el agua disminuida por el asentamiento de la mezcla del concreto.

11° Agua de mezclado por m³, corrección por contenido de aire: Por cada 1 % en el contenido de aire que se necesitó disminuir se incrementó 3 Lt de agua. Esta agua obtenida se sumó con la obtenida en el ítem anterior.

12° Corrección por apariencia de la mezcla: La mezcla fue gravosa entonces se disminuyó 10% del agregado grueso.

13° Nuevos Materiales de Diseño: Aquí se resumió cantidad de materiales en estado seco por metro cúbico.

14° Materiales secos, por tanda: Aquí se calcularon materiales para la elaboración de tres especímenes de concreto, por lo que a los materiales de diseño calculados en el ítem anterior se los afectó por 0.02m³.

3.9. ADICIÓN DEL ADITIVO SIKA CEM IMPERMEABLE AL AJUSTE DEL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO.

3.9.1. Procedimiento del diseño de mezcla con aditivo Sika Cem Impermeable.

Para esta investigación se consideró diseñar con el aditivo Sika Cem Impermeable en los porcentajes 0.96%, 1.92% y 2.88%. Estos porcentajes fueron hallados de acuerdo a lo que indica las especificaciones técnicas del aditivo. Luego se procedió al diseño de mezclas como se indica a continuación:

1° Volúmenes absolutos de los materiales de diseño: Se calculó dividiendo los materiales de diseño obtenidos en el ajuste de mezclas entre su peso específico.

2° Volúmenes absolutos de materiales de diseño con X% de Sika Cem Impermeable:
(X% es 0.96, 1.92 ó 2.88%)

- ✓ **Sika Cem Impermeable:** Se calculó multiplicando el porcentaje del aditivo por el peso del cemento y dividiéndolo entre el peso específico del aditivo.
- ✓ **Nueva agua de diseño:** Se obtuvo por la diferencia del volumen del agua de diseño y del volumen de Sika Cem Impermeable.

4° Porcentaje de Agregados de diseño: Se calculó como el volumen de uno de los agregados fino o grueso sobre el volumen total de los agregados.

5° Volúmenes absolutos de los materiales de diseño con X% de Sika Cem Impermeable: Se agruparon los volúmenes de los componentes de la mezcla ya calculados y también se aplicó el porcentaje de cada uno de los agregados al volumen total de estos.

6° Diseño de mezcla con X% de Sika Cem Impermeable: Se calculó multiplicando cada uno de los volúmenes de los componentes de la mezcla y su peso específico.

7° Corrección del diseño por humedad de los materiales corregidos por resistencia:

- ✓ **Humedad superficial de los componentes:** Se obtuvo como la diferencia de los porcentajes de la humedad y la absorción de los agregados fino y grueso.
- ✓ **Aporte de humedad de los componentes:** Se calculó como el producto del porcentaje de humedad superficial y el peso de cada uno de los agregados.
- ✓ **Agua Efectiva:** Se calculó como la diferencia del agua de diseño y el aporte total de humedad de los agregados.
- ✓ **Materiales de diseño húmedos con X% de Sika Cem Impermeable:** Se tomaron los valores ya calculados como el cemento, el agua efectiva y el aditivo, y los agregados secos se multiplicaron por su humedad.

3.10. PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO CON ADITIVO

SIKA CEM IMPERMEABLE

3.10.1. PERMEABILIDAD

Este ensayo tiene por finalidad determinar la permeabilidad de un concreto con aditivo Sika Cem Impermeable y compararlo con la permeabilidad de un concreto normal.

Los límites de permeabilidad del concreto establecido por la norma colombiana NTC 4483-1998, son los que se muestran en la Tabla N°7

Tabla N° 7: Clasificación de la permeabilidad del concreto según la NTC 4483

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

Fuente: NTC 4483-1998

- Selección de equipo y materiales

Para este ensayo se utilizó un permeámetro de carga variable que constaba de un tubo de PVC de diámetro 2" y altura promedio de 1.65m, el cual sirvió para inyectar la carga de agua a la muestra de ensayo, este tubo de carga va conectado a una campana (reducción) de PVC de 4" x 2", en la cual se ingresó la muestra de ensayo. Para este ensayo también se utilizaron una pistola de silicona, una wincha, un cronómetro y una libreta de apuntes.

- Preparación de la muestra

Las muestras de ensayo son especímenes cilíndricos de concreto de diámetro 4" (10 cm) y altura 10cm (4"). Antes de iniciar el ensayo se cuidó que la muestra debe estar en estado Saturado Superficialmente Seco (SSS).

Los especímenes de concreto se distribuyeron de la siguiente manera:

Cuadro N° 1: Muestreo para ensayo de permeabilidad

Días de curado	N° de especímenes de concreto				Total
	C° Normal	C°+0-96%	C°+1.92%	C°+2.88%	
7d	3	3	3	3	12
14d	3	3	3	3	12
28d	3	3	3	3	12
N° Total de muestras de ensayo					36

- Procedimiento de ensayo

El procedimiento que se detalla a continuación fue una adaptación del método empleado en mecánica de suelos para evaluar la permeabilidad de suelos finos, en el que se utilizó un permeámetro de carga variable. Para este ensayo se utilizó un tubo de PVC de diámetro 2" y altura promedio de 1.65m, el cual sirvió para inyectar la carga de agua a la

muestra de ensayo, este tubo de carga va conectado a una campana (reducción) de PVC de 4" x 2", en la cual se ingresó la muestra de ensayo. A continuación se detallan los procesos:

1° Sellado de la muestra: Con una pistola de silicona se selló el límite de unión en el que el tubo de PVC de 4" moldea a la muestra de concreto, de esta manera se evitó que el agua filtre por las partes laterales en la unión del concreto con el molde de PVC.

2° Colocación de la muestra en el permeámetro: Se colocó la muestra SSS dentro de la campana del permeámetro, luego se procedió a sellar las uniones con silicona caliente. Este sellado final se realizó para evitar la más mínima fuga de agua.

3° Ubicación del permeámetro: Teniendo todo el equipo listo, se colocó el permeámetro sobre un balde apoyado sobre dos varillas de fierro y luego se ingresó el agua por el tubo de carga hasta una marca inicial (H_0). Luego con la ayuda de un cronómetro se midió el tiempo (t) que descendió el agua hasta una altura (H_f), este procedimiento se realizó para diferentes tiempos en horas.

3° Evaporación del agua: La parte superior del permeámetro quedó expuesta al medio ambiente por lo que se consideró determinar la evaporación, para lo cual se hicieron varios ensayos en un recipiente del mismo material de PVC, los resultados de ésta se muestran en el cuadro N°32. La evaporación se lo convirtió en altura equivalente de carga y se lo sumó a la altura H_{f1} para obtener la altura final H_{f2} , con esta última altura y la inicial se calculó la permeabilidad del concreto como se muestran en los cuadros de resultados desde el N°33 al N°56.

4° Restricción de la evaporación: En los últimos ensayos de 28 días de curado se consideró conveniente eliminar este factor como es la evaporación, para lo cual se cubrió la parte superior del permeámetro con un bolsa plástica arrojando los resultados que se muestran en los cuadros desde el N°57 al N°64.

5° Número de ensayos: Para cada muestra de concreto se realizaron 12 ensayos como se muestra a continuación:

- **Ensayo por día (repetitivo):** Cada muestra se ensayó durante seis días, el registro de datos se tomó cada 24 horas. Cada día se volvía a llenar de agua hasta la altura inicial y se registraba una altura final diferente cada día.
- **Ensayo por días acumulados:** Las mismas muestras se siguieron ensayando por 6 días más y se tomaron lecturas acumulativas cada 24 horas. Aquí se trabajó con

una única altura inicial para diferentes alturas finales acumulativas durante los seis días de ensayo.

- **Fórmula para el cálculo de la permeabilidad (Ley de Darcy)**

$$K = \frac{2.3 * a * L}{A * \Delta t} * \text{Log} \left(\frac{Hi}{Ht} \right) \quad \dots \dots \dots (20)$$

Donde:

K: Coeficiente de permeabilidad, en m/s.

a: Sección del tubo de carga.

A: Sección de la muestra de ensayo.

L: altura de la muestra de ensayo, en m.

Hi: Altura de carga de agua inicial.

Ht: Altura de carga de agua final en un tiempo t.

Δt: Intervalo de tiempo desde la carga de agua inicial a la final, en s.

Los parámetros a y A; así como, Hi y Ht deberán ser medidos y calculados en las mismas unidades de medida.

- **Fórmulas para el cálculo de la evaporación del agua**

$$V_{AE} = \frac{W_o - W_f}{Pe_{H2O}}; \quad \Delta He_{TCP} = \frac{V_{AE}}{S_{TCP}} \quad \dots \dots \dots (21)$$

Donde:

Wo: Peso inicial de agua

Wf: Peso final de agua (después de 24 horas)

W_{AE}: Peso de agua evaporada

V_{AE}: Volumen de agua evaporada

ΔHe_{TCP}: Altura equivalente de agua evaporada en el tubo de carga del Permeámetro.

ΔS_{TCP}: Sección del tubo de carga del Permeámetro.

3.10.2. POROSIDAD

- Preparación de la muestra

Las muestras de ensayo fueron especímenes de concreto en estado SSS de 4"x4" y 6"x12" y se tomaron del total de las muestras la mitad para cada tipo.

Cuadro N° 2: Muestreo para ensayos de porosidad

Dimensiones	N° de especímenes de concreto				Total
	C° Normal	C°+0-96%	C°+1.92%	C°+2.88%	
4"x4"	3	3	3	3	12
6"x12"	3	3	3	3	12
N° Total de muestras de ensayo					24

- Procedimiento de ensayo

Se pesó las muestras de ensayo en estado SSS y se calculó su volumen aparente. Luego, se las ingresó a la estufa durante 24 horas. Finalmente se registró el peso seco de las muestras de 4"x4" y 6"x12", de las cuales se tomó un promedio.

- Fórmula para el cálculo de la porosidad

$$Pr = \frac{(W_{SSS} - W_o)}{\gamma_w * V} * 100\% \quad \dots \dots \dots (22)$$

Donde:

Pr = Porosidad del espécimen de concreto, en %

V = Volumen aparente de la muestra de ensayo, m³

γ_w = Peso específico del agua, igual a 991Kg/m³

W_{SSS} = Peso de la muestra en estado SSS

W_o = Peso seco de la muestra

3.10.3. ABSORCIÓN

- Preparación de la muestra

Las muestras de ensayo fueron especímenes de concreto en estado SSS de 4"x4" y 6"x12" y se tomaron del total de las muestras la mitad para cada tipo.

Cuadro N° 3: Muestreo para ensayo de absorción

Dimensiones	N° de especímenes de concreto				Total
	C° Normal	C°+0-96%	C°+1.92%	C°+2.88%	
4"x4"	3	3	3	3	12
6"x12"	3	3	3	3	12
N° Total de muestras de ensayo					24

- Procedimiento de ensayo

La prueba de absorción se llevó a cabo sumergiendo los especímenes de concreto durante 48hrs, luego se las secó hasta el estado saturado superficialmente seco (SSS) seguidamente se registró su peso y se las ingresó a la estufa a una temperatura de 105 °C. Finalmente se registró su peso seco.

- Fórmula para el cálculo de la absorción

$$\text{Abs} = \frac{(W_{SSS} - W_o)}{W_o} * 100\% \quad \dots\dots\dots(23)$$

Donde:

Abs = Absorción del espécimen de concreto, en %

W_{SSS} = Peso de la muestra en estado SSS

W₀ = Peso seco de la muestra

3.10.4. RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN Y FLEXIÓN

- Selección de equipo

- Máquina Universal de compresión y flexión
- Deformímetro, wincha, cronómetro.

- Preparación de la muestra

Se fabricó especímenes cilíndricos de concreto de 6"x12" y prismáticos de 0.15mx0.15mx0.50m con los tiempos de curado y dosificaciones siguientes.

Cuadro N° 4: Muestreo para el ensayo a compresión

Días de curado	N° de especímenes de concreto cilíndricos				Total
	C° Normal	C°+0-96%	C°+1.92%	C°+2.88%	
7d	5	5	5	5	20
14d	5	5	5	5	20
28d	5	5	5	5	20
N° Total de muestras de ensayo					60

Cuadro N° 5: Muestreo para el ensayo a flexión

Días de curado	N° de especímenes de concreto cilíndricos				Total
	C° Normal	C°+0-96%	C°+1.92%	C°+2.88%	
7d	5	5	5	5	20
14d	5	5	5	5	20
28d	5	5	5	5	20
N° Total de muestras de ensayo					60

- Procedimiento de ensayo

Los especímenes cilíndricos se ensayaron en la máquina de compresión y los especímenes prismáticos en la máquina de flexión. Se midió la sección y con la carga que resistió en toneladas se calculó su resistencia tanto a compresión como a flexión.

- **Fórmula para la resistencia a compresión**

$$f'_c = \frac{1000 * P}{A} \dots \dots \dots (24)$$

Donde:

f'_c = Esfuerzo a la compresión del espécimen de concreto, en Kg/cm²

P = Carga aplicada hasta la rotura, en Tn

A = Sección del espécimen cilíndrico, en cm².

- **Fórmula para la resistencia a flexión**

$$f'_T = \frac{3P * L}{2b * h^2} \dots \dots \dots (25)$$

Donde:

f'_T = Esfuerzo a la flexión del espécimen de concreto, en Kg/cm²

P = Carga máxima aplicada (kg).

L = Luz de ensayo de la probeta (cm).

b = Ancho promedio de la probeta en la sección de rotura (cm).

h = Altura promedio de la probeta en la sección de rotura (cm).

3.10.5. MÓDULO DE ELASTICIDAD

- *Según el Instituto Americano del Concreto:*

- **ACI-318M-02:**

$$E_{c^{\circ}} = w_c^{1.5} * .043 * \sqrt{f'_c} \text{ (en MPa)} \dots \dots (26)$$

Donde:

w_c es el peso unitario del concreto (Kg/cm²)

f'_c es la resistencia a la compresión del concreto (MPa)

- Según la norma peruana E-060

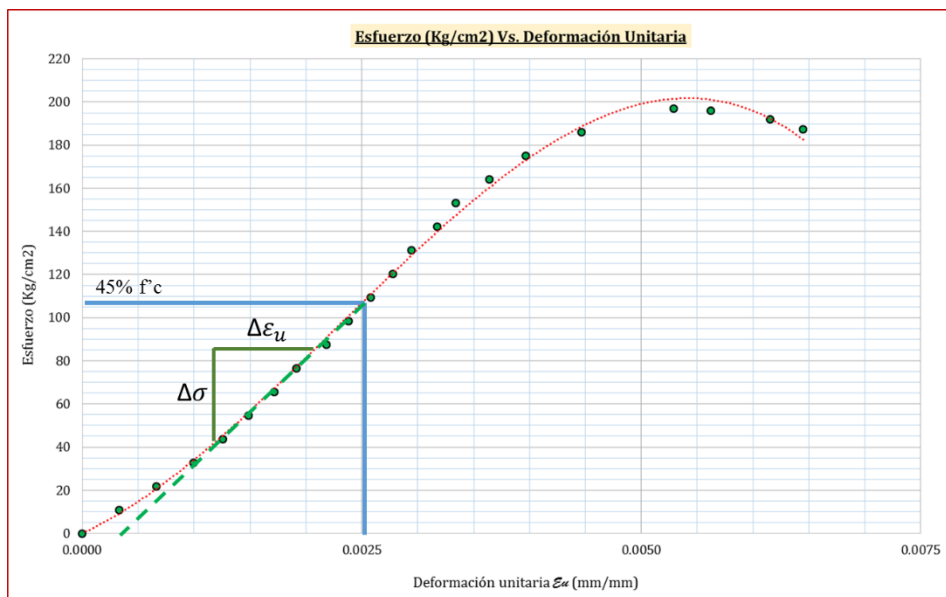
$$E_{c^{\circ}} = 15000 \sqrt{f'_{c}} \quad (\text{en Kg/cm}^2) \quad .. (27)$$

Donde:

f'_{c} es la resistencia a la compresión del concreto (Kg/cm²)

- **Método Gráfico:** El módulo de elasticidad se midió por la recta tangente que se traza en la curva esfuerzo deformación desde el 45% de esfuerzo a compresión hacia el origen de coordenadas.

Imagen N° 4: Esfuerzo deformación unitaria del concreto



Fuente: Osorio, G. (2011).

La fórmula para calcular el módulo de elasticidad es el siguiente:

$$E_{c^{\circ}} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon_u} \quad (\text{en Kg/cm}^2) \quad .. (28)$$

Donde:

$\Delta\sigma$ ó f'_{c} es el esfuerzo o resistencia a la compresión del concreto (Kg/cm²)

$\Delta\varepsilon_u$ es la deformación unitaria del concreto (Adimensional)

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. RESULTADOS GENERALES DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS Y DE LOS ESPECÍMENES DE CONCRETO.

Cuadro N° 6: Propiedades del agregado fino y grueso

PROPIEDADES	AGREGADO	
	FINO	GRUESO
Peso unitario suelto seco (kg/m ³)	1657.28	1372.70
Peso unitario seco compactado (kg/m ³)	1768.85	1487.60
Peso específico de masa (Pem : gr/cm ³)	2.626	2.611
Peso específico de masa S.S.S. (Pem _{sss} : gr/cm ³)	2.657	2.638
Peso específico Aparente (Pea : gr/cm ³)	2.712	2.682
Absorción (%)	1.21	1.01
Contenido de Humedad (%)	2.03	0.63
Módulo de Finura	3.09	7.041
Partículas Menores del Tamiz N° 200	2.73 %	0.43 %
Tamaño máximo Nominal (Pulg.)	-	3/4"
Perfil del Agregado	-	Angular
Abrasión (%)	-	28.76

Del cuadro N°6, se verifica que:

- El módulo de finura del agregado fino está dentro de los límites establecidos por la norma ASTM C-33-03 ($2.3 < 3.09 < 3.1$).
- El porcentaje de las partículas menores que el tamiz N° 200 están dentro de lo que especifica la norma ASTM C 33-03; es decir, cumple para el agregado fino ($2.73\% < 3\%$) y para el agregado grueso ($0.43\% < 1\%$).
- La pérdida por abrasión del agregado grueso está dentro del límite establecido por la norma NTP 339.019 ($10\% < 28.76\% < 45\%$).

Cuadro N° 7: Propiedades físico-mecánicas del concreto patrón y del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88%

PROPIEDADES		ESPECÍMENES DE CONCRETO			
		C° Patrón	C°+0.96%	C°+1.92%	C°+2.88%
Permeabilidad (m/s)		2.46E-09	1.85E-10	1.79E-10	1.80E-10
Porosidad (%)		14.14	7.58	7.46	7.11
Absorción (%)		6.09	3.17	3.12	2.99
Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)		365.45	428.24	433.19	454.20
Resistencia a la flexión (Kg/cm ²)		59.47	66.53	66.42	67.16
Módulo de Elasticidad "Ec" (Kg/cm ²)	NORMA E.060	286734.38	310391.91	312193.01	319667.48
	ACI 318M-02	300090.04	331004.66	330279.62	340371.52
	GRÁFICA	64745.60	66103.20	68680.40	62662.00

Del cuadro N°7, se verifica que:

- La porosidad del concreto patrón calculada en esta investigación (14.14%) es similar a la porosidad del concreto para relación agua/cemento 0.50 estudiada en la tesis de la PUCP - Iskra, 2017.
- La absorción se puede ver en cualquiera de los casos que es aproximadamente el 50% de la porosidad.
- La permeabilidad del concreto patrón, está en el orden de 10^{-9} , siendo disminuida por el aditivo a 10^{-10} . Haciendo un análisis de los resultados obtenidos con la fórmula de Valenta en las tesis hechas en la PUCP - Iskra, 2017 y en la UNC – Sota, 2017, estos valores de permeabilidad calculados deberían de estar en el orden de 10^{-13} y 10^{-14} respectivamente. La razón por la que los valores no son los esperados se atribuye al método empleado para el cálculo de la permeabilidad, en este caso el uso del permeámetro de carga variable aplicando la Ley de Darcy.
- La resistencia a la compresión del concreto patrón es menor que la resistencia requerida pero mayor a la de diseño por lo que se considera adecuada. El aditivo hace crecer esta resistencia a la compresión hasta un 17% y 24% respecto de la resistencia del concreto patrón.
- Los módulos de elasticidad crecen a medida que aumentan las resistencias a compresión de cada tipo de muestras. Los valores hallados se ajustan a lo establecido por el ACI-318M-02.

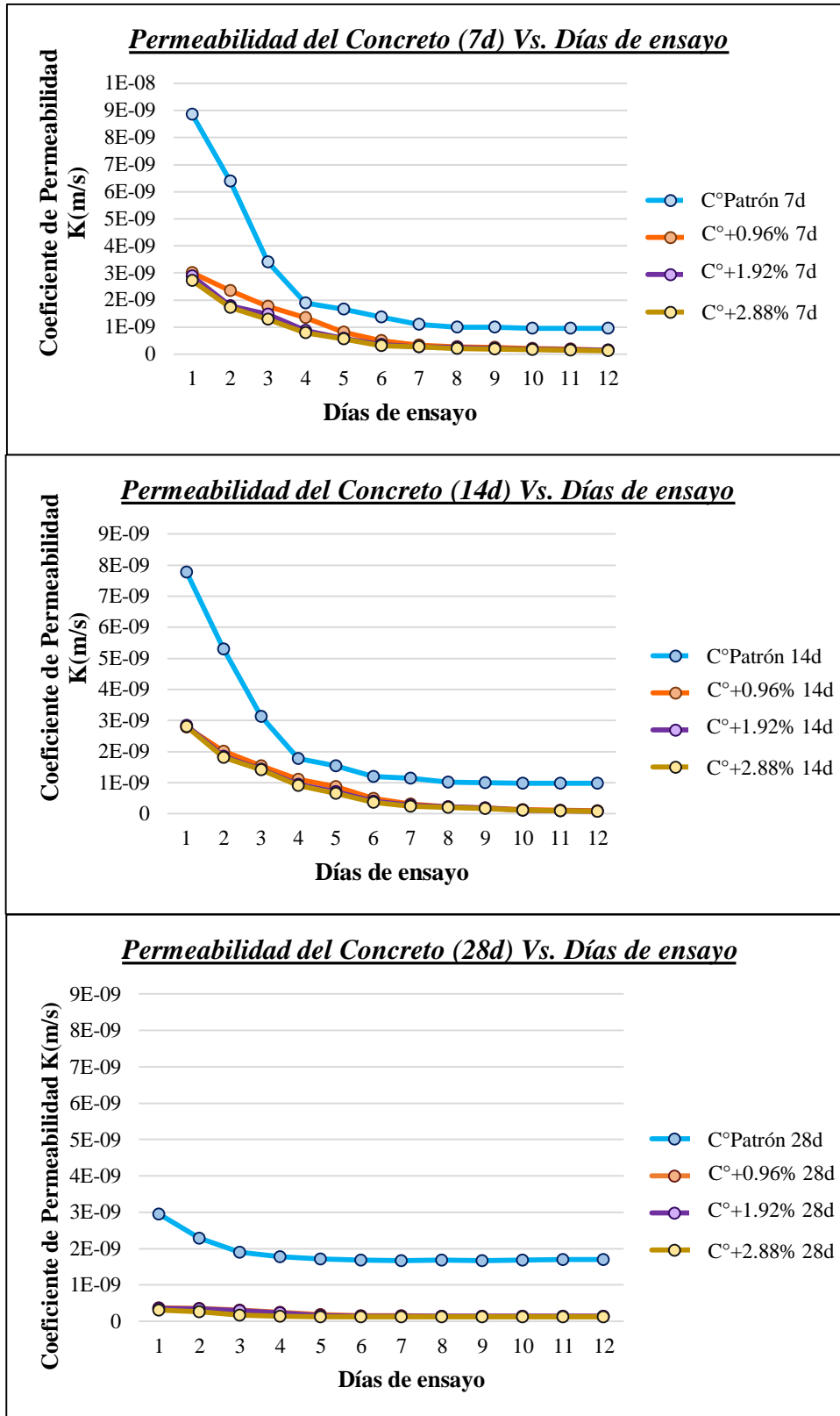
4.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL CONCRETO

4.2.1. Análisis de los resultados de la permeabilidad del concreto

Cuadro N° 8: Coeficiente de permeabilidad del concreto en m/s, a 7, 14 y 28 días de curado, para las cantidades de aditivo Sika Cem Impermeable de 0.96%, 1.92% y 2.88%

Días de ensayo	C°Patrón 7días	C°Patrón 14días	C°Patrón 28días	C°+0.96% 7días	C°+0.96% 14días	C°+0.96% 28días	C°+1.92% 7días	C°+1.92% 14días	C°+1.92% 28días	C°+2.88% 7días	C°+2.88% 14días	C°+2.88% 28días
1	8.85E-09	7.77E-09	2.96E-09	3.01E-09	2.78E-09	3.76E-10	2.88E-09	2.84E-09	3.60E-10	2.71E-09	2.81E-09	3.15E-10
2	6.39E-09	5.30E-09	2.28E-09	2.35E-09	2.01E-09	3.59E-10	1.79E-09	1.86E-09	3.43E-10	1.72E-09	1.81E-09	2.63E-10
3	3.40E-09	3.13E-09	1.90E-09	1.77E-09	1.54E-09	3.08E-10	1.48E-09	1.43E-09	2.92E-10	1.28E-09	1.42E-09	1.75E-10
4	1.90E-09	1.77E-09	1.77E-09	1.35E-09	1.11E-09	2.56E-10	8.76E-10	9.44E-10	2.40E-10	7.89E-10	9.12E-10	1.40E-10
5	1.67E-09	1.54E-09	1.72E-09	8.04E-10	8.73E-10	1.88E-10	5.83E-10	7.04E-10	1.54E-10	5.61E-10	6.48E-10	1.23E-10
6	1.37E-09	1.19E-09	1.69E-09	4.96E-10	4.96E-10	1.54E-10	3.60E-10	4.12E-10	1.37E-10	3.15E-10	3.68E-10	1.23E-10
7	1.10E-09	1.14E-09	1.67E-09	3.42E-10	3.08E-10	1.54E-10	2.74E-10	2.74E-10	1.37E-10	2.63E-10	2.45E-10	1.23E-10
8	1.00E-09	1.02E-09	1.68E-09	2.74E-10	2.31E-10	1.45E-10	2.40E-10	2.32E-10	1.37E-10	2.10E-10	2.10E-10	1.31E-10
9	9.91E-10	1.00E-09	1.68E-09	2.40E-10	1.94E-10	1.48E-10	2.17E-10	1.83E-10	1.43E-10	1.81E-10	1.75E-10	1.28E-10
10	9.65E-10	9.87E-10	1.69E-09	2.10E-10	1.24E-10	1.45E-10	1.93E-10	1.16E-10	1.42E-10	1.67E-10	1.23E-10	1.27E-10
11	9.64E-10	9.78E-10	1.70E-09	1.81E-10	1.09E-10	1.44E-10	1.68E-10	1.03E-10	1.41E-10	1.47E-10	1.02E-10	1.23E-10
12	9.64E-10	9.79E-10	1.70E-09	1.54E-10	9.41E-11	1.48E-10	1.43E-10	8.01E-11	1.40E-10	1.34E-10	8.18E-11	1.26E-10

Gráfico N° 1: Permeabilidad del concreto patrón y del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%,1.92% y 2.88%; a los 7, 14 y 28 días de curado.



Del Cuadro N°8 y el Gráfico N°1 se observa que:

- En el primer día de ensayo, el coeficiente de permeabilidad (K) del concreto patrón a los 28 días de curado, tiene valores similares al coeficiente de permeabilidad a los 7 y 14 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88%.
- Del gráfico N°1 se puede apreciar que la diferencia de permeabilidades del concreto patrón y del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88% a los 7, 14 y 28 días de curado se mantiene constantes a partir del cuarto día de ensayo; esto puede explicarse desde el punto de vista de la hidratación de las partículas del gel cemento, donde las muestras de 7 y 14 días de curado aún siguen el proceso de hidratación y con mayor medida que la muestras de 28 días de curado. Pues al ensayar en el permeámetro de carga variable, las muestra de 7 y 14 días de curado, con una columna de agua de 1.65m hace que el proceso de hidratación se acelere por la misma presión que esta columna de agua ejerce sobre la muestra ensayada.

A continuación se muestran resultados por el tipo de muestra, ensayados a diferentes dias de curado.

Gráfico N° 2: Permeabilidad del concreto patrón a 7, 14 y 28 días de curado.

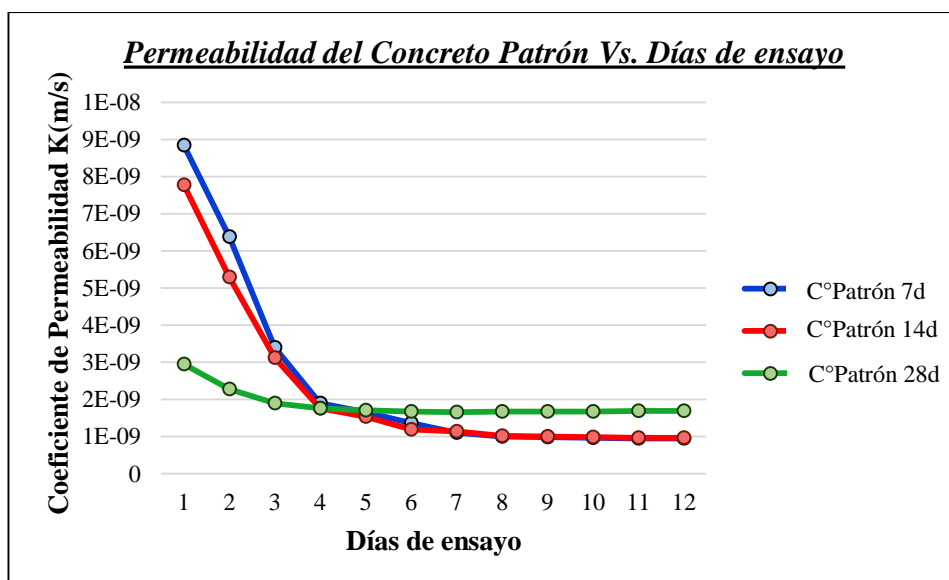
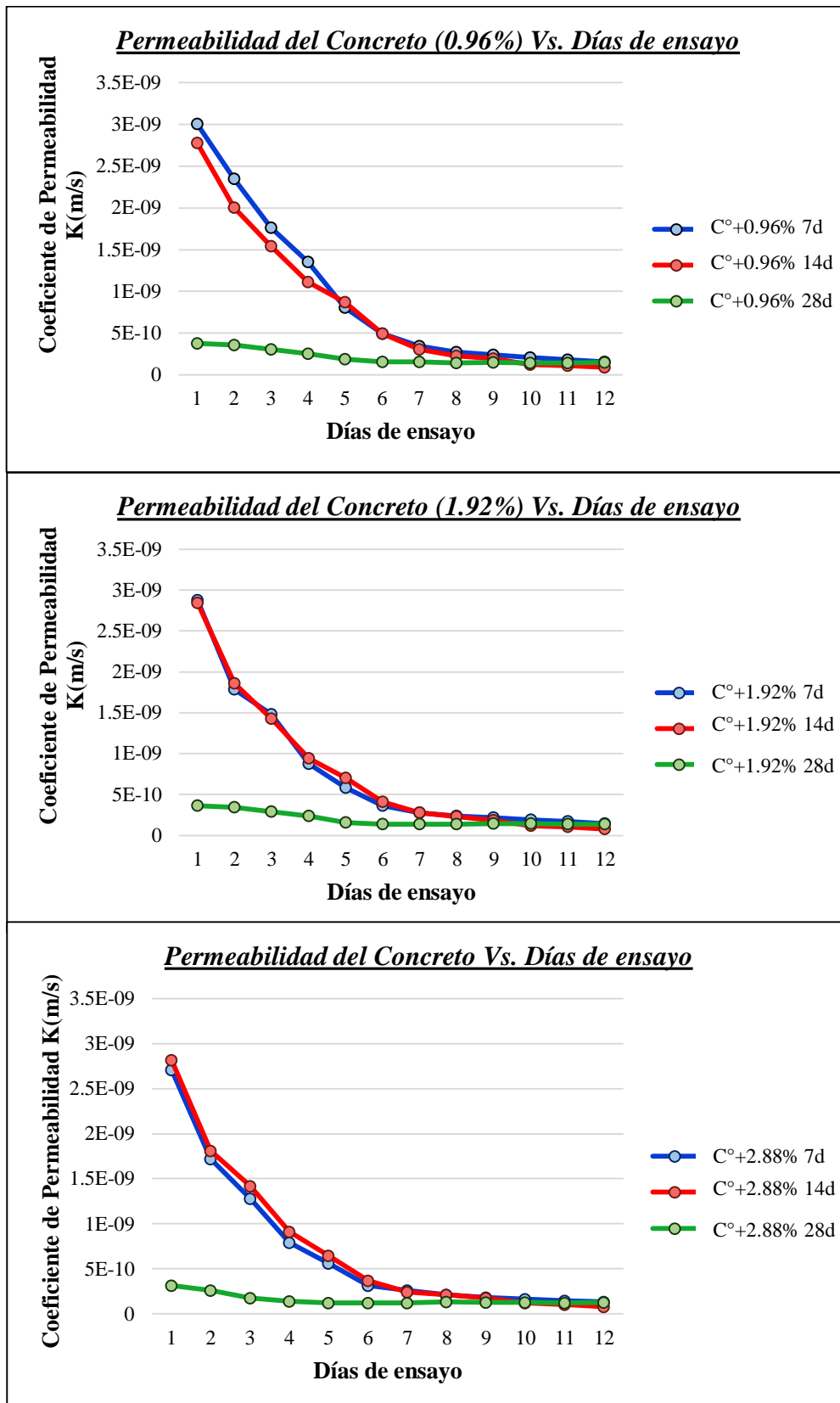


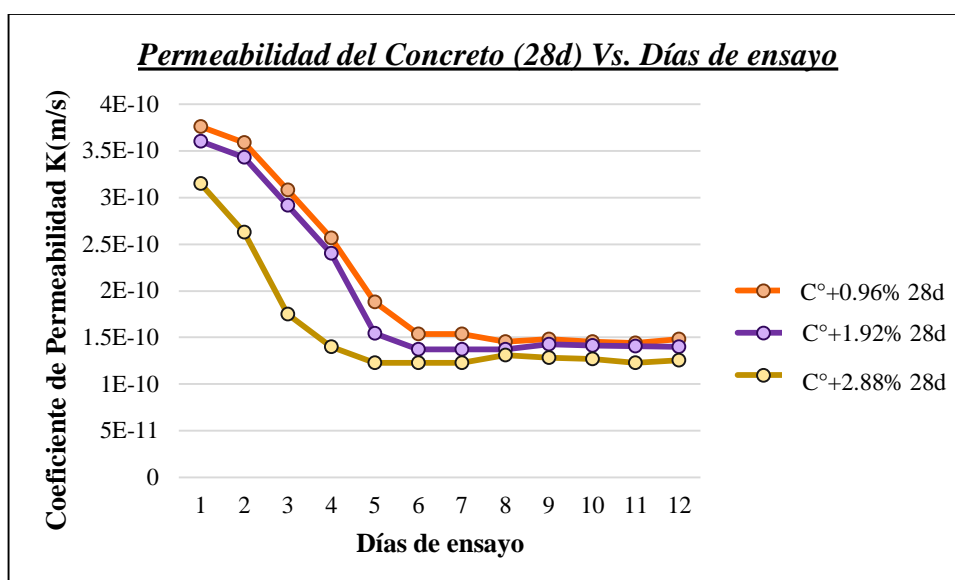
Gráfico N° 3: Permeabilidad del concreto con 0.96%, 1.92% y 2.88% de aditivo Sika Cem Impermeable a 7, 14 y 28 días de curado.



- En el Gráfico N°2 se puede observar que en el cuarto día de ensayo las muestras a los 7, 14 y 28 días de curado igualan sus permeabilidades; en los siguientes días la permeabilidad de las muestras a los 28 días de curado se mantiene constante, mientras que la permeabilidad de las muestras a los 7 y 14 días de curado llegan a reducir aún más su permeabilidad. La permeabilidad de las muestras a los 7 y 14 días de curado son menores a la permeabilidad de las muestras a los 28 días de curado, esto podemos atribuir a la influencia de la presión de la columna de agua en el proceso de hidratación del cemento.
- En el Gráfico N°3 se puede ver que los resultados de permeabilidad de las muestras de 7, 14 y 28 días de curado para los porcentajes de aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88% son muy similares tanto en el comportamiento como en sus valores. Estos llegan a tener una permeabilidad constante a partir del octavo día de ensayo.

A continuación se muestra el Gráfico N°4 el que resume los ensayos a 28 días de curado de los especímenes de concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88%.

Gráfico N° 4: Permeabilidad del concreto con 0.96%, 1.92% y 2.88% de aditivo Sika Cem Impermeable a los 28 días de curado.



- El Gráfico N°4 nos muestra en un inicio que los especímenes de concreto con 2.88% de aditivo Sika Cem Impermeable son notoriamente menos permeables que las muestras de concreto con 0.96% y 1.92%, hasta el quinto día de ensayo, luego en los días restantes los valores de las tres muestras llegan casi a igualarse manteniéndose constante hasta el doceavo día de ensayo.

Los resultados de permeabilidad mostrados fueron calculados descontando el promedio de la evaporación del agua. Luego de estos ensayos se procedió a ensayar nuevas muestras a 28 días de curado, pero restringiendo la evaporación y esto se consiguió cubriendo con una lámina de plástico la parte superior del tubo de carga del permeámetro. Los resultados que se lograron son los siguientes:

Cuadro N° 9: Coeficiente de permeabilidad del concreto a los 28 días de curado con 0.96%, 1.92% y 2.88% de aditivo Sika Cem Impermeable (Restringiendo la evaporación).

Coeficiente de permeabilidad del concreto (m/s)				
Días de ensayo	C° Patrón	C°+0.96%	C°+1.92%	C°+2.88%
1	3.17E-09	3.42E-10	3.43E-10	3.50E-10
2	3.13E-09	3.08E-10	3.09E-10	3.15E-10
3	2.90E-09	2.56E-10	2.74E-10	2.45E-10
4	2.81E-09	2.56E-10	2.23E-10	2.28E-10
5	2.66E-09	2.05E-10	2.06E-10	1.93E-10
6	2.55E-09	1.88E-10	1.89E-10	1.93E-10
7	2.46E-09	1.88E-10	1.89E-10	1.93E-10
8	2.47E-09	1.88E-10	1.80E-10	1.84E-10
9	2.48E-09	1.82E-10	1.77E-10	1.81E-10
10	2.46E-09	1.84E-10	1.76E-10	1.75E-10
11	2.43E-09	1.85E-10	1.75E-10	1.75E-10
12	2.44E-09	1.83E-10	1.77E-10	1.72E-10

- Del Cuadro N°9 y el Gráfico N°5 se puede juzgar que restringiendo la evaporación se tienen valores similares de permeabilidad para las muestras con ditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88% . el aditivo reduce la permeabilidad del concreto patrón hasta mil veces.

Gráfico N° 5: Permeabilidad del concreto Patrón y del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88%; a los 28 días de curado (Restringiendo la evaporación).

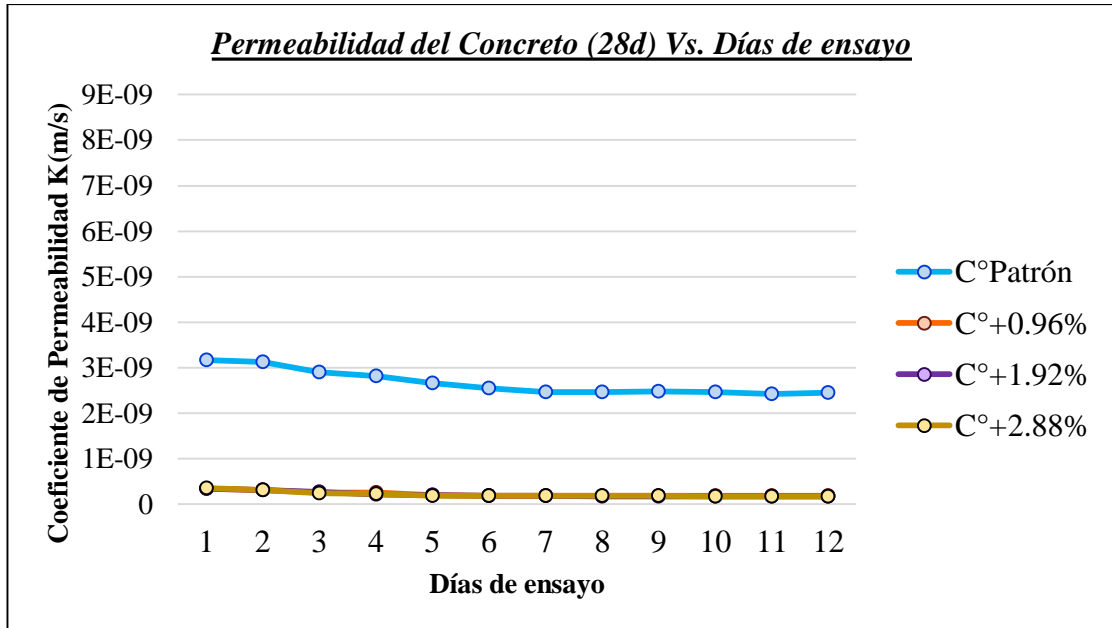
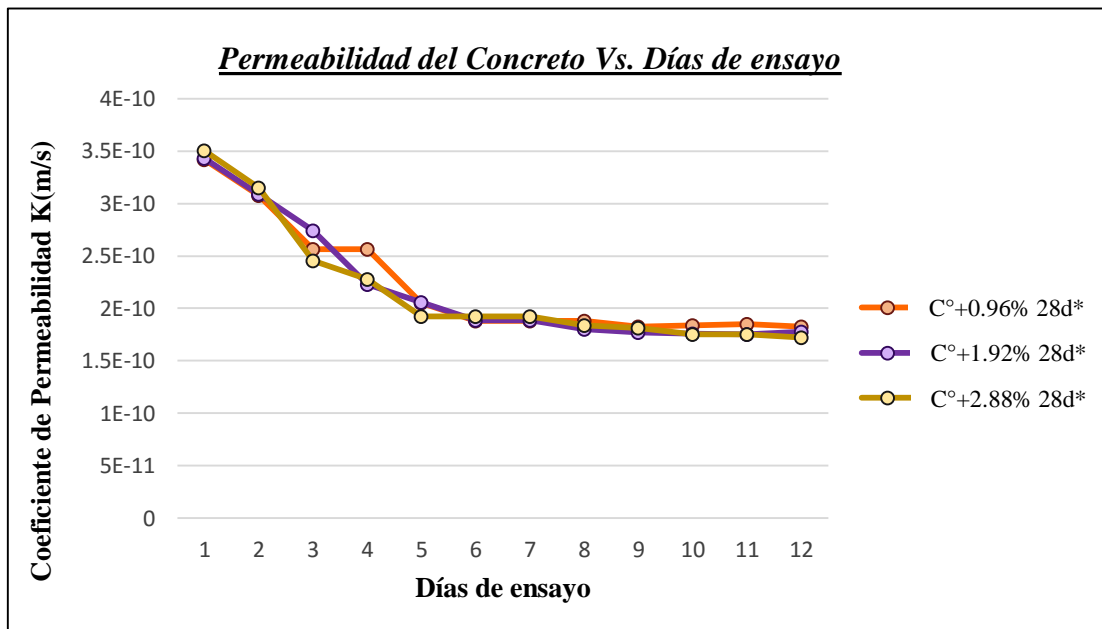


Gráfico N° 6: Permeabilidad del concreto con 0.96%, 1.92% y 2.88% de aditivo Sika Cem Impermeable a los 28 días de curado. (*Restringiendo la evaporación).



En el Gráfico N°6 se puede ver que restringiendo la evaporación, los valores son más exactos y no hay mucha variabilidad, manteniéndose hasta el doceavo día de ensayo.

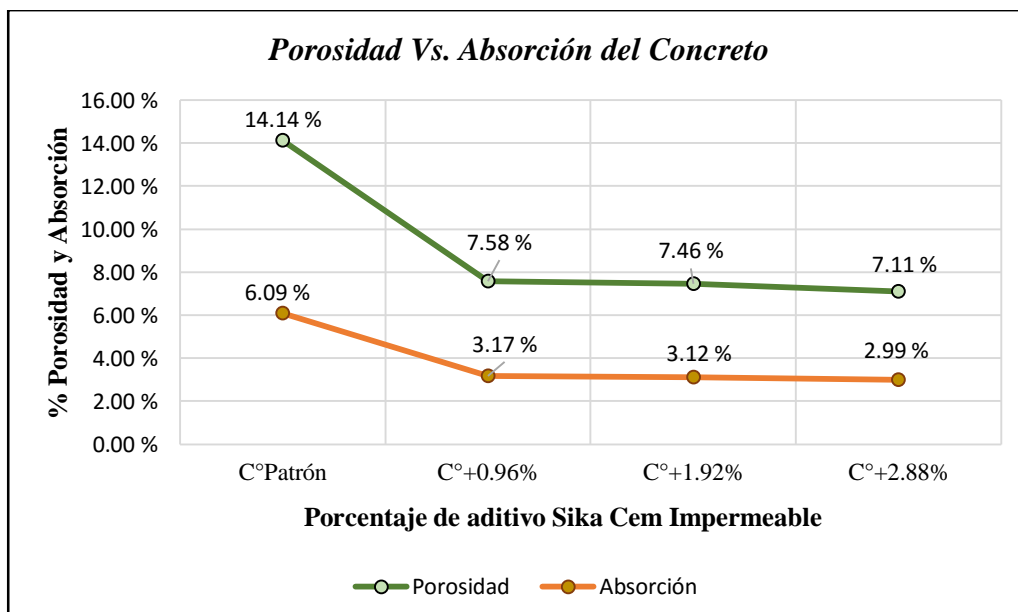
Luego, comparando estos resultados en los que se restringe la evaporación con los resultados en los que se descuenta la evaporación no tienen mucha diferencia pues los valores de ensayo de inicio a fin son muy cercanos.

4.2.2. Análisis de la relación entre los resultados de la permeabilidad, porosidad y absorción del concreto

Cuadro N° 10: Propiedades físicas del concreto patrón y el concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88%; a los 28 días de curado

Especímenes de concreto	Porosidad	Absorción	Permeabilidad K (m/s)
C°Patrón	14.14 %	6.09 %	2.46E-09
C°+0.96%	7.58 %	3.17 %	1.85E-10
C°+1.92%	7.46 %	3.12 %	1.79E-10
C°+2.88%	7.11 %	2.99 %	1.80E-10

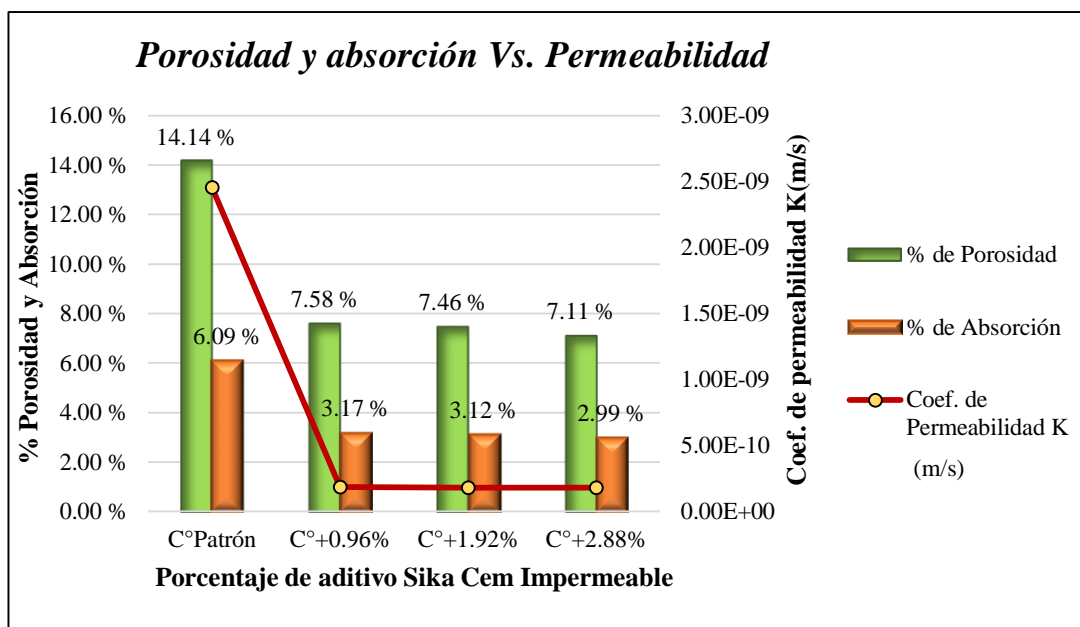
Gráfico N° 7: Porosidad Vs. Absorción del concreto patrón y el concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88%; a los 28 días de curado



- El Cuadro N°10 de resultados y el Gráfico N°7 muestran claramente la relación de proporción directa que tienen la absorción y la porosidad del concreto. Además se deduce que la absorción en cualquiera de las muestras ensayadas viene a ser aproximadamente el 43% de la porosidad.
- En el Gráfico N°7 también se puede verificar que los especímenes de concreto con aditivo Sika Cem Impermeable redujeron aproximadamente su porosidad y absorción hasta un 50% respecto de los valores obtenidos para el concreto patrón. Finalmente los especímenes de concreto con los diferentes porcentajes de aditivo mantienen sus valores de porosidad y absorción muy cercanos.

A continuación se muestra la relación de la absorción, porosidad y la permeabilidad del concreto a los 28 días de curado.

Gráfico N° 8: Relación de las propiedades físicas del concreto patrón y el concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88%; a los 28 días de curado



- En el Gráfico N°8 se observa que las tres propiedades físicas guardan una relación directa pues a medida que disminuye una disminuyen las otras. Es por ello que, existen investigaciones tales que para verificar si un concreto es menos permeable que otro solamente realizan ensayos de porosidad y absorción.

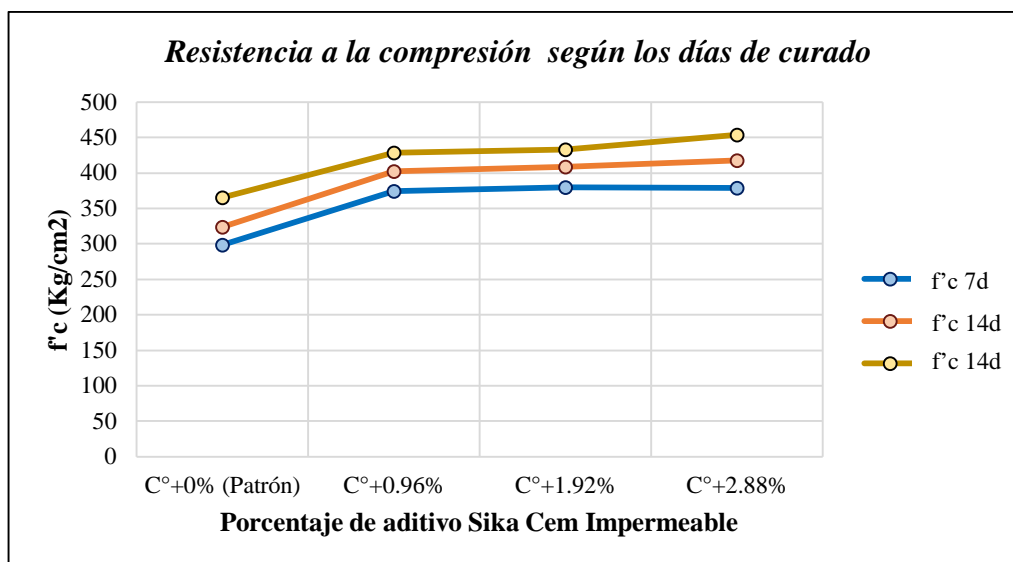
4.3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO

4.3.1. Análisis de los resultados de las resistencias a compresión del concreto

Cuadro N° 11: Resistencia a la compresión del concreto patrón y el concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88%; a los 7, 14 y 28 días de curado

Especímenes de concreto	f'c 7días	f'c 14días	f'c 28días
C°+0% (Patrón)	298.89	323.47	365.45
C°+0.96%	374.53	402.79	428.24
C°+1.92%	380.15	408.38	433.19
C°+2.88%	379.16	417.74	454.20

Gráfico N° 9: Resistencia a la compresión del concreto patrón y el concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88%; a los 7, 14 y 28 días de curado



- Del Cuadro N°11 se observa que la resistencia a la compresión del concreto patrón según los resultados es de 365.45 Kg/cm², lo cual es correcto porque la resistencia de diseño fue de 300 Kg/cm² y la resistencia requerida de 384 Kg/cm². Además, la resistencia a la compresión a los 28 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88% es mayor que la resistencia del concreto patrón en 63, 68 y 89 Kg/cm² respectivamente.

- En el Gráfico N°9 se observa que la adición del aditivo Sika Cem Impermeable al concreto influye en el incremento de su resistencia a la compresión en las diferentes edades del concreto. La diferencia de resultados en la resistencia a la compresión que arrojan los diferentes porcentajes de aditivo estudiados en la mezcla es mínima, por lo que la cantidad adecuada de aditivo Sika Cem Impermeable es 0.96%.
- Con la intención de verificar si el aditivo Sika Cem Impermeable aportaba una mayor resistencia a la compresión en un periodo más largo, se decidió ensayar cuatro especímenes de concreto con 1.92% de aditivo a los 90 días y el resultado fue una resistencia promedio igual a 100.5 Tn de carga equivalente a 550 Kg/cm².
- Finalmente, el concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 1.92% respecto del concreto patrón incrementó su resistencia hasta un 18.5% a los 28 días de curado y hasta un 50% a los 90 días de los cuales 28 días estuvieron en la poza de curado y los días restantes al aire libre.

4.3.2. Análisis de la relación entre los resultados de la resistencia a la compresión, flexión y el módulo de elasticidad del concreto.

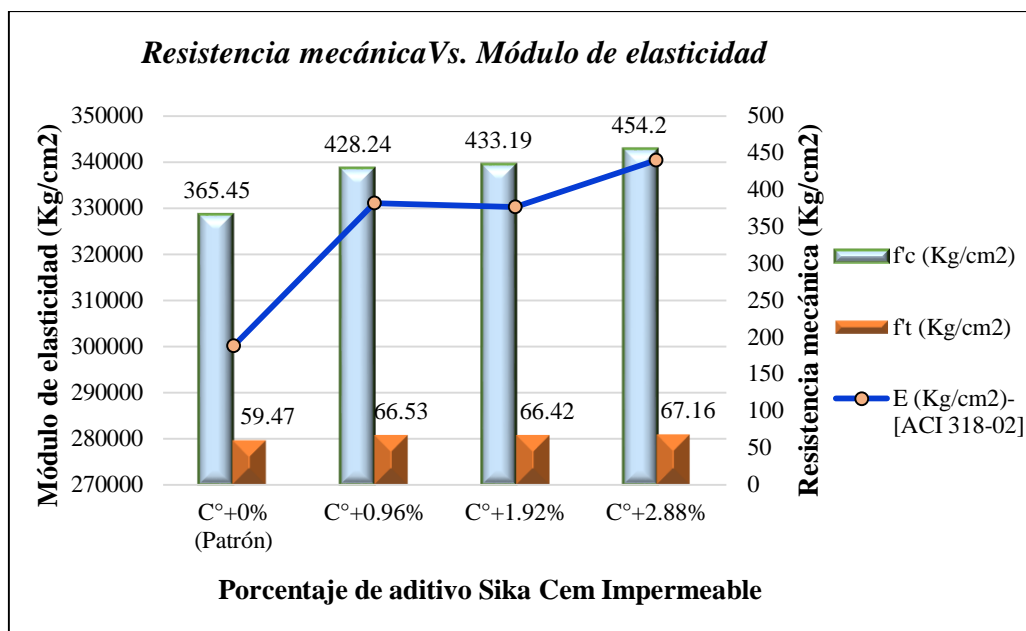
Las propiedades mecánicas estudiadas en esta investigación fueron la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad del concreto. Estas propiedades vienen a ser entre sí directamente proporcionales pues a medida que crece un valor aumentan los demás.

En el cuadro N°12 se observa que los concretos con aditivo al tener mayor resistencia mecánica, pues tienen mayor módulo de elasticidad.

Cuadro N° 12: Relación de las propiedades mecánicas del concreto patrón y el concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88%; a los 28 días de curado

Especímenes de Concreto	Módulo de Elasticidad E (ACI 318M-02)	Resistencia a la Compresión f'c (Kg/cm²)	Resistencia a la Flexión f't (Kg/cm²)
C°+0% (Patrón)	300090.0429	365.45	59.47
C°+0.96%	331004.6552	428.24	66.53
C°+1.92%	330279.6162	433.19	66.42
C°+2.88%	340371.5153	454.20	67.16

Gráfico N° 10: Resistencias mecánicas (a la compresión y flexión) Vs. Módulo de Elasticidad del concreto patrón y el concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88%; a los 28 días de curado

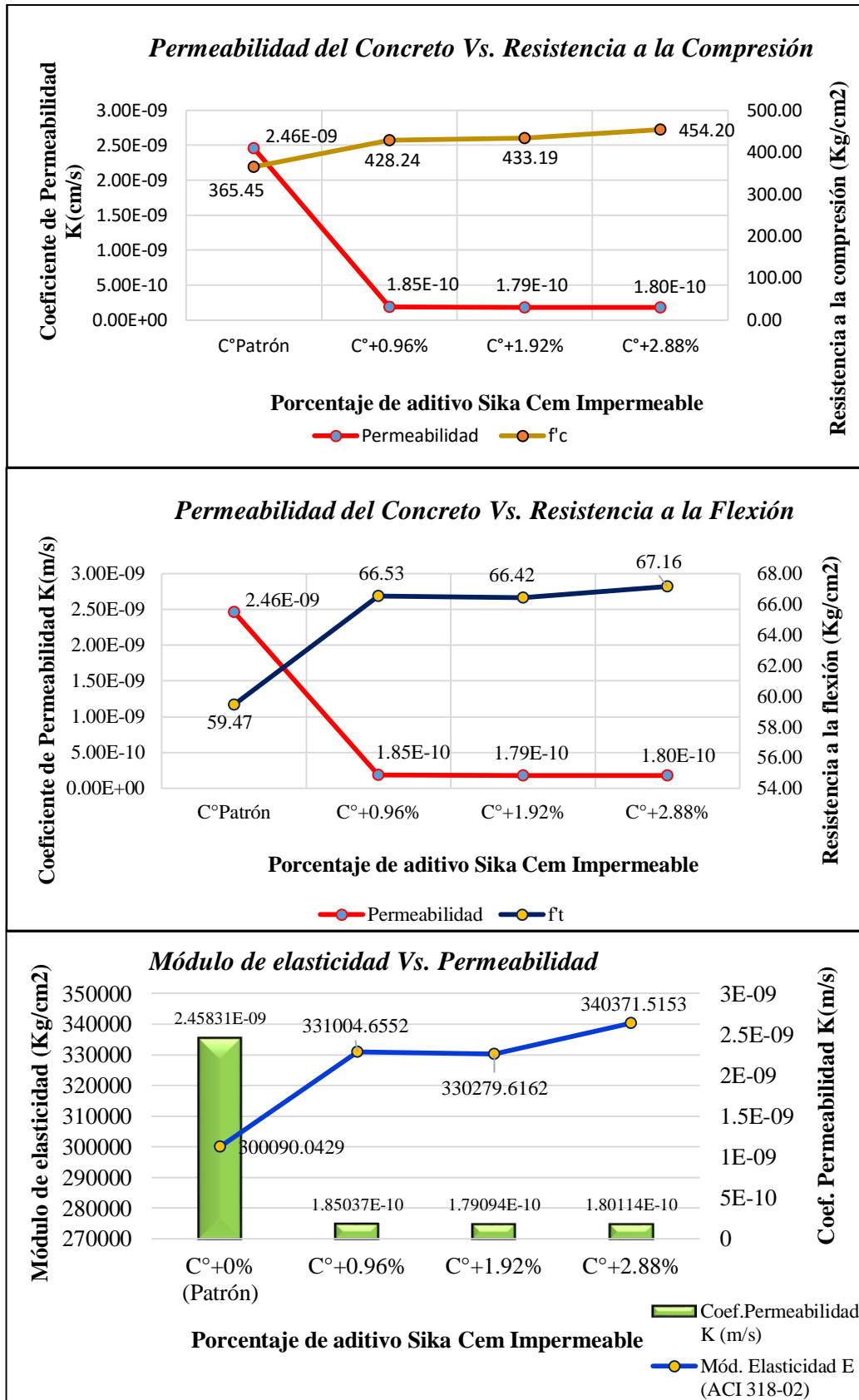


- En el Gráfico N°10, la resistencia a la flexión del concreto está en el orden del 15% al 16% por lo que se considera adecuado en el uso de pavimentos. Además, Pasquel, E. (1998, p.143) menciona que el módulo de elasticidad de un concreto debe estar entre los valores de 250000 Kg/cm² y 350000Kg/cm²; los resultados en el gráfico muestran que los valores están dentro del rango previsto.

4.4. ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO

- El gráfico N°11 muestra una relación inversa en los resultados, es decir a menor permeabilidad tenemos mayor resistencia mecánica y mayor módulo de elasticidad.
- Los valores de permeabilidad y resistencia mecánica de las muestras con aditivo son muy cercanas, pues la diferencia de resistencias mecánicas oscila entre 1% y 5%, mientras que en las permeabilidades oscilan entre 0% y 3%. Luego el promedio de las permeabilidades y resistencias mecánicas muestran un comportamiento adecuado y muy similar por lo que, usar el porcentaje mínimo sería lo ideal. Eso indicaría que en una mezcla nos ahorraríamos las dos terceras partes de aditivo.

Gráfico N° 11: Relación de la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y permeabilidad del concreto patrón y el concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88%; a los 28 días de curado



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- ✓ El aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88% mejora las propiedades físicas del concreto, porque reduce su porosidad y absorción en un 50% respecto al valor obtenido en el concreto normal.
- ✓ El aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88% reduce la permeabilidad del concreto normal, sin embargo, los valores de permeabilidad con cada uno de los porcentajes de aditivo no presentan mucha variabilidad.
- ✓ El aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88% mejora las propiedades mecánicas del concreto: aumenta su resistencia a la compresión hasta un 25% más, respecto a la resistencia del concreto normal. La resistencia a la flexión también aumentó, pero siempre se mantuvo en el orden del 15% de su resistencia a la compresión.
- ✓ El aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, 1.92% y 2.88%, incrementa el valor numérico del módulo de elasticidad en 15% respecto al valor obtenido en el concreto normal.
- ✓ El porcentaje óptimo de aditivo Sika Cem Impermeable es 0.96%: los resultados obtenidos con este porcentaje son similares a los obtenidos con el porcentaje máximo (2.88%).

5.2. RECOMENDACIONES

- Estudiar las propiedades físico-mecánicas del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable a 60 y 90 días de edad.
- Estudiar las propiedades físico-mecánicas del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable para diferentes relaciones agua/cemento.
- Realizar estudios de las propiedades físico-mecánicas utilizando otro tipo de materiales como agregados de río de otras canteras, cemento tipo V y aditivos reductores de agua de alto rango.
- Realizar investigaciones entorno a la permeabilidad del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable empleando la ley de Darcy y la fórmula de Valenta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- LIBROS, REVISTAS Y TESIS

- Neville A.M. y Brooks J.J. (1998). *Tecnología del Concreto*. Mexico: Trillas.
- Salamanca, R. (2001). Aplicación del Cemento Portland y los Cementos Adicionados. *Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, pp. 33 - 38. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/237010711/Aplicacion-del-Cemento-Portland-y-los-Cementos-Adicionados-Rodrigo-Salamanca-Cporrea>
- Torre, A. (2004). *Curso básico de Tecnología del Concreto*. Perú: Universidad Nacional de Ingeniería. Obtenido de <https://civilgeeks.com/2016/07/25/curso-basico-tecnologia-del-concreto-ingenieros-civiles-ing-ana-torre-c/>
- Rivera, G. (2005). *Concreto Simple*. Colombia: Universidad del Cauca. Obtenido de https://www.academia.edu/25800481/Tecnologia_Concreto_y_Mortero_Rivera
- Garibay, T. (2006). *Geología y geotecnia: Permeabilidad de suelos*. Universidad Nacional de Rosario, Santa Fé, Argentina. Obtenido de <https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Permeabilidad%20en%20Suelos.pdf>
- Quiroz V. & Salamanca L. (2006). *Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje en la asignatura de "Tecnología del Hormigón"*. (Tesis Pre Grado). Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia. Obtenido de <https://civilgeeks.com/2012/09/07/libro-basico-sobre-tecnologia-del-concreto/>
- Hernández, J. (2010). *Tecnología del Concreto: Materiales, propiedades y diseño de mezclas* (3° ed.). Colombia: obtenido de <https://es.scribd.com/doc/234779446/Tecnologia-Del-Concreto-Tomo-1>
- Osorio, G. (2011). Blog 360° en concreto: ¿Qué es el módulo de elasticidad en el concreto?. En Argos. Obtenido de <http://blog.360gradosenconcreto.com/que-es-el-modulo-de-elasticidad-en-el-concreto/>

- Hermida, G. (2013). Concreto Impermeable: Una mirada reciente. *En Revista Sika*, pp.1- 31. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/288422085/Brochure-Concreto-Impermeable-Latam>
- Benavides R. (2014). *Concreto de alto desempeño*. (Tesis de Maestría). Universidad. Colombia. Obtenido de
- Limón J. (2016). *Estudio sobre tecnologías aplicadas a las mezclas de concreto hidráulico para reducir su permeabilidad al agua e incrementar su durabilidad*. (Tesis de Maestría). Universidad. México. Obtenido de
- Iskra, B. (2017). *Estudio de la correlación entre la relación agua/cemento y la permeabilidad al agua de concretos usuales en Perú*. (Tesis Pre Grado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/8804>

- **NORMAS**

- NTP 339.034.2008 (revisada 2013). HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. 3ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- NTP 339.079.2012 CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas en el centro del tramo. 3ª. Ed. R. 2012-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.012.2013 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. 3ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.018.2013 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μ (N° 200). 3ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.021.2013 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. 3ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.022.2013 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. 3ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.

ANEXOS

ANEXO N° 01: PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

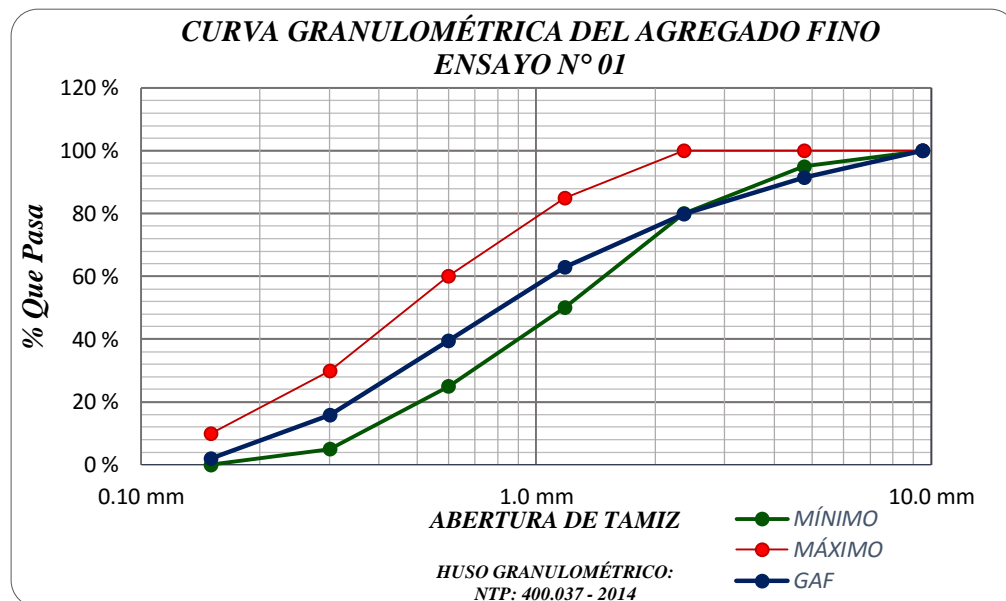
1.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS.

1.1.1. Módulo de fineza para el agregado fino (mf)

Cuadro N° 13: Análisis Granulométrico de Agregado Fino E-1

ENSAYO N° 01		Peso de la Muestra = 1000 gr			
MALLA		PESO RETENIDO	%RETENIDO		% QUE PASA
N°	mm	(gr)	Parcial (%)	Acum. (%)	(%)
3/8 "	9.51	0.00	0.00	0.00	100.00
4	4.76	85.00	8.50	8.50	91.50
8	2.36	116.00	11.60	20.10	79.90
16	1.18	170.00	17.00	37.10	62.90
30	0.60	234.00	23.40	60.50	39.50
50	0.30	237.00	23.70	84.20	15.80
100	0.15	139.00	13.90	98.10	1.90
CAZOLETA		19.00	1.90	100.00	0.00
				mf =	3.09

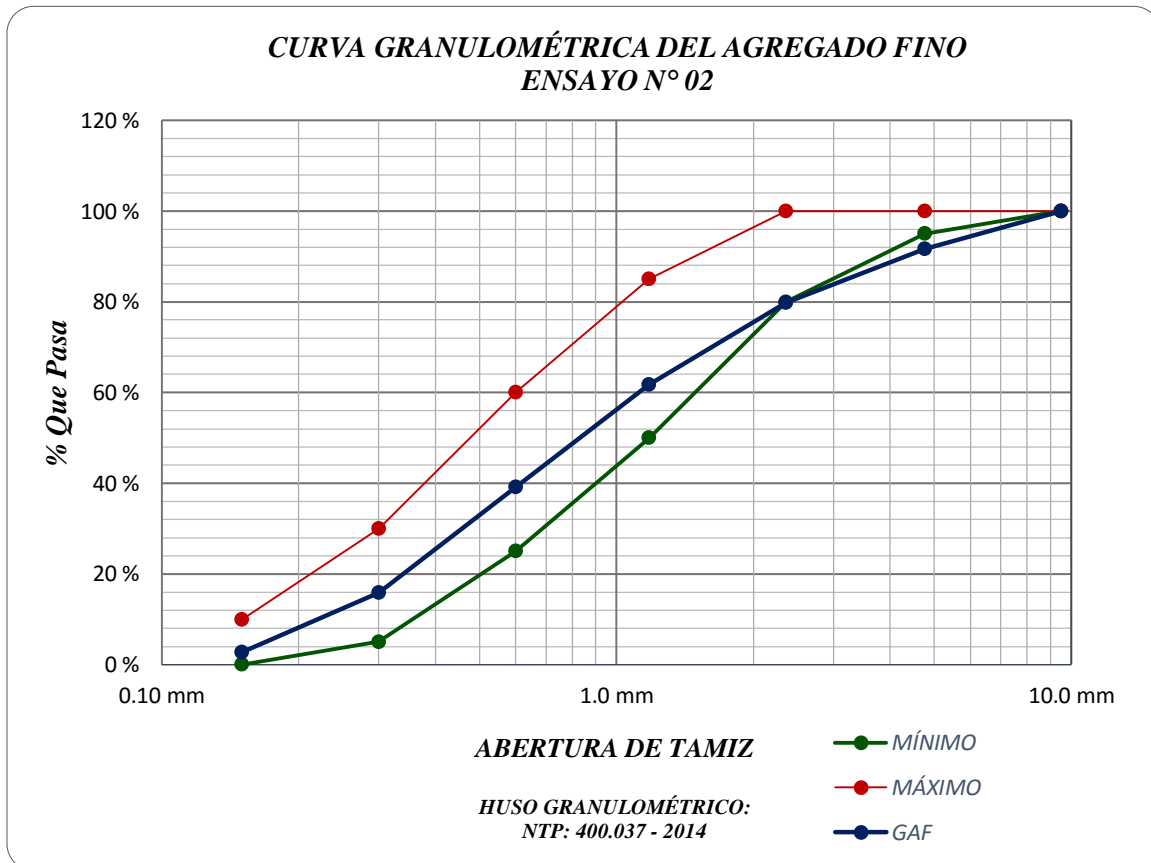
Gráfico N° 12: Curva Granulométrica del Agregado Fino E-1



Cuadro N° 14: Análisis Granulométrico de Agregado Fino E-2

ENSAYO N° 02		Peso de la Muestra = 1000 gr			
MALLA		PESO RETENIDO	%RETENIDO		% QUE PASA
N°	mm	(gr)	Parcial (%)	Acumulado (%)	(%)
3/8 "	9.51	0.00	0.00	0.00	100.00
4	4.76	84.00	8.40	8.40	91.60
8	2.36	118.00	11.80	20.20	79.80
16	1.18	180.00	18.00	38.20	61.80
30	0.60	226.00	22.60	60.80	39.20
50	0.30	233.00	23.30	84.10	15.90
100	0.15	132.00	13.20	97.30	2.70
CAZOLETA		27.00	2.70	100.00	0.00
				mf =	3.09

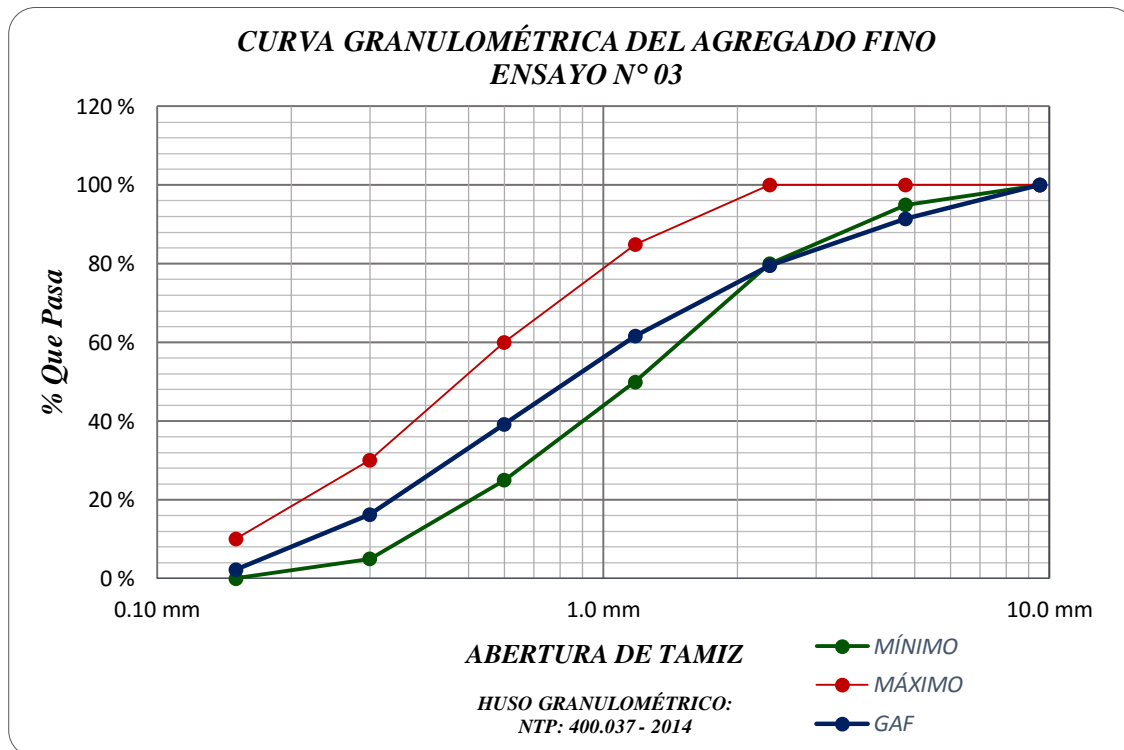
Gráfico N° 13: Curva Granulométrica del Agregado Fino E-2



Cuadro N° 15: Análisis Granulométrico de Agregado Fino E-3

ENSAYO N° 03		Peso de la Muestra = 1006 gr			
MALLA		PESO RETENIDO	%RETENIDO		% QUE PASA
N°	mm	(gr)	Parcial (%)	Acumul. (%)	(%)
3/8 "	9.51	0.00	0.00	0.00	100.00
4	4.76	86.00	8.55	8.55	91.45
8	2.36	119.00	11.83	20.38	79.62
16	1.18	180.00	17.89	38.27	61.73
30	0.60	227.00	22.56	60.83	39.17
50	0.30	231.00	22.96	83.80	16.20
100	0.15	141.00	14.02	97.81	2.19
CAZOLETA		22.00	2.19	100.00	0.00
				mf =	3.10

Gráfico N° 14: Curva Granulométrica del Agregado Fino E-3



Finalmente, el promedio de los tres ensayos realizados nos resulta un módulo de finura para el agregado fino equivalente a 3.09.

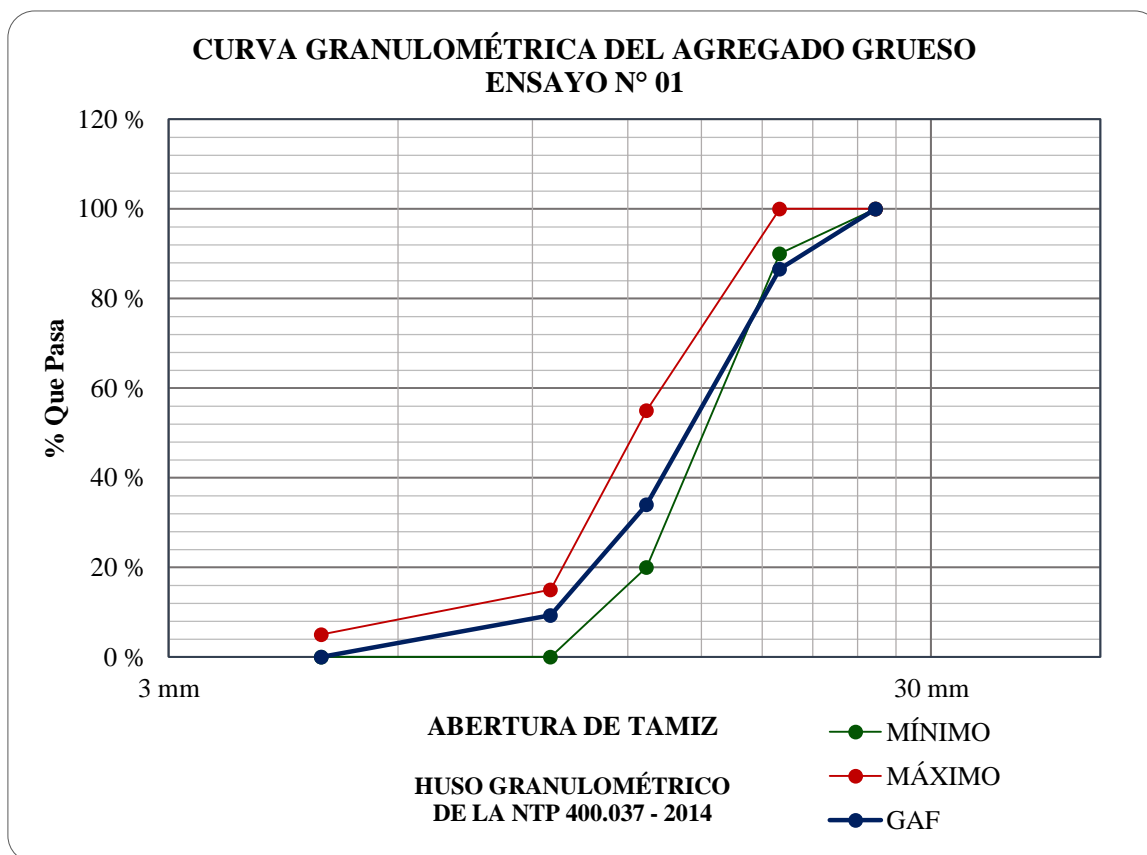
$\therefore \text{mf} = 3.09$

1.1.2. Módulo de fineza para el Agregado Grueso (mg).

Cuadro N° 16: Análisis Granulométrico de Agregado Grueso E-1

ENSAYO N° 01		Peso de la Muestra = 8000 gr			
MALLA		PESO RETENIDO	%RETENIDO		% QUE PASA
N°	mm	(gr)	Parcial (%)	Acumul. (%)	(%)
1 "	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4 "	19	1070.00	13.38	13.38	86.63
1/2 "	12.7	4207.00	52.59	65.96	34.04
3/8 "	9.51	1980.00	24.75	90.71	9.29
N° 4	4.76	743.00	9.29	100.00	0.00
CAZOLETA		0.00	0.00	100.00	0.00
mg =					7.041

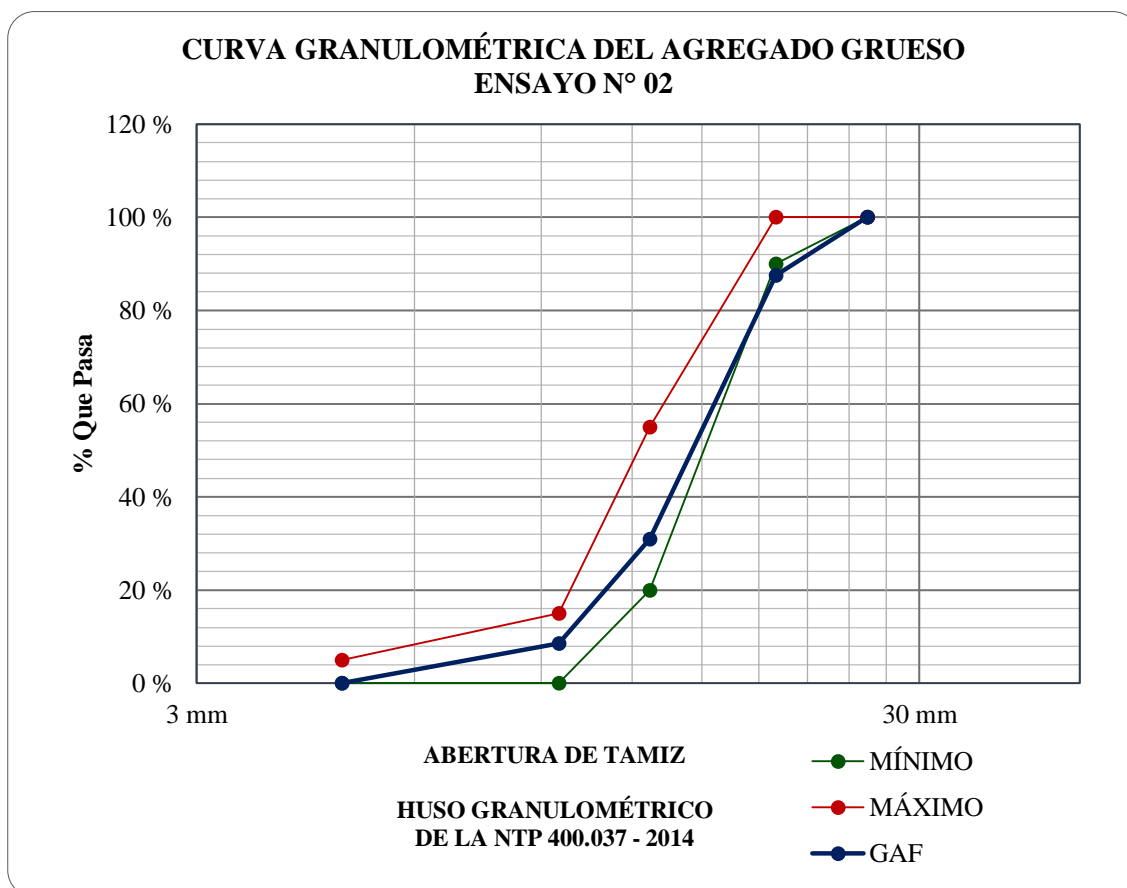
Gráfico N° 15: Curva Granulométrica del Agregado Fino E-1



Cuadro N° 17: Análisis Granulométrico de Agregado Grueso E-2

ENSAYO N° 02		Peso de la Muestra = 8000 gr			
MALLA		PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA
N°	mm	(gr)	Parcial (%)	Acumul. (%)	(%)
1 "	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4 "	19.00	992.00	12.40	12.40	87.60
1/2 "	12.70	4530.00	56.63	69.03	30.98
3/8 "	9.51	1790.00	22.38	91.40	8.60
N° 4	4.76	688.00	8.60	100.00	0.00
CAZOLETA		0.00	0.00	100.00	0.00
				mg =	7.038

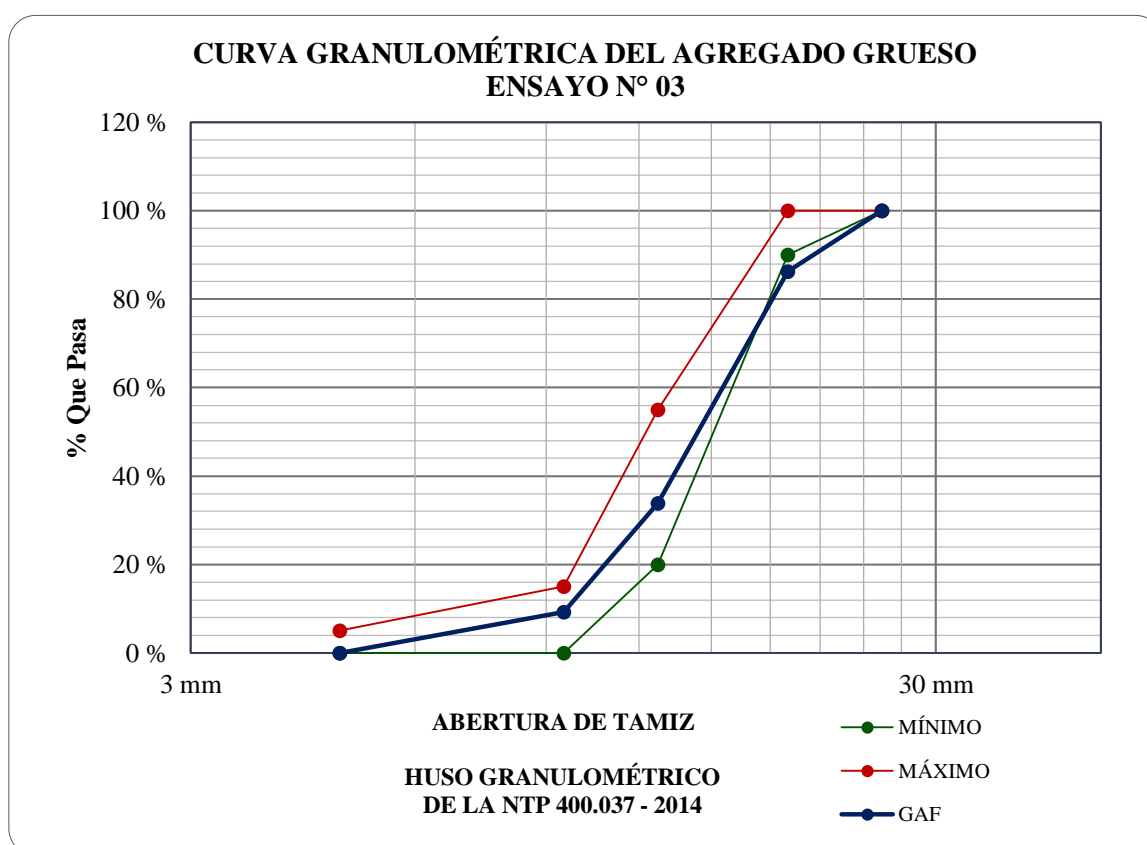
Gráfico N° 16: Curva Granulométrica del Agregado Fino E-2



Cuadro N° 18: Análisis Granulométrico de Agregado Grueso E-3

ENSAYO N° 03		Peso de la Muestra = 8000 gr			
MALLA		PESO RETENIDO	% RETENIDO		% QUE PASA
N°	mm	(gr)	Parcial (%)	Acumul. (%)	(%)
1 "	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4 "	19.00	1095.00	13.69	13.69	86.31
1/2 "	12.70	4192.00	52.40	66.09	33.91
3/8 "	9.51	1968.00	24.60	90.69	9.31
N° 4	4.76	745.00	9.31	100.00	0.00
CAZOLETA		0.00	0.00	100.00	0.00
				mg =	7.044

Gráfico N° 17: Curva Granulométrica del Agregado Fino E-3



Finalmente, el promedio de los tres ensayos realizados nos resulta un módulo de finura para el agregado grueso equivalente a 7.041

$$\therefore mf = 7.041$$

1.1.3. **Tamaño máximo del agregado grueso (T.M):** T.M = 1”

1.1.4. **Tamaño máximo nominal del agregado grueso (T.M.N):** T.M.N = 3/4”

1.1.5. **Material Más Fino Que El Tamiz N°200.**

Cuadro N° 19: Porcentaje de material menor al tamiz N°200

DATOS Y RESULTADOS	ENSAYO		
	E-1	E-2	E-3
Wo =	500	500	500
W1 =	487	485	487
F200 =	2.60	3.00	2.60
Promedio	2.73%		

1.2. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

1.2.1. Peso específico y absorción del agregado fino

Cuadro N° 20: Peso específico y Absorción del Agregado Fino.

DATOS Y RESULTADOS	ENSAYO			RESULTADOS PROMEDIO
	E-1	E-2	E-3	
1.1.- Peso específico del agua				
P(f+H ₂ O) =	646 g	649 g	645 g	
P(f) =	151 g	151 g	151 g	
Pe (H₂O) =	0.990 g/cm³	0.996 g/cm³	0.988 g/cm³	0.991 g/cm³
1.2.- Pesos específicos y absorción del agregado fino				
P(f+H ₂ O+muestra) =	964.0 g	963.8 g	963.4 g	
P(f+muestra) =	655.0 g	655.0 g	655.0 g	
Wa =	309.0 g	308.8 g	308.4 g	
Va =	312.12 cm ³	311.92 cm ³	311.52 cm ³	
V =	500 cm ³	500 cm ³	500 cm ³	
Wo =	493.6 g	493.8 g	494.6 g	
Pem =	2.627 g/cm³	2.625 g/cm³	2.624 g/cm³	2.626 g/cm³
Pe sss =	2.661 g/cm³	2.658 g/cm³	2.653 g/cm³	2.657 g/cm³
Pe a =	2.720 g/cm³	2.715 g/cm³	2.701 g/cm³	2.712 g/cm³
Abs (%) =	1.30 %	1.26 %	1.09 %	1.21 %

1.2.1.1. Peso específico y absorción del agregado grueso.

Cuadro N° 21: Peso específico y Absorción del Agregado Grueso

Datos y Resultados	ENSAYO			Resultados promedio
	E-1	E-2	E-3	
A	2970.00 g	3956.20 g	3963.30 g	
B (sss)	3000.00 g	4000.00 g	4000.00 g	
C	1863.10 g	2483.90 g	2482.80 g	
1. Pesos específicos y absorción del agregado grueso				
P_m =	2.612 g/cm ³	2.609 g/cm ³	2.612 g/cm ³	2.611 g/cm³
P_{e sss} =	2.639 g/cm ³	2.638 g/cm ³	2.636 g/cm ³	2.638 g/cm³
P_{e a} =	2.683 g/cm ³	2.687 g/cm ³	2.677 g/cm ³	2.682 g/cm³
Abs (%) =	1.01 %	1.11 %	0.93 %	1.01 %

1.3. CONTENIDO DE HUMEDAD.

Cuadro N° 22: Contenido de humedad de los agregados fino y grueso.

DATOS Y RESULTADOS	ENSAYO			PROMEDIO
	E-1	E-2	E-3	
1. Humedad del agregado fino				
M H =	600 g	1000 g	800 g	
M S =	589 g	980 g	783 g	
W % =	1.87 %	2.04 %	2.17 %	2.03 %
2. Humedad del agregado grueso				
M H =	600 g	820 g	1000 g	
M S =	596 g	815 g	994 g	
W % =	0.67 %	0.61 %	0.60 %	0.63 %

1.4. PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DE LOS AGREGADOS

Cuadro N° 23: Pesos unitarios suelto y compactado de los agregados fino y grueso.

PESO UNITARIO SUELTO						
	AGREGADO FINO			AGREGADO GRUESO		
W rp	3880 g	3880 g	3880 g	4200 g	4200 g	4200 g
W rp+mat.	8805 g	8810 g	8820 g	17491	17554	17434
W mat.	4925 g	4930 g	4940 g	13291 g	13354 g	13234 g
Pe (H ₂ O) (g/cm ³)	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990
Factor (/m ³)	336.05	336.05	336.05	103.26	103.26	103.26
P.U. Suelto (Kg/m³)	1655.04	1656.72	1660.08	1372.49	1379.00	1366.61
Promedio	1657.28 Kg/m³			1372.70 Kg/m³		

PESO UNITARIO COMPACTADO						
	AGREGADO FINO			AGREGADO GRUESO		
W rp	3880 g	3880 g	3880 g	4200 g	4200 g	4200 g
W rp+mat.	9154 g	9152 g	9125 g	18579 g	18631 g	18607 g
W mat.	5274 g	5272 g	5245 g	14379 g	14431 g	14407 g
Pe (H2O) (g/cm ³)	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990
Factor (/m ³)	336.05	336.05	336.05	103.26	103.26	103.26
P.U. Compct. (Kg/m ³)	1772.32	1771.65	1762.58	1484.85	1490.21	1487.74
Promedio	1768.85 Kg/m³			1487.60 Kg/m³		

1.5. RESISTENCIA AL DESGASTE O ABRASIÓN DEL AGREGADO

Cuadro N° 24: Porcentaje de abrasión o desgaste del agregado grueso.

DATOS Y RESULTADOS	ENSAYO		
	E-1	E-2	E-3
Peso Inicial (gr)	5000	5000	5000
Peso Final (gr)	3563.0	3559.0	3564.0
Desgaste (%)	28.74	28.82	28.72
Promedio	28.76 %		

ANEXO N°02: TABLAS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO

Tabla N° 8: Resistencia Promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra.

f'c (MPa)	f'cr (MPa)
Menor de 21	f'c + 7.0
21 a 35	f'c + 8.5
Mayor de 35	1.1f'c + 5.0

Fuente: Norma E-060-2009

Nota: 1MPa <> 10.197 kgf / cm²

Tabla N° 9: Consistencia, Asentamiento y Trabajabilidad del concreto.

CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO	TRABAJABILIDAD
SECA	0" a 2"	Poco Trabajable
PLÁSTICA	3" a 4"	Trabajable
HÚMEDA	≥ 5"	Muy Trabajable

Fuente: Riva López-2002.

Tabla N° 10: Requerimientos de agua en L/m³ y contenido de aire del concreto para los tamaños nominales máximos del agregado grueso y consistencia indicada

Tipo de concreto	Asentamiento	TMN del agregado grueso							
		3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Sin aire incorporado	0" - 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
	3" - 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
	> 5"	243	228	216	202	190	178	160	-
	Contenido de aire atrapado	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Con aire incorporado	0" - 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
	3" - 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
	> 5"	216	205	197	184	174	166	154	-
	Contenido de aire total	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

Fuente: Tabla confeccionada por el comité 211 del ACI.

Tabla N° 11: Contenido de aire atrapado

Tamaño Máximo Nominal Del Agregado Grueso	Aire atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%

Fuente: Riva López-2002.

Tabla N° 12: Relación agua / cemento por resistencia

Resistencia a la compresión a los 28 días, f'c (kg / cm2)	Relación A / C de diseño en peso	
	Concreto sin aire Incorporado	Concreto con aire incorporado
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

Fuente: Tabla confeccionada por el comité 211 del ACI.

Tabla N° 13: Relación agua / cemento por durabilidad

Condiciones de exposición	Relación a/c máxima, en concretos con agregados de peso normal	Resistencia en compresión mínima en concretos con agregados livianos
Concreto de baja permeabilidad		
a) Expuesto a agua dulce ...	0.50	
b) Expuesto a agua de mar o agua soluble ...	0.45	260
c) Expuesto a la acción de aguas cloacales ...	0.45	
Concretos expuestos a procesos de congelación y deshielo en condiciones húmedas		
a) Sardineles, cunetas, secciones delgadas ...	0.45	300
b) Otros elementos...	0.50	

Fuente: Riva López-2002.

Tabla N° 14: Módulo de fineza de la combinación de agregados

Agregado grueso	Módulo de fineza de la combinación de agregados, el cual da las mejores condiciones de trabajabilidad para los contenidos de cemento en saco / m3 indicados.			
	6.00	7.00	8.00	9.00
(TMN)				
3 / 8 "	3.96	4.04	4.11	4.19
1 / 2 "	4.46	4.54	4.61	4.69
3 / 4 "	4.96	5.04	5.11	5.19
1 "	5.26	5.34	5.41	5.49
1 1/2 "	5.56	5.64	5.71	5.79
2 "	5.86	5.94	6.01	6.09
3 "	6.16	6.24	6.31	6.39

Fuente: Riva López-2002.

- Los valores de la tabla N°14 están referidos a agregado grueso de perfil angular y adecuadamente graduado, con un contenido de vacíos del orden del 35%. Los valores indicados deben incrementarse o disminuirse en 0.1 por cada 5% de disminución o incremento en el porcentaje de vacíos.

ANEXO N°03: DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO

Cuadro N° 25: Diseño de mezclas del concreto patrón por el método del Módulo de Finura de la Combinación de los Agregados.

DISEÑO DE MEZCLAS (Método: Módulo de finura de la Combinación de agregados)		
1. Resistencia a la compresión promedio requerida del Concreto (f'cr)		
- Resistencia a la compresión especificada del C° (f'c)	=	300 kg / cm ²
- Resistencia a la compresión requerida del C° (f'cr) [Tabla N° 8]	=	384 kg / cm ²
2. Tamaño máximo nominal del agregado grueso :	TMN	= 3/4"
3. Selección del asentamiento :	Slump [Tabla N°9]	= 3" - 4"
4. Volumen de agua :	Vol. [Tabla N°10]	= 205 Lt
5. Selección del contenido de aire atrapado:	%Aire A. [Tabla N°11]	= 2 %
6. Selección de la relación agua/cemento :		
- Por durabilidad (C° de baja permeabilidad):	A/C [Tabla 12]	= 0.50
- Por resistencia:	A/C [Tabla 13]	= 0.55
7. Cálculo del contenido de cemento (4)/(6):		
	Peso del cemento	= 410.00 Kg/m ³
	Factor Cemento	= 9.65 Bolsas/m ³
8. Cálculo de los Volúmenes Absolutos de los elementos de la Pasta :		
	Cemento	= 0.1331 m ³
	Agua	= 0.2050 m ³
	Aire	= 0.02 m ³
9. Volumen absolutos de los Agregados.		
	Agregados grueso y fino	= 0.6419 m ³
10. Módulo de fineza de la combinación de agregados: mc [Tabla N°14] = 5.156		
11. Porcentaje de Agregado Fino : rf = 47.71 %		
12. Cálculo de los volúmenes absolutos de los Agregados :		
	Agregado Fino	= 0.3062 m ³
	Agregado Grueso	= 0.3356 m ³
13. Peso de los materiales de diseño por m³:		
	Cemento	= 410.00 kg/m ³
	Agua de diseño	= 205 Lt/m ³
	Agregado Fino seco	= 804.06 kg/m ³
	Agregado Grueso seco	= 876.49 kg/m ³
14. Corrección del diseño por el aporte de humedad de los agregados		
<i>Humedad Superficial de los Agregados</i>	Agregado Fino	= 0.81 %
	Agregado Grueso	= -0.38 %
<i>Aporte de humedad de los agregados</i>	Agregado Fino	= 6.53 Lt/m ³
	Agregado Grueso	= -3.37 Lt/m ³
	Aporte Total	= 3.15 Lt/m ³

15. Presentación del diseño de mezcla en estado húmedo.	
Peso de los materiales corregidos por humedad a ser empleados en las mezclas de prueba por m3	Cemento = 410.00 Kg/m3
	Agua efectiva = 201.53 lt/m3
	Agregado Fino húmedo = 820.35 Kg/m3
	Agregado Grueso húmedo = 882.00 Kg/m3
Materiales corregidos por humedad por tanda (0.02 m3 < > 3prob.)	Cemento = 8.20 Kg/tanda
	Agua efectiva = 4.04 lt/tanda
	Agregado Fino húmedo = 16.41 Kg/tanda
	Agregado Grueso húmedo = 17.64 Kg/tanda
16. Proporción en peso de obra.	
	Cemento = 1
	Agregado Fino húmedo = 2.00
	Agregado Grueso húmedo = 2.15
	Agua efectiva = 0.49 Lt/Kg
17. Conversión del peso de obra a volumen equivalente.	
<i>Peso unitario del ...</i>	Agregado Fino húmedo = 1690.87 Kg_/m3
	Agregado Grueso húmedo = 1381.34 Kg_/m3
<i>Peso por pie cúbico del ...</i>	Cemento = 42.50 Kg/pie3
	Agregado Fino húmedo = 47.88 Kg/pie3
	Agregado Grueso húmedo = 39.12 Kg/pie3
<i>Dosificación en volumen equivalente</i>	Cemento = 1
	Agregado Fino húmedo = 1.78
	Agregado Grueso húmedo = 2.34
	Agua efectiva = 20.92 Lt/bls

Cuadro N° 26: Peso unitario del concreto fresco

Dimensiones Olla de Washington	
Diámetro	0.204 m
Altura	0.221 m
Volumen	0.00722341 m3
Peso Unitario del Concreto Fresco	
Peso de la Mezcla	16.734 Kg
Peso Unitario del concreto Fresco	2316.63 Kg/m3

Cuadro N° 27: Ajuste por las características de la mezcla de concreto

TESIS : EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO DE $f'c=300$ Kg/cm² EMPLEANDO CEMENTO PORTLAND TIPO I Y EL ADITIVO SIKA CEM IMPERMEABLE, EN LA PROVINCIA DE CAJAMARCA	
TESISTA : Bach. Ing. Wilder Terán Tejada	
Fecha de Corrección	: 22 de julio de 2017
Revisado por	: Mg. Ing. HECTOR A. PEREZ LOAYZA
AJUSTE POR LAS CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA ELABORADA (CORRECCIÓN POR APARIENCIA, ASENTAMIENTO, AGUA ADICIONAL Y CONTENIDO DE AIRE)	
Volumen absoluto de la pasta	Cemento = 0.1331 m ³ Agua de diseño = 0.205 m ³ Aire atrapado = 0.02 m ³ TOTAL = 0.3581 m³
Volúmenes absolutos de los agregados	Volumen absoluto de los agregados = 0.6419 m ³ Agregado Fino = 0.3062 m ³ Agregado Grueso = 0.3356 m ³
Peso específico de la mezcla	Peso específico de la mezcla = 2361.43 Kg/m ³
Materiales corregidos por humedad por m³	Cemento = 410.00 Kg/m ³ Agua Efectiva = 201.85 lt/m ³ Agregado Fino húmedo = 820.35 Kg/m ³ Agregado Grueso húmedo = 882.00 Kg/m ³
Materiales húmedos, por tanda (0.02 m³ < > 3 prob.)	Cemento = 8.20 Kg/tanda Agua Efectiva = 4.04 lt/tanda Agregado fino húmedo = 16.41 Kg/tanda Agregado grueso húmedo = 17.64 Kg/tanda
Tanda de mezclado	Peso de la Colada = 46.28 Kg/tanda
Datos obtenidos en laboratorio	Apariencia = Ligeramente gravosa Asentamiento = 10.50 Cm Agua adicional = 10.00 cm ³ Peso específico de la mezcla = 2361.43 Kg/m ³ Peso Unitario del Concreto Fresco = 2316.63 Kg/m ³ % Vacios (Teórico) = 1.90 % % Vacios (Práctico: Olla de Washington) = 2.30 %
Rendimiento	Rendimiento de la tanda = 0.01998 m ³ /tanda
Agua de mezclado por tanda	Aporte del Agregado Fino = 0.13 lt/tanda Aporte del Agregado Grueso = -0.07 lt/tanda Agua de mezclado = 4.05 lt/tanda Agua de mezclado por tanda = 4.11 lt/tanda
Agua de mezclado por m³, corrección por agua adicional	Agua de mezclado por m³ = 205.71 lt/m³
Corrección por el asentamiento del concreto (Por cada 1 cm de slump que se necesita incrementar, se aumentará 2 Lt de agua, y viceversa)	Asentamiento deseado = 9.00 cm Asentamiento obtenido = 10.50 cm Disminuir asentamiento en = -1.50 cm Disminuir el agua de mezcla en = -3.00 lt/m ³

Agua de mezclado por m3, corrección por asentamiento	Agua de mezclado por m3	=	202.71 lt/m3
Corrección por contenido de aire (Por cada 1 % en el contenido de aire que necesito disminuir debo incrementar 3 Lt de agua)	Contenido de aire deseado	=	2.00 %
	Contenido de aire obtenido	=	2.30 %
	Disminuir el contenido de aire en	=	0.30 %
	Incrementar el agua de mezcla en	=	0.90 lt/m3
Agua de mezclado por m3, corrección por contenido de aire	Agua de mezclado por m3	=	203.61 lt/m3
Corrección por apariencia de la mezcla (Mezcla Sobregravosa -> Disminuimos 10% de agregado grueso)	Nuevo contenido de cemento por m3	=	407.22 Kg/m3
	Cemento	=	0.1322 m3
	Agua de diseño	=	0.2036 m3
	Aire atrapado	=	0.0200 m3
	Agregado grueso	=	0.3021 m3
	Agregado fino	=	0.3421 m3
Nuevos Materiales de Diseño	Cemento	=	407.22 Kg/m3
	Agua de diseño	=	203.61 lt/m3
	Agregado grueso	=	788.84 Kg/m3
	Agregado fino	=	898.20 Kg/m3
	Aire atrapado	=	2.00 %
Materiales secos, por tanda (0.02 m³)	Cemento	=	8.14 Kg/tanda
	Agua de diseño	=	4.07 lt/tanda
	Agregado Fino seco	=	17.96 Kg/tanda
	Agregado Grueso seco	=	15.78 Kg/tanda

Cuadro N° 28: Porcentaje mínimo y máximo del aditivo Sika Cem Impermeable

Peso Específico Aditivo (Kg/m3):		1020.00
Dosificación de aditivo Sika cem Impermeable por 1 bls de 42.5kg de cemento		
MÁXIMO		MÍNIMO
De 400 ml = 0.40 Lt	a	1200 ml = 1.20 Lt
Equivalencia en volumen (m3)		
De 0.0004 m3	a	0.0012 m3
Equivalencia en peso (Kg)		
De 0.408 Kg	a	1.224 Kg
Equivalencia en porcentaje (%)		
De 0.96 %	a	2.88 %

Cuadro N° 29: Diseño de mezcla con 0.96% de Sika Cem Impermeable

ADICIÓN DEL ADITIVO SIKA CEM IMPERMEABLE, A LA MEZCLA DE CONCRETO AJUSTADA, EN 0.96%			
Volúmenes absolutos de materiales de diseño sin la adición de Sika Cem Impermeable	Cemento	=	0.132 m3
	Agua de diseño	=	0.204 m3
	Sika Cem Impermeable	=	0.000 m3
	Agregado fino seco	=	0.342 m3
	Agregado grueso seco	=	0.302 m3
	Aire atrapado	=	0.02 m3
Volúmenes absolutos de materiales de diseño con 0.96% de Sika Cem Impermeable	Sika Cem Impermeable	=	0.0076 m3
	Nueva agua de diseño	=	0.200 m3
	Cemento	=	0.132 m3
	Aire atrapado	=	0.020 m3
Porcentaje de Agregados de diseño	Agregado fino seco	=	53.11 %
	Agregado grueso seco	=	46.89 %
Volúmenes absolutos de los materiales de diseño con 0.96% de Sika Cem Impermeable	Nueva agua de diseño	=	0.200 m3
	Nuevo Cemento	=	0.132 m3
	Sika Cem Impermeable	=	0.0038 m3
	Aire atrapado	=	0.020 m3
	Agregado fino seco	=	0.342 m3
	Agregado grueso seco	=	0.302 m3
Diseño de mezcla con 0.96% de Sika Cem Impermeable	Agua de diseño	=	199.78 lt/m3
	Cemento	=	407.22 Kg/m3
	Sika Cem Impermeable	=	3.91 Kg/m3
	Agregado fino seco	=	898.20 Kg/m3
	Agregado grueso seco	=	778.84 Kg/m3
	Aire atrapado	=	2.00 %

CORRECCIÓN POR HUMEDAD DEL DISEÑO CON 0.96% DE SIKA CEM IMPERMEABLE			
Contenido de Humedad de los Componentes	Agregado Fino	=	1.75 %
	Agregado Grueso	=	1.37 %
Absorción de los Componentes	Agregado Fino	=	1.21 %
	Agregado Grueso	=	1.01 %
Aporte de Humedad de los Componentes	Agregado Fino	=	4.81 lt/m3
	Agregado Grueso	=	2.81 lt/m3
	Aporte Total	=	7.61 lt/m3
Agua Efectiva	Agua Efectiva	=	192.16 lt/m3
Materiales de diseño húmedos con 0.96% de Sika Cem Impermeable	Cemento	=	407.22 Kg/m3
	Agua Efectiva	=	192.16 lt/m3
	Sika Cem Impermeable	=	3.91 Kg/m3
	Agregado Fino Húmedo	=	913.92 Kg/m3
	Agregado Grueso Húmedo	=	799.65 Kg/m3
	Aire atrapado	=	2.00 %

Cuadro N° 30: Diseño de mezcla con 1.92% de Sika Cem Impermeable.

ADICIÓN DEL ADITIVO SIKA CEM IMPERMEABLE, A LA MEZCLA DE CONCRETO AJUSTADA, EN 1.92%			
Volúmenes absolutos de materiales de diseño sin la adición de Sika Cem Impermeable	Cemento	=	0.132 m3
	Agua de diseño	=	0.204 m3
	Sika Cem Impermeable	=	0.000 m3
	Agregado fino seco	=	0.342 m3
	Agregado grueso seco	=	0.302 m3
	Aire atrapado	=	0.02 m3
Volúmenes absolutos de materiales de diseño con 1.92% de Sika Cem Impermeable	Sika Cem Impermeable	=	0.0077 m3
	Nueva agua de diseño	=	0.196 m3
	Cemento	=	0.132 m3
	Aire atrapado	=	0.020 m3
Porcentaje de Agregados de diseño	Agregado fino seco	=	53.11 %
	Agregado grueso seco	=	46.89 %
Volúmenes absolutos de los materiales de diseño con 1.92% de Sika Cem Impermeable	Nueva agua de diseño	=	0.196 m3
	Nuevo Cemento	=	0.132 m3
	Sika Cem Impermeable	=	0.0077 m3
	Aire atrapado	=	0.020 m3
	Agregado fino seco	=	0.342 m3
	Agregado grueso seco	=	0.302 m3
Diseño de mezcla con 1.92% de Sika Cem Impermeable	Agua de diseño	=	195.94 lt/m3
	Cemento	=	407.22 Kg/m3
	Sika Cem Impermeable	=	7.82 Kg/m3
	Agregado fino seco	=	898.20 Kg/m3
	Agregado grueso seco	=	788.84 Kg/m3
	Aire atrapado	=	2.00 %

CORRECCIÓN POR HUMEDAD DEL DISEÑO CON 1.92% DE SIKA CEM IMPERMEABLE			
Contenido de Humedad de los Componentes	Agregado Fino	=	1.75 %
	Agregado Grueso	=	1.37 %
Absorción de los Componentes	Agregado Fino	=	1.21 %
	Agregado Grueso	=	1.01 %
Aporte de Humedad de los Componentes	Agregado Fino	=	4.81 lt/m3
	Agregado Grueso	=	2.81 lt/m3
	Aporte Total	=	7.61 lt/m3
Agua Efectiva	Agua Efectiva	=	188.33 lt/m3
Materiales de diseño húmedos con 1.92% de Sika Cem Impermeable	Cemento	=	407.22 Kg/m3
	Agua Efectiva	=	188.33 lt/m3
	Sika Cem Impermeable	=	7.82 Kg/m3
	Agregado Fino Húmedo	=	913.92 Kg/m3
	Agregado Grueso Húmedo	=	799.65 Kg/m3
	Aire atrapado	=	2.00 %

Cuadro N° 31: Diseño de mezcla con 2.88% de Sika Cem Impermeable.

ADICIÓN DEL ADITIVO SIKA CEM IMPERMEABLE A LA MEZCLA DE CONCRETO AJUSTADA EN 2.88%			
Volúmenes absolutos de materiales de diseño sin la adición de Sika Cem Impermeable	Cemento	=	0.132 m3
	Agua de diseño	=	0.204 m3
	Sika Cem Impermeable	=	0.000 m3
	Agregado fino seco	=	0.342 m3
	Agregado grueso seco	=	0.302 m3
	Aire atrapado	=	0.02 m3
Volúmenes absolutos de materiales de diseño con 2.88% de Sika Cem Impermeable	Sika Cem Impermeable	=	0.0115 m3
	Nueva agua de diseño	=	0.192 m3
	Cemento	=	0.132 m3
	Aire atrapado	=	0.020 m3
Porcentaje de Agregados de diseño	Agregado fino seco	=	53.11 %
	Agregado grueso seco	=	46.89 %
Volúmenes absolutos de los materiales de diseño con 2.88% de Sika Cem Impermeable	Nueva agua de diseño	=	0.192 m3
	Nuevo Cemento	=	0.132 m3
	Sika Cem Impermeable	=	0.0115 m3
	Aire atrapado	=	0.020 m3
	Agregado fino seco	=	0.342 m3
	Agregado grueso seco	=	0.302 m3
Diseño de mezcla con 2.88% de Sika Cem Impermeable	Agua de diseño	=	192.11 lt/m3
	Cemento	=	407.22 Kg/m3
	Sika Cem Impermeable	=	11.73 Kg/m3
	Agregado fino seco	=	898.20 Kg/m3
	Agregado grueso seco	=	788.84 Kg/m3
	Aire atrapado	=	2.00 %

CORRECCIÓN POR HUMEDAD DEL DISEÑO CON 2.88% DE SIKA CEM IMPERMEABLE			
Contenido de Humedad de los Componentes	Agregado Fino	=	1.75 %
	Agregado Grueso	=	1.37 %
Absorción de los Componentes	Agregado Fino	=	1.21 %
	Agregado Grueso	=	1.01 %
Aporte de Humedad de los Componentes	Agregado Fino	=	4.81 lt/m3
	Agregado Grueso	=	2.81 lt/m3
	Aporte Total	=	7.61 lt/m3
Agua Efectiva	Agua Efectiva	=	184.50 lt/m3
Materiales de diseño húmedos con 2.88% de Sika Cem Impermeable	Cemento	=	407.22 Kg/m3
	Agua Efectiva	=	184.50 lt/m3
	Sika Cem Impermeable	=	11.73 Kg/m3
	Agregado Fino Húmedo	=	913.92 Kg/m3
	Agregado Grueso Húmedo	=	799.65 Kg/m3
	Aire atrapado	=	2.00 %

ANEXO N°04: PROPIEDADES FÍSICAS DEL CONCRETO

4.1. PERMEABILIDAD DEL CONCRETO

4.1.1. Altura equivalente de evaporación en el permeámetro

Cuadro N° 32: Ensayo de la evaporación del agua durante 24 y 72 horas

DESCRIPCIÓN	ENSAYOS 24h				
	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5
W _o	200 g	400 g	600 g	800 g	1000 g
W _f	196.8 g	395.9 g	595.8 g	796.5 g	995.7 g
W _{AE}	3.2 g	4.1 g	4.2 g	3.5 g	4.3 g
V _{AE}	3.21 cm ³	4.12 cm ³	4.22 cm ³	3.51 cm ³	4.32 cm ³
ΔHe _{TCP}	0.16 cm	0.21 cm	0.21 cm	0.18 cm	0.22 cm
Promedio	0.20 cm				
ENSAYOS 72h					
	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5
W _o	200 g	400 g	600 g	800 g	1000 g
W _f	192.4 g	392.1 g	590.3 g	789.8 g	992.1 g
W _{AE}	7.6 g	7.9 g	9.7 g	10.2 g	7.9 g
V _{AE}	7.63 cm ³	7.93 cm ³	9.74 cm ³	10.24 cm ³	7.93 cm ³
ΔHe _{TCP}	0.39 cm	0.40 cm	0.50 cm	0.52 cm	0.40 cm
Promedio	0.44 cm				

Luego, la evaporación promedio durante 24h en el tubo de carga es 3.39cm³ y el promedio de la altura equivalente del agua evaporada es 0.17cm.

RESULTADOS PROMEDIO	
V _{AE}	3.39 cm ³
ΔHe _{TCP}	0.17 cm

4.1.2. Ensayos de permeabilidad del concreto a los 7 días de curado.

Cuadro N° 33: Ensayo (repetitivo) de permeabilidad a los 7 días de curado del concreto patrón, considerando la evaporación del agua.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (Método de Darcy)						
CURADO 7 días	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6
Descripción	ESPECÍMEN DE CONCRETO PATRÓN					
Sección "A" (cm ²)	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54
Altura "L" (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	TUBO DE CARGA					
Sección "a" (cm ²)	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63
Altura inicial "H ₀ " (cm)	165.1	165.1	165.1	165.1	165.1	165.1
Altura final "H _{f 1} " (cm)	159.95	161.32	163.00	163.85	163.98	164.15
ΔH _e TCP (cm)	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
Altura final "H _{f 2} " (cm)	160.12	161.49	163.17	164.02	164.15	164.32
Tiempo "Δt" (s)	86400	86400	86400	86400	86400	86400
	PERMEABILIDAD					
Coeficiente "K" (m/s)	8.85E-09	6.39E-09	3.40E-09	1.90E-09	1.67E-09	1.37E-09

Cuadro N° 34: Ensayo (acumulativo) de permeabilidad a los 7 días de curado del concreto patrón, considerando la evaporación del agua.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (Método de Darcy)						
CURADO 7 días	Ensayo 7	Ensayo 8	Ensayo 9	Ensayo 10	Ensayo 11	Ensayo 12
Descripción	ESPECÍMEN DE CONCRETO PATRÓN					
Sección "A" (cm ²)	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54
Altura "L" (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	TUBO DE CARGA					
Sección "a" (cm ²)	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63
Altura inicial "H ₀ " (cm)	165.1	165.1	165.1	165.1	165.1	165.1
Altura final "H _{f 1} " (cm)	164.3	163.62	162.9	162.23	161.52	160.81
ΔH _e TCP (cm)	0.17	0.34	0.51	0.68	0.85	1.02
Altura final "H _{f 2} " (cm)	164.47	163.96	163.41	162.91	162.37	161.83
Tiempo "Δt" (s)	86400	172800	259200	345600	432000	518400
	PERMEABILIDAD					
Coeficiente "K" (m/s)	1.10E-09	1.00E-09	9.91E-10	9.65E-10	9.64E-10	9.64E-10

Cuadro N° 35: Ensayo (repetitivo) de permeabilidad a los 7 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, considerando la evaporación del agua.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (Método de Darcy)						
CURADO 7 días	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6
Descripción	ESPECÍMEN DE CONCRETO + ADITIVO AL 0.96%					
Sección "A" (cm ²)	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54
Altura "L" (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	TUBO DE CARGA					
Sección "a" (cm ²)	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63
Altura inicial "H ₀ " (cm)	169.1	169.1	169.1	169.1	169.1	169.1
Altura final "H _f 1" (cm)	167.18	167.56	167.9	168.14	168.46	168.64
ΔHe TCP (cm)	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
Altura final "H _f 2" (cm)	167.35	167.73	168.07	168.31	168.63	168.81
Tiempo "Δt" (s)	86400	86400	86400	86400	86400	86400
	PERMEABILIDAD					
Coeficiente "K" (cm/s)	3.01E-09	2.35E-09	1.77E-09	1.35E-09	8.04E-10	4.96E-10

Cuadro N° 36: Ensayo (acumulativo) de permeabilidad a los 7 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, considerando la evaporación del agua.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (Método de Darcy)						
CURADO 7 días	Ensayo 7	Ensayo 8	Ensayo 9	Ensayo 10	Ensayo 11	Ensayo 12
Descripción	ESPECÍMEN DE CONCRETO + ADITIVO AL 0.96%					
Sección "A" (cm ²)	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54
Altura "L" (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	TUBO DE CARGA					
Sección "a" (cm ²)	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63
Altura inicial "H ₀ " (cm)	169.1	169.1	169.1	169.1	169.1	169.1
Altura final "H _f 1" (cm)	168.73	168.44	168.17	167.93	167.72	167.54
ΔHe TCP (cm)	0.17	0.34	0.51	0.68	0.85	1.02
Altura final "H _f 2" (cm)	168.9	168.78	168.68	168.61	168.57	168.56
Tiempo "Δt" (s)	86400	172800	259200	345600	432000	518400
	PERMEABILIDAD					
Coeficiente "K" (m/s)	3.42E-10	2.74E-10	2.40E-10	2.10E-10	1.81E-10	1.54E-10

Cuadro N° 37: Ensayo (repetitivo) de permeabilidad a los 7 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 1.92%, considerando la evaporación del agua.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (Método de Darcy)						
CURADO 7 días	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6
Descripción	ESPECÍMEN DE CONCRETO + ADITIVO AL 1.92%					
Sección "A" (cm ²)	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54
Altura "L" (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	TUBO DE CARGA					
Sección "a" (cm ²)	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63
Altura inicial "H ₀ " (cm)	168.6	168.6	168.6	168.6	168.6	168.6
Altura final "H _f 1" (cm)	166.76	167.39	167.57	167.92	168.09	168.22
ΔH _e TCP (cm)	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
Altura final "H _f 2" (cm)	166.93	167.56	167.74	168.09	168.26	168.39
Tiempo "Δt" (s)	86400	86400	86400	86400	86400	86400
	PERMEABILIDAD					
Coefficiente "K" (m/s)	2.88E-09	1.79E-09	1.48E-09	8.76E-10	5.83E-10	3.60E-10

Cuadro N° 38: Ensayo (acumulativo) de permeabilidad a los 7 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 1.92%, considerando la evaporación del agua.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (Método de Darcy)						
CURADO 7 días	Ensayo 7	Ensayo 8	Ensayo 9	Ensayo 10	Ensayo 11	Ensayo 12
Descripción	ESPECÍMEN DE CONCRETO + ADITIVO AL 1.92%					
Sección "A" (cm ²)	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54
Altura "L" (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	TUBO DE CARGA					
Sección "a" (cm ²)	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63
Altura inicial "H ₀ " (cm)	168.6	168.6	168.6	168.6	168.6	168.6
Altura final "H _f 1" (cm)	168.27	167.98	167.71	167.47	167.26	167.08
ΔH _e TCP (cm)	0.17	0.34	0.51	0.68	0.85	1.02
Altura final "H _f 2" (cm)	168.44	168.32	168.22	168.15	168.11	168.1
Tiempo "Δt" (s)	86400	172800	259200	345600	432000	518400
	PERMEABILIDAD					
Coefficiente "K" (m/s)	2.74E-10	2.40E-10	2.17E-10	1.93E-10	1.68E-10	1.43E-10

Cuadro N° 39: Ensayo (repetitivo) de permeabilidad a los 7 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 2.88%, considerando la evaporación del agua.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (Método de Darcy)						
CURADO 7 días	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6
Descripción	ESPECÍMEN DE CONCRETO + ADITIVO AL 2.88%					
Sección "A" (cm ²)	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54
Altura "L" (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	TUBO DE CARGA					
Sección "a" (cm ²)	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63
Altura inicial "H ₀ " (cm)	165.1	165.1	165.1	165.1	165.1	165.1
Altura final "H _f 1" (cm)	163.39	163.95	164.2	164.48	164.61	164.75
ΔH _e TCP (cm)	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
Altura final "H _f 2" (cm)	163.56	164.12	164.37	164.65	164.78	164.92
Tiempo "Δt" (s)	86400	86400	86400	86400	86400	86400
	PERMEABILIDAD					
Coeficiente "K" (m/s)	2.71E-09	1.72E-09	1.28E-09	7.89E-10	5.61E-10	3.15E-10

Cuadro N° 40: Ensayo (acumulativo) de permeabilidad a los 7 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 2.88%, considerando la evaporación del agua.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (Método de Darcy)						
CURADO 7 días	Ensayo 7	Ensayo 8	Ensayo 9	Ensayo 10	Ensayo 11	Ensayo 12
Descripción	ESPECÍMEN DE CONCRETO + ADITIVO AL 2.88%					
Sección "A" (cm ²)	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54
Altura "L" (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	TUBO DE CARGA					
Sección "a" (cm ²)	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63
Altura inicial "H ₀ " (cm)	165.1	165.1	165.1	165.1	165.1	165.1
Altura final "H _f 1" (cm)	164.78	164.52	164.28	164.04	163.83	163.62
ΔH _e TCP (cm)	0.17	0.34	0.51	0.68	0.85	1.02
Altura final "H _f 2" (cm)	164.95	164.86	164.79	164.72	164.68	164.64
Tiempo "Δt" (s)	86400	172800	259200	345600	432000	518400
	PERMEABILIDAD					
Coeficiente "K" (m/s)	2.63E-10	2.10E-10	1.81E-10	1.67E-10	1.47E-10	1.34E-10

4.1.3. Ensayos de permeabilidad del concreto a los 14 días de curado.

Cuadro N° 41: Ensayo (repetitivo) de permeabilidad a los 14 días de curado del concreto patrón, considerando la evaporación del agua.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (Método de Darcy)						
CURADO 14 días	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6
Descripción	ESPECÍMEN DE CONCRETO PATRÓN					
Sección "A" (cm ²)	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54
Altura "L" (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	TUBO DE CARGA					
Sección "a" (cm ²)	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63
Altura inicial "H ₀ " (cm)	165.1	165.1	165.1	165.1	165.1	165.1
Altura final "H _f 1" (cm)	160.55	161.93	163.15	163.92	164.05	164.25
ΔH _e TCP (cm)	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
Altura final "H _f 2" (cm)	160.72	162.1	163.32	164.09	164.22	164.42
Tiempo "Δt" (s)	86400	86400	86400	86400	86400	86400
	PERMEABILIDAD					
Coefficiente "K" (m/s)	7.77E-09	5.30E-09	3.13E-09	1.77E-09	1.54E-09	1.19E-09

Cuadro N° 42: Ensayo (acumulativo) de permeabilidad a los 14 días de curado del concreto patrón, considerando la evaporación del agua.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (Método de Darcy)						
CURADO 14 días	Ensayo 7	Ensayo 8	Ensayo 9	Ensayo 10	Ensayo 11	Ensayo 12
Descripción	ESPECÍMEN DE CONCRETO PATRÓN					
Sección "A" (cm ²)	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54
Altura "L" (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	TUBO DE CARGA					
Sección "a" (cm ²)	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63
Altura inicial "H ₀ " (cm)	165.1	165.1	165.1	165.1	165.1	165.1
Altura final "H _f 1" (cm)	164.28	163.6	162.88	162.18	161.48	160.76
ΔH _e TCP (cm)	0.17	0.34	0.51	0.68	0.85	1.02
Altura final "H _f 2" (cm)	164.45	163.94	163.39	162.86	162.33	161.78
Tiempo "Δt" (s)	86400	172800	259200	345600	432000	518400
	PERMEABILIDAD					
Coefficiente "K" (m/s)	1.14E-09	1.02E-09	1.00E-09	9.87E-10	9.78E-10	9.79E-10

Cuadro N° 43: Ensayo (repetitivo) de permeabilidad a los 14 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, considerando la evaporación del agua.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (Método de Darcy)						
CURADO 14 días	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6
Descripción	ESPECÍMEN DE CONCRETO + ADITIVO AL 0.96%					
Sección "A" (cm ²)	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54
Altura "L" (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	TUBO DE CARGA					
Sección "a" (cm ²)	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63
Altura inicial "H ₀ " (cm)	169.1	169.1	169.1	169.1	169.1	169.1
Altura final "H _f 1" (cm)	167.31	167.76	168.03	168.28	168.42	168.64
ΔH _e TCP (cm)	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
Altura final "H _f 2" (cm)	167.48	167.93	168.2	168.45	168.59	168.81
Tiempo "Δt" (s)	86400	86400	86400	86400	86400	86400
	PERMEABILIDAD					
Coeficiente "K" (m/s)	2.78E-09	2.01E-09	1.54E-09	1.11E-09	8.73E-10	4.96E-10

Cuadro N° 44: Ensayo (acumulativo) de permeabilidad a los 14 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, considerando la evaporación del agua.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (Método de Darcy)						
CURADO 14 días	Ensayo 7	Ensayo 8	Ensayo 9	Ensayo 10	Ensayo 11	Ensayo 12
Descripción	ESPECÍMEN DE CONCRETO + ADITIVO AL 0.96%					
Sección "A" (cm ²)	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54
Altura "L" (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	TUBO DE CARGA					
Sección "a" (cm ²)	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63
Altura inicial "H ₀ " (cm)	169.1	169.1	169.1	169.1	169.1	169.1
Altura final "H _f 1" (cm)	168.75	168.49	168.25	168.13	167.93	167.75
ΔH _e TCP (cm)	0.17	0.34	0.51	0.68	0.85	1.02
Altura final "H _f 2" (cm)	168.92	168.83	168.76	168.81	168.78	168.77
Tiempo "Δt" (s)	86400	172800	259200	345600	432000	518400
	PERMEABILIDAD					
Coeficiente "K" (m/s)	3.08E-10	2.31E-10	1.94E-10	1.24E-10	1.09E-10	9.41E-11

Cuadro N° 45: Ensayo (repetitivo) de permeabilidad a los 14 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 1.92%, considerando la evaporación del agua.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (Método de Darcy)						
CURADO 14 días	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6
Descripción	ESPECÍMEN DE CONCRETO + ADITIVO AL 1.92%					
Sección "A" (cm ²)	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54
Altura "L" (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	TUBO DE CARGA					
Sección "a" (cm ²)	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63
Altura inicial "H ₀ " (cm)	168.6	168.6	168.6	168.6	168.6	168.6
Altura final "H _f 1" (cm)	166.78	167.35	167.6	167.88	168.02	168.19
ΔHe TCP (cm)	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
Altura final "H _f 2" (cm)	166.95	167.52	167.77	168.05	168.19	168.36
Tiempo "Δt" (s)	86400	86400	86400	86400	86400	86400
	PERMEABILIDAD					
Coeficiente "K" (m/s)	2.84E-09	1.86E-09	1.43E-09	9.44E-10	7.04E-10	4.12E-10

Cuadro N° 46: Ensayo (acumulativo) de permeabilidad a los 14 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 1.92%, considerando la evaporación del agua.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (Método de Darcy)						
CURADO 14 días	Ensayo 7	Ensayo 8	Ensayo 9	Ensayo 10	Ensayo 11	Ensayo 12
Descripción	ESPECÍMEN DE CONCRETO + ADITIVO AL 1.92%					
Sección "A" (cm ²)	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54
Altura "L" (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	TUBO DE CARGA					
Sección "a" (cm ²)	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63
Altura inicial "H ₀ " (cm)	168.6	168.6	168.6	168.6	168.6	168.6
Altura final "H _f 1" (cm)	168.27	167.99	167.77	167.65	167.45	167.3
ΔHe TCP (cm)	0.17	0.34	0.51	0.68	0.85	1.02
Altura final "H _f 2" (cm)	168.44	168.33	168.28	168.33	168.3	168.32
Tiempo "Δt" (s)	86400	172800	259200	345600	432000	518400
	PERMEABILIDAD					
Coeficiente "K" (m/s)	2.74E-10	2.32E-10	1.83E-10	1.16E-10	1.03E-10	8.01E-11

Cuadro N° 47: Ensayo (repetitivo) de permeabilidad a los 14 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 2.88%, considerando la evaporación del agua.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (Método de Darcy)						
CURADO 14 días	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6
Descripción	ESPECÍMEN DE CONCRETO + ADITIVO AL 2.88%					
Sección "A" (cm ²)	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54
Altura "L" (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	TUBO DE CARGA					
Sección "a" (cm ²)	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63
Altura inicial "H ₀ " (cm)	165.1	165.1	165.1	165.1	165.1	165.1
Altura final "H _f 1" (cm)	163.33	163.9	164.12	164.41	164.56	164.72
ΔHe TCP (cm)	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
Altura final "H _f 2" (cm)	163.5	164.07	164.29	164.58	164.73	164.89
Tiempo "Δt" (s)	86400	86400	86400	86400	86400	86400
	PERMEABILIDAD					
Coeficiente "K" (m/s)	2.81E-09	1.81E-09	1.42E-09	9.12E-10	6.48E-10	3.68E-10

Cuadro N° 48: Ensayo (acumulativo) de permeabilidad a los 14 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 2.88%, considerando la evaporación del agua.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (Método de Darcy)						
CURADO 14 días	Ensayo 7	Ensayo 8	Ensayo 9	Ensayo 10	Ensayo 11	Ensayo 12
Descripción	ESPECÍMEN DE CONCRETO + ADITIVO AL 2.88%					
Sección "A" (cm ²)	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54
Altura "L" (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	TUBO DE CARGA					
Sección "a" (cm ²)	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63
Altura inicial "H ₀ " (cm)	165.1	165.1	165.1	165.1	165.1	165.1
Altura final "H _f 1" (cm)	164.79	164.52	164.29	164.14	163.96	163.8
ΔHe TCP (cm)	0.17	0.34	0.51	0.68	0.85	1.02
Altura final "H _f 2" (cm)	164.96	164.86	164.8	164.82	164.81	164.82
Tiempo "Δt" (s)	86400	172800	259200	345600	432000	518400
	PERMEABILIDAD					
Coeficiente "K" (m/s)	2.45E-10	2.10E-10	1.75E-10	1.23E-10	1.02E-10	8.18E-11

4.1.4. Ensayos de permeabilidad del concreto a los 28 días de curado.

Cuadro N° 49: Ensayo (repetitivo) de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto patrón, considerando la evaporación del agua.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (Método de Darcy)						
CURADO 28 días	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6
Descripción	ESPECÍMEN DE CONCRETO PATRÓN					
Sección "A" (cm ²)	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54
Altura "L" (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	TUBO DE CARGA					
Sección "a" (cm ²)	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63
Altura inicial "H ₀ " (cm)	165.1	165.1	165.1	165.1	165.1	165.1
Altura final "H _f 1" (cm)	163.25	163.63	163.55	163.92	163.95	163.97
ΔH _e TCP (cm)	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
Altura final "H _f 2" (cm)	163.42	163.8	163.72	164.09	164.12	164.14
Tiempo "Δt" (s)	86400	86400	86400	86400	86400	86400
	PERMEABILIDAD					
Coeficiente "K" (m/s)	2.96E-09	2.28E-09	1.90E-09	1.77E-09	1.72E-09	1.69E-09

Cuadro N° 50: Ensayo (acumulativo) de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto patrón, considerando la evaporación del agua.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (Método de Darcy)						
CURADO 28 días	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6
Descripción	ESPECÍMEN DE CONCRETO PATRÓN					
Sección "A" (cm ²)	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54
Altura "L" (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	TUBO DE CARGA					
Sección "a" (cm ²)	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63
Altura inicial "H ₀ " (cm)	165.1	165.1	165.1	165.1	165.1	165.1
Altura final "H _f 1" (cm)	163.98	162.85	161.74	160.61	159.47	158.37
ΔH _e TCP (cm)	0.17	0.34	0.51	0.68	0.85	1.02
Altura final "H _f 2" (cm)	164.15	163.19	162.25	161.29	160.32	159.39
Tiempo "Δt" (s)	86400	172800	259200	345600	432000	518400
	PERMEABILIDAD					
Coeficiente "K" (m/s)	1.67E-09	1.68E-09	1.68E-09	1.69E-09	1.70E-09	1.70E-09

Cuadro N° 51: Ensayo (repetitivo) de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, considerando la evaporación del agua.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (Método de Darcy)						
CURADO 28 días	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6
Descripción	ESPECÍMEN DE CONCRETO + ADITIVO AL 0.96%					
Sección "A" (cm ²)	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54
Altura "L" (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	TUBO DE CARGA					
Sección "a" (cm ²)	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63
Altura inicial "H ₀ " (cm)	169.1	169.1	169.1	169.1	169.1	169.1
Altura final "H _f 1" (cm)	168.71	168.72	168.75	168.78	168.82	168.84
ΔH _e TCP (cm)	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
Altura final "H _f 2" (cm)	168.88	168.89	168.92	168.95	168.99	169.01
Tiempo "Δt" (s)	86400	86400	86400	86400	86400	86400
	PERMEABILIDAD					
Coeficiente "K" (m/s)	3.76E-10	3.59E-10	3.08E-10	2.56E-10	1.88E-10	1.54E-10

Cuadro N° 52: Ensayo (acumulativo) de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, considerando la evaporación del agua.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (Método de Darcy)						
CURADO 28 días	Ensayo 7	Ensayo 8	Ensayo 9	Ensayo 10	Ensayo 11	Ensayo 12
Descripción	ESPECÍMEN DE CONCRETO + ADITIVO AL 0.96%					
Sección "A" (cm ²)	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54
Altura "L" (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	TUBO DE CARGA					
Sección "a" (cm ²)	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63
Altura inicial "H ₀ " (cm)	169.1	169.1	169.1	169.1	169.1	169.1
Altura final "H _f 1" (cm)	168.84	168.59	168.33	168.08	167.83	167.56
ΔH _e TCP (cm)	0.17	0.34	0.51	0.68	0.85	1.02
Altura final "H _f 2" (cm)	169.01	168.93	168.84	168.76	168.68	168.58
Tiempo "Δt" (s)	86400	172800	259200	345600	432000	518400
	PERMEABILIDAD					
Coeficiente "K" (m/s)	1.54E-10	1.45E-10	1.48E-10	1.45E-10	1.44E-10	1.48E-10

Cuadro N° 53: Ensayo (repetitivo) de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 1.92%, considerando la evaporación del agua.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (Método de Darcy)						
CURADO 28 días	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6
Descripción	ESPECÍMEN DE CONCRETO + ADITIVO AL 1.92%					
Sección "A" (cm ²)	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54
Altura "L" (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	TUBO DE CARGA					
Sección "a" (cm ²)	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63
Altura inicial "H ₀ " (cm)	168.6	168.6	168.6	168.6	168.6	168.6
Altura final "H _f 1" (cm)	168.22	168.23	168.26	168.29	168.34	168.35
ΔH _e TCP (cm)	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
Altura final "H _f 2" (cm)	168.39	168.4	168.43	168.46	168.51	168.52
Tiempo "Δt" (s)	86400	86400	86400	86400	86400	86400
	PERMEABILIDAD					
Coeficiente "K" (m/s)	3.60E-10	3.43E-10	2.92E-10	2.40E-10	1.54E-10	1.37E-10

Cuadro N° 54: Ensayo (acumulativo) de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 1.92%, considerando la evaporación del agua.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (Método de Darcy)						
CURADO 28 días	Ensayo 7	Ensayo 8	Ensayo 9	Ensayo 10	Ensayo 11	Ensayo 12
Descripción	ESPECÍMEN DE CONCRETO + ADITIVO AL 1.92%					
Sección "A" (cm ²)	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54
Altura "L" (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	TUBO DE CARGA					
Sección "a" (cm ²)	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63
Altura inicial "H ₀ " (cm)	168.6	168.6	168.6	168.6	168.6	168.6
Altura final "H _f 1" (cm)	168.35	168.1	167.84	167.59	167.34	167.09
ΔH _e TCP (cm)	0.17	0.34	0.51	0.68	0.85	1.02
Altura final "H _f 2" (cm)	168.52	168.44	168.35	168.27	168.19	168.11
Tiempo "Δt" (s)	86400	172800	259200	345600	432000	518400
	PERMEABILIDAD					
Coeficiente "K" (m/s)	1.37E-10	1.37E-10	1.43E-10	1.42E-10	1.41E-10	1.40E-10

Cuadro N° 55: Ensayo (repetitivo) de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 2.88%, considerando la evaporación del agua.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (Método de Darcy)						
CURADO 28 días	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6
Descripción	ESPECÍMEN DE CONCRETO + ADITIVO AL 2.88%					
Sección "A" (cm ²)	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54
Altura "L" (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	TUBO DE CARGA					
Sección "a" (cm ²)	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63
Altura inicial "H ₀ " (cm)	165.1	165.1	165.1	165.1	165.1	165.1
Altura final "H _f 1" (cm)	164.75	164.78	164.83	164.85	164.86	164.86
ΔHe TCP (cm)	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
Altura final "H _f 2" (cm)	164.92	164.95	165	165.02	165.03	165.03
Tiempo "Δt" (s)	86400	86400	86400	86400	86400	86400
	PERMEABILIDAD					
Coeficiente "K" (m/s)	3.15E-10	2.63E-10	1.75E-10	1.40E-10	1.23E-10	1.23E-10

Cuadro N° 56: Ensayo (acumulativo) de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 2.88%, considerando la evaporación del agua.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (Método de Darcy)						
CURADO 28 días	Ensayo 7	Ensayo 8	Ensayo 9	Ensayo 10	Ensayo 11	Ensayo 12
Descripción	ESPECÍMEN DE CONCRETO + ADITIVO AL 2.88%					
Sección "A" (cm ²)	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54
Altura "L" (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	TUBO DE CARGA					
Sección "a" (cm ²)	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63
Altura inicial "H ₀ " (cm)	165.1	165.1	165.1	165.1	165.1	165.1
Altura final "H _f 1" (cm)	164.86	164.61	164.37	164.13	163.9	163.65
ΔHe TCP (cm)	0.17	0.34	0.51	0.68	0.85	1.02
Altura final "H _f 2" (cm)	165.03	164.95	164.88	164.81	164.75	164.67
Tiempo "Δt" (s)	86400	172800	259200	345600	432000	518400
	PERMEABILIDAD					
Coeficiente "K" (m/s)	1.23E-10	1.31E-10	1.28E-10	1.27E-10	1.23E-10	1.26E-10

**4.1.5. Ensayos de permeabilidad del concreto a los 28 días de curado
(Restringiendo la evaporación)**

Cuadro N° 57: Ensayo (repetitivo) de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto patrón, considerando la evaporación del agua.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (Método de Darcy)						
CURADO 28 días	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6
Descripción	ESPECÍMEN DE CONCRETO PATRÓN					
Sección "A" (cm ²)	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54
Altura "L" (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	TUBO DE CARGA					
Sección "a" (cm ²)	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63
Altura inicial "H ₀ " (cm)	165.1	165.1	165.1	165.1	165.1	165.1
Altura final "H _{f1} " (cm)	163.3	163.32	163.45	163.5	163.59	163.65
Tiempo "Δt" (s)	86400	86400	86400	86400	86400	86400
	PERMEABILIDAD					
Coeficiente "K" (m/s)	3.17E-09	3.13E-09	2.90E-09	2.81E-09	2.66E-09	2.55E-09
Promedio	2.87E-09					

Cuadro N° 58: Ensayo (acumulativo) de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto patrón, considerando la evaporación del agua.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (Método de Darcy)						
CURADO 28 días	Ensayo 7	Ensayo 8	Ensayo 9	Ensayo 10	Ensayo 11	Ensayo 12
Descripción	ESPECÍMEN DE CONCRETO PATRÓN					
Sección "A" (cm ²)	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54
Altura "L" (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	TUBO DE CARGA					
Sección "a" (cm ²)	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63
Altura inicial "H ₀ " (cm)	165.1	165.1	165.1	165.1	165.1	165.1
Altura final "H _{f1} " (cm)	163.7	162.3	160.9	159.57	158.31	156.93
Tiempo "Δt" (s)	86400	172800	259200	345600	432000	518400
	PERMEABILIDAD					
Coeficiente "K" (m/s)	2.46E-09	2.47E-09	2.48E-09	2.46E-09	2.43E-09	2.44E-09
Promedio	2.46E-09					

Cuadro N° 59: Ensayo (repetitivo) de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, considerando la evaporación del agua.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (Método de Darcy)						
CURADO 28 días	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6
Descripción	ESPECÍMEN DE CONCRETO + ADITIVO AL 0.96%					
Sección "A" (cm ²)	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54
Altura "L" (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	TUBO DE CARGA					
Sección "a" (cm ²)	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63
Altura inicial "H ₀ " (cm)	169.1	169.1	169.1	169.1	169.1	169.1
Altura final "H _{f1} " (cm)	168.9	168.92	168.95	168.95	168.98	168.99
Tiempo "Δt" (s)	86400	86400	86400	86400	86400	86400
	PERMEABILIDAD					
Coeficiente "K" (m/s)	3.42E-10	3.08E-10	2.56E-10	2.56E-10	2.05E-10	1.88E-10
Promedio	2.59E-10					

Cuadro N° 60: Ensayo (acumulativo) de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 0.96%, considerando la evaporación del agua.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (Método de Darcy)						
CURADO 28 días	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6
Descripción	ESPECÍMEN DE CONCRETO + ADITIVO AL 0.96%					
Sección "A" (cm ²)	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54
Altura "L" (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	TUBO DE CARGA					
Sección "a" (cm ²)	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63
Altura inicial "H ₀ " (cm)	169.1	169.1	169.1	169.1	169.1	169.1
Altura final "H _{f1} " (cm)	168.99	168.88	168.78	168.67	168.56	168.46
Tiempo "Δt" (s)	86400	172800	259200	345600	432000	518400
	PERMEABILIDAD					
Coeficiente "K" (m/s)	1.88E-10	1.88E-10	1.82E-10	1.84E-10	1.85E-10	1.83E-10
Promedio	1.85E-10					

Cuadro N° 61: Ensayo (repetitivo) de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 1.92%, considerando la evaporación del agua.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (Método de Darcy)						
CURADO 28 días	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6
Descripción	ESPECÍMEN DE CONCRETO + ADITIVO AL 1.92%					
Sección "A" (cm ²)	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54
Altura "L" (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	TUBO DE CARGA					
Sección "a" (cm ²)	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63
Altura inicial "H ₀ " (cm)	168.6	168.6	168.6	168.6	168.6	168.6
Altura final "H _{f 1} " (cm)	168.4	168.42	168.44	168.47	168.48	168.49
Tiempo "Δt" (s)	86400	86400	86400	86400	86400	86400
	PERMEABILIDAD					
Coeficiente "K" (m/s)	3.43E-10	3.09E-10	2.74E-10	2.23E-10	2.06E-10	1.89E-10
Promedio	2.57E-10					

Cuadro N° 62: Ensayo (acumulativo) de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 1.92%, considerando la evaporación del agua.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (Método de Darcy)						
CURADO 28 días	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6
Descripción	ESPECÍMEN DE CONCRETO + ADITIVO AL 1.92%					
Sección "A" (cm ²)	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54
Altura "L" (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	TUBO DE CARGA					
Sección "a" (cm ²)	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63
Altura inicial "H ₀ " (cm)	168.6	168.6	168.6	168.6	168.6	168.6
Altura final "H _{f 1} " (cm)	168.49	168.39	168.29	168.19	168.09	167.98
Tiempo "Δt" (s)	86400	172800	259200	345600	432000	518400
	PERMEABILIDAD					
Coeficiente "K" (m/s)	1.89E-10	1.80E-10	1.77E-10	1.76E-10	1.75E-10	1.77E-10
Promedio	1.79E-10					

Cuadro N° 63: Ensayo (repetitivo) de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 2.88%, considerando la evaporación del agua.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (Método de Darcy)						
CURADO 28 días	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6
Descripción	ESPECÍMEN DE CONCRETO + ADITIVO AL 2.88%					
Sección "A" (cm ²)	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54
Altura "L" (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	TUBO DE CARGA					
Sección "a" (cm ²)	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63
Altura inicial "H ₀ " (cm)	165.1	165.1	165.1	165.1	165.1	165.1
Altura final "H _{f 1} " (cm)	164.9	164.92	164.96	164.97	164.99	164.99
Tiempo "Δt" (s)	86400	86400	86400	86400	86400	86400
	PERMEABILIDAD					
Coeficiente "K" (m/s)	3.50E-10	3.15E-10	2.45E-10	2.28E-10	1.93E-10	1.93E-10
Promedio	2.54E-10					

Cuadro N° 64: Ensayo (acumulativo) de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto con aditivo Sika Cem Impermeable al 2.88%, considerando la evaporación del agua.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (Método de Darcy)						
CURADO 28 días	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6
Descripción	ESPECÍMEN DE CONCRETO + ADITIVO AL 2.88%					
Sección "A" (cm ²)	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54	78.54
Altura "L" (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	TUBO DE CARGA					
Sección "a" (cm ²)	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63
Altura inicial "H ₀ " (cm)	165.1	165.1	165.1	165.1	165.1	165.1
Altura final "H _{f 1} " (cm)	164.99	164.89	164.79	164.7	164.6	164.51
Tiempo "Δt" (s)	86400	172800	259200	345600	432000	518400
	PERMEABILIDAD					
Coeficiente "K" (m/s)	1.93E-10	1.84E-10	1.81E-10	1.75E-10	1.75E-10	1.72E-10
Promedio	1.80E-10					

4.2. POROSIDAD DEL CONCRETO

Cuadro N° 65: Porosidad del concreto patrón.

Concreto Patrón (Curado 28d)						
Descripción	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6
V (m3)	0.00080	0.00080	0.00080	0.00544	0.00548	0.00546
W _{sss} (Kg)	2.002	2.005	2.000	12.970	13.150	12.987
W _o (Kg)	1.89	1.891	1.887	12.212	12.387	12.227
Pr (%)	14.108	14.360	14.234	14.051	14.050	14.041
Porosidad promedio	14.14 %					

Cuadro N° 66: Porosidad del concreto con 0.96% Aditivo Sika Cem Impermeable

Concreto + 0.96% Aditivo S. C. Impermeable (Curado 28d)						
Descripción	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6
V (m3)	0.00080	0.00080	0.00080	0.00544	0.00546	0.00546
W _{sss} (Kg)	1.988	2.004	1.992	13.185	13.2	12.997
W _o (Kg)	1.927	1.942	1.931	12.782	12.791	12.602
Pr (%)	7.684	7.810	7.684	7.470	7.556	7.298
Porosidad promedio	7.58 %					

Cuadro N° 67: Porosidad del concreto con 1.92% Aditivo Sika Cem Impermeable

Concreto + 1.92% Aditivo S. C. Impermeable (Curado 28d)						
Descripción	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6
V (m3)	0.00080	0.00080	0.00080	0.00548	0.00544	0.00544
W _{sss} (Kg)	1.986	2.003	1.983	13.193	13.184	13.047
W _o (Kg)	1.925	1.942	1.923	12.798	12.789	12.655
Pr (%)	7.684	7.684	7.558	7.273	7.322	7.266
Porosidad promedio	7.46 %					

Cuadro N° 68: Porosidad del concreto con 2.88% Aditivo Sika Cem Impermeable

Concreto + 2.88% Aditivo S. C. Impermeable (Curado 28d)						
Descripción	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6
V (m3)	0.00080	0.00080	0.00080	0.00544	0.00548	0.00546
W _{sss} (Kg)	1.969	1.972	1.989	13.055	12.995	12.997
W _o (Kg)	1.911	1.913	1.931	12.682	12.625	12.625
Pr (%)	7.306	7.432	7.306	6.914	6.813	6.873
Porosidad promedio	7.11					

4.3. ABSORCIÓN DEL CONCRETO

Cuadro N° 69: Absorción del concreto patrón.

ENSAYO DE ABSORCIÓN: Concreto Patrón (Curado 28d)						
Descripción	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6
W _{ss} (Kg)	2.002	2.005	2.000	12.970	13.150	12.987
W _o (Kg)	1.89	1.891	1.887	12.212	12.387	12.227
Abs (%)	5.926	6.029	5.988	6.207	6.160	6.216
Absorción Promedio	6.09 %					

Cuadro N° 70: Absorción del concreto con 0.96% Aditivo Sika Cem Impermeable

Concreto + 0.96% Aditivo S. C. Impermeable (Curado 28d)						
Descripción	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6
W _{ss} (Kg)	1.988	2.004	1.992	13.185	13.200	12.997
W _o (Kg)	1.927	1.942	1.931	12.782	12.791	12.602
Abs (%)	3.166	3.193	3.159	3.153	3.198	3.134
Absorción Promedio	3.17 %					

Cuadro N° 71: Absorción del concreto con 1.92% Aditivo Sika Cem Impermeable

Concreto + 1.92% Aditivo S. C. Impermeable (Curado 28d)						
Descripción	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6
W _{ss} (Kg)	1.986	2.003	1.983	13.193	13.184	13.047
W _o (Kg)	1.925	1.942	1.923	12.798	12.789	12.655
Abs (%)	3.169	3.141	3.120	3.086	3.089	3.098
Absorción Promedio	3.12 %					

Cuadro N° 72: Absorción del concreto con 2.88% Aditivo Sika Cem Impermeable

Concreto + 2.88% Aditivo S. C. Impermeable (Curado 28d)						
Descripción	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6
W _{ss} (Kg)	1.969	1.972	1.989	13.055	12.995	12.997
W _o (Kg)	1.911	1.913	1.931	12.682	12.625	12.625
Abs (%)	3.035	3.084	3.004	2.941	2.931	2.947
Absorción Promedio	2.99 %					

ANEXO N°05: PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO

5.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y FLEXIÓN DEL CONCRETO

5.1.1. Ensayo de compresión y flexión del concreto a los 7 días de curado.

Cuadro N° 73: Esfuerzo de compresión y módulo de elasticidad del concreto patrón a los 7 días de curado.

ENSAYO A COMPRESIÓN (7 días de curado)							
Tipo de concreto: Concreto Patrón			Resistencia de diseño (f'c) : 300 Kg/cm2				
Tipo de espécimen: Cilíndrico			Resistencia promedio (f'cr) : 384 Kg/cm2				
Especímen N°	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	Promedio	
Edad de ensayo	7 días	7 días	7 días	7 días	7 días	-----	
Tipo de fractura	TIPO - 3	TIPO - 2	TIPO - 5	TIPO - 3	TIPO - 2	-----	
Altura promedio	30.15 cm	30.24 cm	30.24 cm	30.20 cm	30.24 cm	-----	
Diámetro promedio	15.25 cm	15.25 cm	15.15 cm	15.20 cm	15.20 cm	-----	
Peso	12.990 Kg	12.890 Kg	13.115 Kg	12.895 Kg	13.005 Kg	-----	
Peso unitario c° end. (Kg/m3)	2358.81	2333.68	2405.87	2353.08	2370.02	2364.29	
Carga máx. de rotura	55.00 Tn	52.50 Tn	57.50 Tn	52.00 Tn	54.50 Tn	54.30 Tn	
Esfuerzo de rotura (Kg/cm2)	301.12	287.43	318.97	286.57	300.34	298.89	
Módulo de Elasticidad "Ec" (Kg/cm2)	NORMA E.060	260290	254306	267897	253924	259957	259274.77
	ACI 318M-02	271289.93	260829.03	287615.38	263692.56	272876.23	271260.63
Contenido de humedad (w%)	7.37	7.45	7.10	7.40	7.30	7.32	

Cuadro N° 74: Esfuerzo de flexión del concreto patrón a los 7 días de curado.

ENSAYO A FLEXIÓN (7 días de curado)						
Tipo de concreto: Concreto Patrón			Resistencia de diseño (f'c) : 300 Kg/cm2			
Tipo de espécimen: Prismático			Resistencia promedio (f'cr) : 384 Kg/cm2			
Especímen N°	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	Promedio
Edad de ensayo	7 días	7 días	7 días	7 días	7 días	-----
Altura promedio	15.20 cm	15.10 cm	15.15 cm	15.15 cm	15.20 cm	-----
Ancho promedio	15.10 cm	15.15 cm	15.15 cm	15.10 cm	15.10 cm	-----
Longitud promedio	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	-----
Peso	27.100 Kg	26.895 Kg	27.280 Kg	26.950 Kg	27.060 Kg	-----
Peso unitario c° end. (Kg/m3)	2361.45	2351.32	2377.11	2356.13	2357.96	2360.79
Carga máx. de rotura	2800 Kg	2785 Kg	2885 Kg	2790 Kg	2800 Kg	2812.00 Kg
Esfuerzo de rotura (Kg/cm2)	54.17	54.42	56.00	54.34	54.17	54.62

Cuadro N° 75: Esfuerzo de compresión y módulo de elasticidad del concreto Impermeable (0.96%) a los 7 días de curado.

ENSAYO A COMPRESIÓN (7 días de curado)							
Tipo de concreto: Concreto Impermeable - 0.96%			Resistencia de diseño (f'c) : 300 Kg/cm2				
Tipo de espécimen: Cilíndrico			Resistencia promedio (f'cr) : 384 Kg/cm2				
Especímen N°	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	Promedio	
Edad de ensayo	7 días	7 días	7 días	7 días	7 días	-----	
Tipo de fractura	TIPO - 2	TIPO - 2	TIPO - 5	TIPO - 5	TIPO - 5	-----	
Altura promedio	30.20 cm	30.20 cm	30.10 cm	30.20 cm	30.24 cm	-----	
Diámetro promedio	15.20 cm	15.15 cm	15.15 cm	15.15 cm	15.15 cm	-----	
Peso	13.125 Kg	13.015 Kg	12.985 Kg	13.075 Kg	13.055 Kg	-----	
Peso unitario c° end. (Kg/m3)	2395.05	2390.68	2393.10	2401.70	2394.86	2395.08	
Carga máx. de rotura	65.00 Tn	65.00 Tn	69.00 Tn	68.00 Tn	71.00 Tn	67.60 Tn	
Esfuerzo de rotura (Kg/cm2)	358.21	360.58	382.77	377.22	393.86	374.53	
Módulo de Elasticidad "Ec" (Kg/cm2)	NORMA E.060	283896	284833	293466	291332	297689	290243.29
	ACI 318M-02	302740.02	302908.14	312561.99	311964.38	317409.73	309516.85
Contenido de humedad (w%)	4.65	4.68	4.54	4.55	4.50	4.58	

Cuadro N° 76: Esfuerzo de flexión del concreto Impermeable (0.96%) a los 7 días de curado.

ENSAYO A FLEXIÓN (7 días de curado)						
Tipo de concreto: Concreto Impermeable - 0.96%			Resistencia de diseño (f'c) : 300 Kg/cm2			
Tipo de espécimen: Prismático			Resistencia promedio (f'cr) : 384 Kg/cm2			
Especímen N°	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	Promedio
Edad de ensayo	7 días	7 días	7 días	7 días	7 días	-----
Altura promedio	15.15 cm	15.10 cm	15.15 cm	15.15 cm	15.15 cm	-----
Ancho promedio	15.10 cm	15.00 cm	15.00 cm	15.10 cm	15.10 cm	-----
Longitud promedio	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	-----
Peso	27.140 Kg	27.135 Kg	26.980 Kg	26.985 Kg	27.250 Kg	-----
Peso unitario c° end. (Kg/m3)	2372.74	2396.03	2374.48	2359.19	2382.36	2376.96
Carga máx. de rotura	3100 Kg	3085 Kg	3025 Kg	3010 Kg	3145 Kg	3073.00 Kg
Esfuerzo de rotura (Kg/cm2)	60.38	60.89	59.31	58.62	61.25	60.09

Cuadro N° 77: Esfuerzo de compresión y módulo de elasticidad del concreto Impermeable (1.92%) a los 7 días de curado.

ENSAYO A COMPRESIÓN (7 días de curado)							
Tipo de concreto: Concreto Impermeable - 0.96%			Resistencia de diseño (f'c) : 300 Kg/cm2				
Tipo de espécimen: Cilíndrico			Resistencia promedio (f'cr) : 384 Kg/cm2				
Especímen N°	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	Promedio	
Edad de ensayo	7 días	7 días	7 días	7 días	7 días	-----	
Tipo de fractura	TIPO - 2	TIPO - 2	TIPO - 5	TIPO - 5	TIPO - 4	-----	
Altura promedio	30.20 cm	30.25 cm	30.15 cm	30.20 cm	30.24 cm	-----	
Diámetro promedio	15.15 cm	15.15 cm	15.15 cm	15.20 cm	15.25 cm	-----	
Peso	12.995 Kg	12.990 Kg	12.985 Kg	12.985 Kg	13.095 Kg	-----	
Peso unitario c° end. (Kg/m3)	2387.01	2382.15	2389.13	2369.51	2370.80	2379.72	
Carga máx. de rotura	68.50 Tn	69.50 Tn	68.50 Tn	67.00 Tn	70.50 Tn	68.80 Tn	
Esfuerzo de rotura (Kg/cm2)	379.99	385.54	379.99	369.23	385.98	380.15	
Módulo de Elasticidad "Ec" (Kg/cm2)	NORMA E.060	292401	294528	292401	288231	294694	292450.85
	ACI 318M-02	310239.95	311541.92	310653.08	302457.62	309492.21	308876.95
Contenido de humedad (w%)		4.50	4.45	4.42	4.45	4.48	

Cuadro N° 78: Esfuerzo de flexión del concreto Impermeable (1.92%) a los 7 días de curado.

ENSAYO A FLEXIÓN (7 días de curado)						
Tipo de concreto: Concreto Impermeable - 1.92%			Resistencia de diseño (f'c) : 300 Kg/cm2			
Tipo de espécimen: Prismático			Resistencia promedio (f'cr) : 384 Kg/cm2			
Especímen N°	N° 03	N° 03	N° 03	N° 03	N° 05	Promedio
Edad de ensayo	7 días	7 días	7 días	7 días	7 días	-----
Altura promedio	15.05 cm	15.10 cm	15.10 cm	15.15 cm	15.10 cm	-----
Ancho promedio	15.00 cm	15.15 cm	15.15 cm	15.15 cm	15.10 cm	-----
Longitud promedio	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	-----
Peso	27.010 Kg	27.215 Kg	27.055 Kg	26.995 Kg	27.190 Kg	-----
Peso unitario c° end. (Kg/m3)	2392.91	2379.30	2365.31	2352.27	2384.98	2374.96
Carga máx. de rotura	3065 Kg	3115 Kg	3080 Kg	3035 Kg	3100 Kg	3079.00 Kg
Esfuerzo de rotura (Kg/cm2)	60.89	60.87	60.18	58.91	60.78	60.33

Cuadro N° 79: Esfuerzo de compresión y módulo de elasticidad del concreto Impermeable (2.88%) a los 7 días de curado.

ENSAYO A COMPRESIÓN (7 días de curado)							
Tipo de concreto: Concreto Impermeable – 2.88%			Resistencia de diseño (f'c) : 300 Kg/cm2				
Tipo de espécimen: Cilíndrico			Resistencia promedio (f'cr) : 384 Kg/cm2				
Especímen N°	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	Promedio	
Edad de ensayo	7 días	7 días	7 días	7 días	7 días	-----	
Tipo de fractura	TIPO - 5	TIPO - 5	TIPO - 4	TIPO - 5	TIPO - 5	-----	
Altura promedio	30.25 cm	30.20 cm	30.15 cm	30.00 cm	30.20 cm	-----	
Diámetro promedio	15.20 cm	15.20 cm	15.15 cm	15.25 cm	15.20 cm	-----	
Peso	12.895 Kg	12.990 Kg	13.175 Kg	13.245 Kg	12.990 Kg	-----	
Peso unitario c° end. (Kg/m3)	2349.19	2370.42	2424.09	2417.14	2370.42	2386.25	
Carga máx. de rotura	68.00 Tn	68.50 Tn	70.00 Tn	70.00 Tn	67.50 Tn	68.80 Tn	
Esfuerzo de rotura (Kg/cm2)	374.74	377.50	388.31	383.24	371.99	379.16	
Módulo de Elasticidad "Ec" (Kg/cm2)	NORMA E.060	290374	291439	295585	293647	289304	292069.83
	ACI 318M-02	300796.66	306001.25	320953.72	317478.75	303759.46	309797.97
Contenido de humedad (w%)	4.52	4.50	4.43	4.45	4.39	4.46	

Cuadro N° 80: Esfuerzo de flexión del concreto Impermeable (2.88%) a los 7 días de curado.

ENSAYO A FLEXIÓN (7 días de curado)						
Tipo de concreto: Concreto Impermeable – 2.88%			Resistencia de diseño (f'c) : 300 Kg/cm2			
Tipo de espécimen: Prismático			Resistencia promedio (f'cr) : 384 Kg/cm2			
Especímen N°	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	Promedio
Edad de ensayo	7 días	7 días	7 días	7 días	7 días	-----
Altura promedio	15.15 cm	15.10 cm	15.15 cm	15.00 cm	15.10 cm	-----
Ancho promedio	15.00 cm	15.10 cm	15.20 cm	15.00 cm	15.10 cm	-----
Longitud promedio	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	-----
Peso	27.105 Kg	27.180 Kg	27.225 Kg	27.160 Kg	27.200 Kg	-----
Peso unitario c° end. (Kg/m3)	2385.48	2384.11	2364.51	2414.22	2385.86	2386.84
Carga máx. de rotura	3055 Kg	3120 Kg	3210 Kg	3175 Kg	3205 Kg	3153.00 Kg
Esfuerzo de rotura (Kg/cm2)	59.90	61.17	62.11	63.50	62.83	61.90

5.1.2. Ensayo de compresión y flexión del concreto a los 14 días de curado.

Cuadro N° 81: Esfuerzo de compresión y módulo de elasticidad del concreto patrón a los 14 días de curado.

ENSAYO A COMPRESIÓN (14 días de curado)							
Tipo de concreto: Concreto Patrón			Resistencia de diseño (f'c) : 300 Kg/cm ²				
Tipo de espécimen: Cilíndrico			Resistencia promedio (f'cr) : 384 Kg/cm ²				
Especímen N°	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	Promedio	
Edad de ensayo	14 días	14 días	14 días	14 días	14 días	-----	
Tipo de fractura	TIPO - 2	TIPO - 3	TIPO - 5	TIPO - 3	TIPO - 2	-----	
Altura promedio	30.20 cm	30.20 cm	30.15 cm	30.20 cm	30.20 cm	-----	
Diámetro promedio	15.20 cm	15.20 cm	15.25 cm	15.20 cm	15.15 cm	-----	
Peso	12.955 Kg	12.945 Kg	12.980 Kg	12.930 Kg	12.960 Kg	-----	
Peso unitario c° end. (Kg/m ³)	2364.03	2362.21	2356.99	2359.47	2380.58	2364.66	
Carga máx. de rotura	59.00 Tn	56.00 Tn	62.00 Tn	57.50 Tn	59.00 Tn	58.70 Tn	
Esfuerzo de rotura (Kg/cm ²)	325.14	308.61	339.44	316.88	327.29	323.47	
Módulo de Elasticidad "Ec" (Kg/cm ²)	NORMA E.060	270476	263510	276358	267016	271369	269745.65
	ACI 318M-02	282843.58	275239.83	287704.39	278417.10	286761.95	282193.37
Contenido de humedad (w%)	6.69	6.74	6.64	6.73	6.67	6.69	

Cuadro N° 82: Esfuerzo de flexión del concreto patrón a los 14 días de curado.

ENSAYO A FLEXIÓN (14 días de curado)						
Tipo de concreto: Concreto Patrón			Resistencia de diseño (f'c) : 300 Kg/cm ²			
Tipo de espécimen: Prismático			Resistencia promedio (f'cr) : 384 Kg/cm ²			
Especímen N°	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	Promedio
Edad de ensayo	14 días	14 días	14 días	14 días	14 días	-----
Altura promedio	15.10 cm	15.10 cm	15.20 cm	15.15 cm	15.20 cm	-----
Ancho promedio	15.15 cm	15.15 cm	15.15 cm	15.10 cm	15.10 cm	-----
Longitud promedio	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	-----
Peso	27.150 Kg	26.945 Kg	27.215 Kg	26.975 Kg	27.020 Kg	-----
Peso unitario c° end. (Kg/m ³)	2373.61	2355.69	2363.64	2358.32	2354.48	2361.15
Carga máx. de rotura	2890 Kg	2885 Kg	2865 Kg	2860 Kg	2940 Kg	2888.00 Kg
Esfuerzo de rotura (Kg/cm ²)	56.47	56.37	55.25	55.70	56.88	56.14

Cuadro N° 83: Esfuerzo de compresión y módulo de elasticidad del concreto Impermeable (0.96%) a los 14 días de curado.

ENSAYO A COMPRESIÓN (14 días de curado)							
Tipo de concreto: Concreto Impermeable - 0.96%			Resistencia de diseño (f'c) : 300 Kg/cm2				
Tipo de espécimen: Cilíndrico			Resistencia promedio (f'cr) : 384 Kg/cm2				
Especímen N°	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	Promedio	
Edad de ensayo	14 días	14 días	14 días	14 días	14 días	-----	
Tipo de fractura	TIPO - 2	TIPO - 2	TIPO - 5	TIPO - 5	TIPO - 5	-----	
Altura promedio	30.25 cm	30.20 cm	30.10 cm	30.20 cm	30.24 cm	-----	
Diámetro promedio	15.20 cm	15.15 cm	15.15 cm	15.15 cm	15.15 cm	-----	
Peso	13.105 Kg	13.215 Kg	12.990 Kg	13.150 Kg	13.000 Kg	-----	
Peso unitario c° end. (Kg/m3)	2387.45	2427.42	2394.02	2415.48	2384.77	2401.83	
Carga máx. de rotura	69.00 Tn	69.50 Tn	75.00 Tn	74.00 Tn	76.00 Tn	72.70 Tn	
Esfuerzo de rotura (Kg/cm2)	380.25	385.54	416.05	410.50	421.60	402.79	
Módulo de Elasticidad "Ec" (Kg/cm2)	NORMA E.060	292501	294528	305960	303913	307993	300978.86
	ACI 318M-02	310432.10	320465.41	326056.63	328240.75	326322.91	322303.56
Contenido de humedad (w%)	3.69	3.68	3.65	3.65	3.63	3.66	

Cuadro N° 84: Esfuerzo de flexión del concreto Impermeable (0.96%) a los 14 días de curado.

ENSAYO A FLEXIÓN (14 días de curado)						
Tipo de concreto: Concreto Impermeable - 0.96%			Resistencia de diseño (f'c) : 300 Kg/cm2			
Tipo de espécimen: Prismático			Resistencia promedio (f'cr) : 384 Kg/cm2			
Especímen N°	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	Promedio
Edad de ensayo	14 días	14 días	14 días	14 días	14 días	-----
Altura promedio	15.15 cm	15.15 cm	15.15 cm	15.15 cm	15.20 cm	-----
Ancho promedio	15.20 cm	15.05 cm	15.00 cm	15.20 cm	15.10 cm	-----
Longitud promedio	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	-----
Peso	27.190 Kg	27.185 Kg	27.000 Kg	26.955 Kg	27.215 Kg	-----
Peso unitario c° end. (Kg/m3)	2361.47	2384.57	2376.24	2341.06	2371.47	2366.96
Carga máx. de rotura	3190 Kg	3185 Kg	3225 Kg	3230 Kg	3205 Kg	3207.00 Kg
Esfuerzo de rotura (Kg/cm2)	61.72	62.24	63.23	62.49	62.01	62.34

Cuadro N° 85: Esfuerzo de compresión y módulo de elasticidad del concreto Impermeable (1.92%) a los 14 días de curado.

ENSAYO A COMPRESIÓN (14 días de curado)							
Tipo de concreto: Concreto Impermeable - 1.92%			Resistencia de diseño (f'c) : 300 Kg/cm2				
Tipo de espécimen: Cilíndrico			Resistencia promedio (f'cr) : 384 Kg/cm2				
Especímen N°	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	Promedio	
Edad de ensayo	14 días	14 días	14 días	14 días	14 días	-----	
Tipo de fractura	TIPO - 2	TIPO - 2	TIPO - 5	TIPO - 5	TIPO - 4	-----	
Altura promedio	30.20 cm	30.25 cm	30.15 cm	30.20 cm	30.15 cm	-----	
Diámetro promedio	15.20 cm	15.25 cm	15.15 cm	15.20 cm	15.15 cm	-----	
Peso	13.150 Kg	12.985 Kg	13.050 Kg	12.990 Kg	13.075 Kg	-----	
Peso unitario c° end. (Kg/m3)	2399.62	2350.10	2401.09	2370.42	2405.69	2385.38	
Carga máx. de rotura	74.00 Tn	72.50 Tn	74.00 Tn	73.50 Tn	76.00 Tn	74.00 Tn	
Esfuerzo de rotura (Kg/cm2)	407.81	396.92	410.50	405.05	421.60	408.38	
Módulo de Elasticidad "Ec" (Kg/cm2)	NORMA E.060	302913	298845	303913	301888	307993	303110.49
	ACI 318M-02	323943.06	309751.52	325311.25	316972.50	330625.84	321320.84
Contenido de humedad (w%)	3.60	3.62	3.59	3.61	3.57	3.60	

Cuadro N° 86: Esfuerzo de flexión del concreto Impermeable (1.92%) a los 14 días de curado.

ENSAYO A FLEXIÓN (14 días de curado)						
Tipo de concreto: Concreto Impermeable - 1.92%			Resistencia de diseño (f'c) : 300 Kg/cm2			
Tipo de espécimen: Prismático			Resistencia promedio (f'cr) : 384 Kg/cm2			
Especímen N°	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	Promedio
Edad de ensayo	14 días	14 días	14 días	14 días	14 días	-----
Altura promedio	15.15 cm	15.15 cm	15.10 cm	15.15 cm	15.10 cm	-----
Ancho promedio	15.05 cm	15.15 cm	15.00 cm	15.05 cm	15.10 cm	-----
Longitud promedio	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	-----
Peso	27.090 Kg	27.185 Kg	27.255 Kg	27.140 Kg	27.125 Kg	-----
Peso unitario c° end. (Kg/m3)	2376.24	2368.83	2406.62	2380.62	2379.28	2382.32
Carga máx. de rotura	3245 Kg	3215 Kg	3195 Kg	3260 Kg	3255 Kg	3234.00 Kg
Esfuerzo de rotura (Kg/cm2)	63.41	62.41	63.06	63.70	63.82	63.28

Cuadro N° 87: Esfuerzo de compresión y módulo de elasticidad del concreto Impermeable (2.88%) a los 14 días de curado.

ENSAYO A COMPRESIÓN (14 días de curado)							
Tipo de concreto: Concreto Impermeable – 2.88%			Resistencia de diseño (f'c) : 300 Kg/cm2				
Tipo de espécimen: Cilíndrico			Resistencia promedio (f'cr) : 384 Kg/cm2				
Especímen N°	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	Promedio	
Edad de ensayo	14 días	14 días	14 días	14 días	14 días	-----	
Tipo de fractura	TIPO - 4	TIPO - 5	TIPO - 4	TIPO - 5	TIPO - 5	-----	
Altura promedio	30.15 cm	30.20 cm	30.15 cm	30.15 cm	30.20 cm	-----	
Diámetro promedio	15.20 cm	15.20 cm	15.15 cm	15.25 cm	15.20 cm	-----	
Peso	13.135 Kg	13.205 Kg	13.035 Kg	12.975 Kg	13.090 Kg	-----	
Peso unitario c° end. (Kg/m3)	2400.85	2409.65	2398.33	2356.08	2388.67	2390.72	
Carga máx. de rotura	76.50 Tn	77.00 Tn	75.00 Tn	74.50 Tn	76.00 Tn	75.80 Tn	
Esfuerzo de rotura (Kg/cm2)	421.58	424.34	416.05	407.87	418.83	417.74	
Módulo de Elasticidad "Ec" (Kg/cm2)	NORMA E.060	307988	308993	305960	302939	306980	306571.67
	ACI 318M-02	329624.49	332519.53	326937.42	315193.89	326047.19	326064.51
Contenido de humedad (w%)	3.56	3.55	3.58	3.59	3.55	3.57	

Cuadro N° 88: Esfuerzo de flexión del concreto Impermeable (2.88%) a los 14 días de curado.

ENSAYO A FLEXIÓN (14 días de curado)						
Tipo de concreto: Concreto Impermeable – 2.88%			Resistencia de diseño (f'c) : 300 Kg/cm2			
Tipo de espécimen: Prismático			Resistencia promedio (f'cr) : 384 Kg/cm2			
Especímen N°	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	Promedio
Edad de ensayo	14 días	14 días	14 días	14 días	14 días	-----
Altura promedio	15.05 cm	15.10 cm	15.10 cm	15.20 cm	15.20 cm	-----
Ancho promedio	15.10 cm	15.15 cm	15.20 cm	15.00 cm	15.10 cm	-----
Longitud promedio	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	-----
Peso	27.155 Kg	27.180 Kg	27.225 Kg	27.160 Kg	27.200 Kg	-----
Peso unitario c° end. (Kg/m3)	2389.83	2376.24	2372.34	2382.46	2370.16	2378.21
Carga máx. de rotura	3255 Kg	3240 Kg	3250 Kg	3295 Kg	3275 Kg	3263.00 Kg
Esfuerzo de rotura (Kg/cm2)	64.24	63.31	63.30	64.18	63.37	63.68

5.1.3. Ensayo de compresión y flexión del concreto a los 28 días de curado.

Cuadro N° 89: Esfuerzo de compresión y módulo de elasticidad del concreto patrón a los 28 días de curado.

ENSAYO A COMPRESIÓN (28 días de curado)							
Tipo de concreto: Concreto Patrón			Resistencia de diseño (f'c) : 300 Kg/cm ²				
Tipo de espécimen: Cilíndrico			Resistencia promedio (f'cr) : 384 Kg/cm ²				
Especimen N°	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	Promedio	
Edad de ensayo	28 días	28 días	28 días	28 días	28 días	-----	
Tipo de fractura	TIPO - 5	TIPO - 2	TIPO - 3	TIPO - 3	TIPO - 5	-----	
Altura promedio	30.20 cm	30.24 cm	30.25 cm	30.20 cm	30.24 cm	-----	
Diámetro promedio	15.20 cm	15.25 cm	15.15 cm	15.20 cm	15.25 cm	-----	
Peso	13.100 Kg	12.950 Kg	12.975 Kg	12.885 Kg	13.035 Kg	-----	
Peso unitario c° end. (Kg/m ³)	2390.49	2344.54	2379.40	2351.26	2359.93	2365.12	
Carga máx. de rotura	68.50 Tn	65.00 Tn	66.00 Tn	65.00 Tn	67.50 Tn	66.40 Tn	
Esfuerzo de rotura (Kg/cm ²)	377.50	355.86	366.12	358.21	369.55	365.45	
MÓDULO DE ELASTICIDAD "Ec" (Kg/cm ²)	NORMA E.060	291439	282965	287016	283896	288356	286734.38
	ACI 318M-02	309896.32	292252.50	303070.30	294474.37	300756.72	300090.04
	GRÁFICA	60709	63526	65314	65742	68437	64745.60
Contenido de humedad (w%)	6.24	6.34	6.32	6.28	6.27	6.29	

Cuadro N° 90: Esfuerzo de flexión del concreto patrón a los 28 días de curado.

ENSAYO A FLEXIÓN (28 días de curado)						
Tipo de concreto: Concreto Patrón			Resistencia de diseño (f'c) : 300 Kg/cm ²			
Tipo de espécimen: Prismático			Resistencia promedio (f'cr) : 384 Kg/cm ²			
Especimen N°	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	Promedio
Edad de ensayo	28 días	28 días	28 días	28 días	28 días	-----
Altura promedio	15.15 cm	15.10 cm	15.10 cm	15.15 cm	15.20 cm	-----
Ancho promedio	15.10 cm	15.00 cm	15.15 cm	15.10 cm	15.10 cm	-----
Longitud promedio	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	-----
Peso	27.310 Kg	26.850 Kg	27.080 Kg	26.950 Kg	27.260 Kg	-----
Peso unitario c° end. (Kg/m ³)	2387.60	2370.86	2367.50	2356.13	2375.39	2371.50
Carga máx. de rotura	3095 Kg	3120 Kg	3030 Kg	3000 Kg	2990 Kg	3047.00 Kg
Esfuerzo de rotura (Kg/cm ²)	60.28	61.58	59.21	58.43	57.85	59.47

Cuadro N° 91: Esfuerzo de compresión y módulo de elasticidad del concreto Impermeable (0.96%) a los 28 días de curado.

ENSAYO A COMPRESIÓN (28 días de curado)							
Tipo de concreto: Concreto Impermeable - 0.96%			Resistencia de diseño (f'c) : 300 Kg/cm2				
Tipo de espécimen: Cilíndrico			Resistencia promedio (f'cr) : 384 Kg/cm2				
Especímen N°	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	Promedio	
Edad de ensayo	28 días	28 días	28 días	28 días	28 días	-----	
Tipo de fractura	TIPO - 5	TIPO - 4	TIPO - 5	TIPO - 5	TIPO - 5	-----	
Altura promedio	30.20 cm	30.20 cm	30.10 cm	30.20 cm	30.24 cm	-----	
Diámetro promedio	15.20 cm	15.15 cm	15.15 cm	15.15 cm	15.15 cm	-----	
Peso	13.125 Kg	13.015 Kg	12.985 Kg	13.075 Kg	13.055 Kg	-----	
Peso unitario c° end. (Kg/m3)	2395.05	2390.68	2393.10	2401.70	2394.86	2395.08	
Carga máx. de rotura	77.50 Tn	75.00 Tn	76.00 Tn	78.00 Tn	80.00 Tn	77.30 Tn	
Esfuerzo de rotura (Kg/cm2)	427.10	416.05	421.60	432.69	443.79	428.24	
MÓDULO DE ELASTICIDAD "Ec" (Kg/cm2)	NORMA E.060	309994	305960	307993	312019	315994	310391.91
	ACI 318M-02	330570.44	325375.54	328033.66	334116.45	336927.19	331004.66
	GRÁFICA	63492	65356	67803	61017	72848	66103.20
Contenido de humedad (w%)	3.47	3.40	3.44	3.42	3.39	3.42	

Cuadro N° 92: Esfuerzo de flexión del concreto Impermeable (0.96%) a los 28 días de curado.

ENSAYO A FLEXIÓN (28 días de curado)						
Tipo de concreto: Concreto Impermeable - 0.96%			Resistencia de diseño (f'c) : 300 Kg/cm2			
Tipo de espécimen: Prismático			Resistencia promedio (f'cr) : 384 Kg/cm2			
Especímen N°	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	Promedio
Edad de ensayo	28 días	28 días	28 días	28 días	28 días	-----
Altura promedio	15.20 cm	15.10 cm	15.10 cm	15.10 cm	15.15 cm	-----
Ancho promedio	15.00 cm	15.00 cm	15.00 cm	15.10 cm	15.10 cm	-----
Longitud promedio	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	-----
Peso	27.340 Kg	27.195 Kg	27.275 Kg	27.305 Kg	27.270 Kg	-----
Peso unitario c° end. (Kg/m3)	2398.25	2401.32	2408.39	2395.07	2384.11	2397.43
Carga máx. de rotura	3425 Kg	3415 Kg	3455 Kg	3300 Kg	3370 Kg	3393.00 Kg
Esfuerzo de rotura (Kg/cm2)	66.71	67.40	68.19	64.70	65.63	66.53

Cuadro N° 93: Esfuerzo de compresión y módulo de elasticidad del concreto Impermeable (1.92%) a los 28 días de curado.

ENSAYO A COMPRESIÓN (28 días de curado)							
Tipo de concreto: Concreto Impermeable - 1.92%			Resistencia de diseño (f'c) : 300 Kg/cm2				
Tipo de espécimen: Cilíndrico			Resistencia promedio (f'cr) : 384 Kg/cm2				
Especímen N°	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	Promedio	
Edad de ensayo	28 días	28 días	28 días	28 días	28 días	-----	
Tipo de fractura	TIPO - 5	TIPO - 5	TIPO - 5	TIPO - 5	TIPO - 5	-----	
Altura promedio	30.10 cm	30.20 cm	30.20 cm	30.20 cm	30.24 cm	-----	
Diámetro promedio	15.15 cm	15.15 cm	15.15 cm	15.20 cm	15.25 cm	-----	
Peso	12.985 Kg	12.990 Kg	12.995 Kg	13.075 Kg	13.035 Kg	-----	
Peso unitario c° end. (Kg/m3)	2393.10	2386.09	2387.01	2385.93	2359.93	2382.41	
Carga máx. de rotura	78.00 Tn	79.00 Tn	78.00 Tn	77.00 Tn	80.00 Tn	78.40 Tn	
Esfuerzo de rotura (Kg/cm2)	432.69	438.24	432.69	424.34	437.99	433.19	
MÓDULO DE ELASTICIDAD "Ec" (Kg/cm2)	NORMA E.060	312019	314013	312019	308993	313922	312193.01
	ACI 318M-02	332321.86	332977.80	331054.69	327621.28	327422.45	330279.62
	GRÁFICA	66874	69822	68978	69597	68131	68680.40
Contenido de humedad (w%)	3.42	3.37	3.38	3.43	3.39	3.40	

Cuadro N° 94: Esfuerzo de flexión del concreto Impermeable (1.92%) a los 28 días de curado.

ENSAYO A FLEXIÓN (28 días de curado)						
Tipo de concreto: Concreto Impermeable - 1.92%			Resistencia de diseño (f'c) : 300 Kg/cm2			
Tipo de espécimen: Prismático			Resistencia promedio (f'cr) : 384 Kg/cm2			
Especímen N°	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	Promedio
Edad de ensayo	28 días	28 días	28 días	28 días	28 días	-----
Altura promedio	15.00 cm	15.10 cm	15.10 cm	15.15 cm	15.00 cm	-----
Ancho promedio	15.00 cm	15.15 cm	15.20 cm	15.15 cm	15.10 cm	-----
Longitud promedio	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	-----
Peso	27.220 Kg	27.295 Kg	27.355 Kg	27.365 Kg	27.270 Kg	-----
Peso unitario c° end. (Kg/m3)	2419.56	2386.29	2383.67	2384.52	2407.95	2396.40
Carga máx. de rotura	3595 Kg	3355 Kg	3225 Kg	3235 Kg	3475 Kg	3377.00 Kg
Esfuerzo de rotura (Kg/cm2)	71.90	65.56	62.81	62.80	69.04	66.42

Cuadro N° 95: Esfuerzo de compresión y módulo de elasticidad del concreto Impermeable (2.88%) a los 28 días de curado.

ENSAYO A COMPRESIÓN (28 días de curado)							
Tipo de concreto: Concreto Impermeable – 2.88%			Resistencia de diseño (f'c) : 300 Kg/cm2				
Tipo de espécimen: Cilíndrico			Resistencia promedio (f'cr) : 384 Kg/cm2				
Especímen N°	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	Promedio	
Edad de ensayo	28 días	28 días	28 días	28 días	28 días	-----	
Tipo de fractura	TIPO - 2	TIPO - 3	TIPO - 3	TIPO - 3	TIPO - 2	-----	
Altura promedio	30.20 cm	30.15 cm	30.10 cm	30.00 cm	30.10 cm	-----	
Diámetro promedio	15.20 cm	15.15 cm	15.15 cm	15.20 cm	15.20 cm	-----	
Peso	13.100 Kg	13.095 Kg	12.990 Kg	12.995 Kg	13.010 Kg	-----	
Peso unitario c° end. (Kg/m3)	2390.49	2409.37	2394.02	2387.14	2381.96	2392.59	
Carga máx. de rotura	84.00 Tn	83.00 Tn	82.00 Tn	80.00 Tn	82.00 Tn	82.20 Tn	
Esfuerzo de rotura (Kg/cm2)	462.92	460.43	454.88	440.87	451.89	454.20	
MODULO DE ELASTICIDAD "Ec" (Kg/cm2)	NORMA E.060	322732	321864	319919	314954	318867	319667.48
	ACI 318M-02	343171.16	346309.78	340933.23	334196.69	337246.72	340371.52
	GRÁFICA	63723	59934	59461	63741	66451	62662.00
Contenido de humedad (w%)	3.30	3.37	3.28	3.34	3.32	3.32	

Cuadro N° 96: Esfuerzo de flexión del concreto Impermeable (2.88%) a los 28 días de curado.

ENSAYO A FLEXIÓN (28 días de curado)						
Tipo de concreto: Concreto Impermeable – 2.88%			Resistencia de diseño (f'c) : 300 Kg/cm2			
Tipo de espécimen: Prismático			Resistencia promedio (f'cr) : 384 Kg/cm2			
Especímen N°	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	Promedio
Edad de ensayo	28 días	28 días	28 días	28 días	28 días	-----
Altura promedio	15.10 cm	15.10 cm	15.10 cm	15.00 cm	15.00 cm	-----
Ancho promedio	15.00 cm	15.15 cm	15.10 cm	15.00 cm	15.10 cm	-----
Longitud promedio	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	50.00 cm	-----
Peso	27.205 Kg	27.280 Kg	27.245 Kg	27.190 Kg	27.215 Kg	-----
Peso unitario c° end. (Kg/m3)	2402.21	2384.98	2389.81	2416.89	2403.09	2399.39
Carga máx. de rotura	3460 Kg	3320 Kg	3290 Kg	3470 Kg	3460 Kg	3400.00 Kg
Esfuerzo de rotura (Kg/cm2)	68.29	64.87	64.50	69.40	68.74	67.16

ANEXO N°06: INFORMACIÓN ADICIONAL DEL CÁLCULO DE LA PERMEABILIDAD.

6.1. Permeabilidad usando la fórmula de Valenta (Ensayo realizado en laboratorio de la Universidad Nacional de Cajamarca).

La determinación del coeficiente de permeabilidad en esta tesis fue empleando el método y fórmula de Darcy, y con el ánimo de comparar resultados es que se decidió realizar el ensayo de especímenes cilíndricos de concreto de 6"x12" por el método de la Norma española UNE - EN 12390-8 y la adaptación la normativa colombiana NTC 4483 en la cual se utiliza la fórmula de Valenta.

$$k = \frac{prof^2 * v}{2Th} \quad \dots \dots (29)$$

Donde:

- k: Coeficiente de permeabilidad (m/s)
- prof: Profundidad de penetración media (m)
- v: porosidad
- T: 96 horas (345600 s)
- h: 50m de columna de agua.

Las muestras de ensayo fueron dos especímenes del concreto patrón y dos del concreto con 0.96% de aditivo Sika Cem Impermeable. Los resultados son los que se muestran.

Cuadro N° 97: Coeficiente de permeabilidad con la fórmula de Valenta

Especímenes de Concreto	Prof. Media (m)	v (%)	Coeficiente de Permeabilidad K (m/s)	K Promedio (m/s)
C° Patrón-M1	0.0098	14.14	3.9295E-13	4.6703E-13
C° Patrón-M2	0.0115	14.14	5.4111E-13	
C°+0.96%-M1	0.0026	7.58	1.4833E-14	1.8652E-14
C°+0.96%-M2	0.0032	7.58	2.2470E-14	

6.2. Permeabilidad del concreto según tesis de pregrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

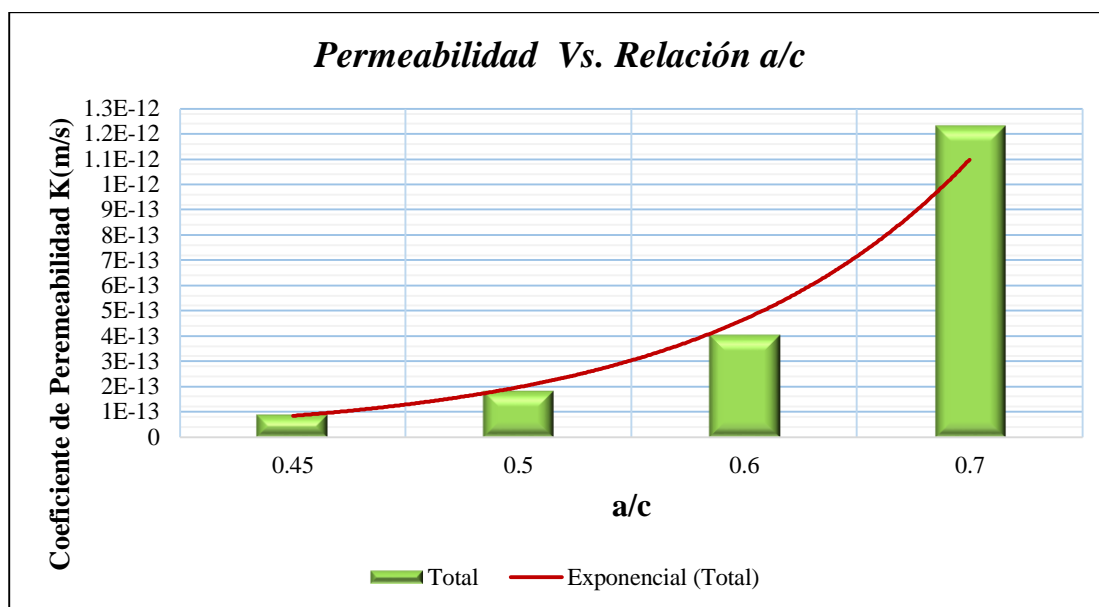
Los datos que se muestran son de ensayos realizados en la Pontificia Universidad Católica del Perú, en la tesis de pregrado titulada “Estudio de la correlación entre la relación agua/cemento y la permeabilidad al agua de concretos usuales en Perú” (Bustamante I., 2017).

Cuadro N° 98: Coeficiente de permeabilidad – Tesis PUCP

Relación a/c	Coeficiente de permeabilidad K (m/s)
0.45	9.17E-14
0.50	1.839E-13
0.60	4.064E-13
0.70	1.2318E-12

Fuente: Tesis de la PUCP-2017

Gráfico N° 18: Comparación del Coeficiente de permeabilidad y la Relación a/c



Fuente: Elaboración propia (Se realizó con la información de la tesis de la PUCP-2017)

ANEXO N°07: GRÁFICAS ESFUERZO VS. DEFORMACIÓN DEL CONCRETO

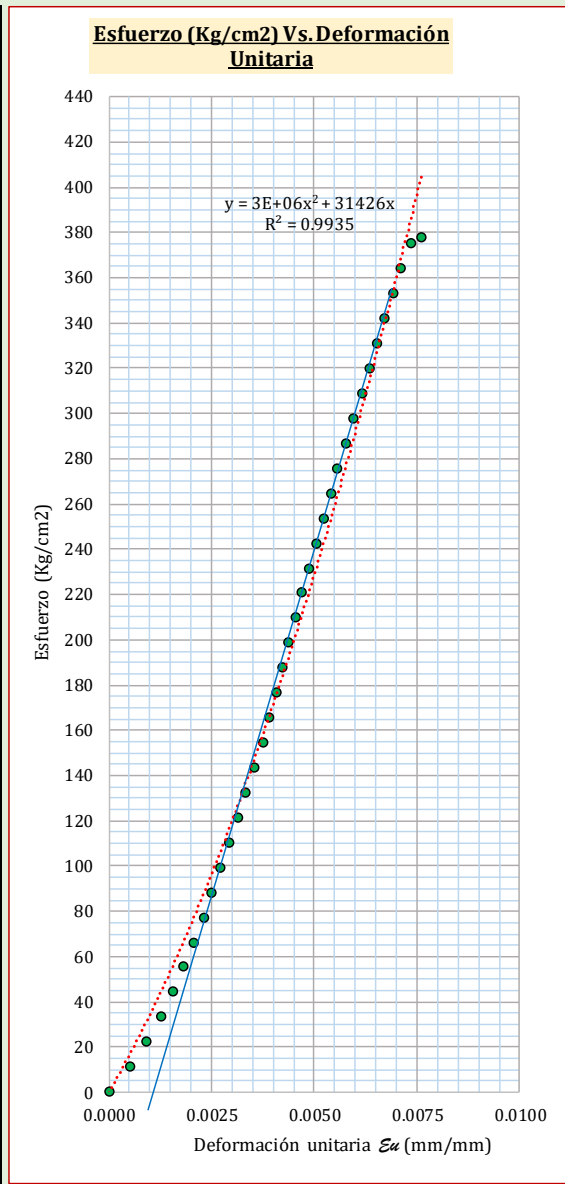
Para cada tipo de concreto se realizaron 5 ensayos, por lo que el concreto patrón tiene 5 gráficas de igual manera los concretos con 0.96%, 1.92% y 2.88% de aditivo Sika Cem Impermeable.

ENSAYO DE ESPECIMENES DE CONCRETO DE F'c=300Kg/cm2			
Tipo de Concreto:	Concreto Patrón	Tipo de Ensayo:	Compresión
F'c de diseño:	300 Kg/cm2	Tipo de Fractura	Tipo-5
Características de Probeta:			
Altura promedio	30.20 cm	Peso del espécimen de C°:	13.100 Kg
Diámetro prom.	15.20 cm	Peso unitario C° endurecido:	2390.49 Kg/m3
Área prom.	181.46 cm2	Fecha de elaboración:	07/08/2017
Edad	28 d	Fecha de ensayo:	04/09/2017



E-1

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)
0	0	0.00	0.0000
2	0.16	11.02	0.0005
4	0.28	22.04	0.0009
6	0.39	33.07	0.0013
8	0.47	44.09	0.0016
10	0.55	55.11	0.0018
12	0.63	66.13	0.0021
14	0.7	77.15	0.0023
16	0.76	88.17	0.0025
18	0.82	99.20	0.0027
20	0.89	110.22	0.0029
22	0.95	121.24	0.0031
24	1.01	132.26	0.0033
26	1.07	143.28	0.0035
28	1.13	154.31	0.0037
30	1.18	165.33	0.0039
32	1.23	176.35	0.0041
34	1.28	187.37	0.0042
36	1.32	198.39	0.0044
38	1.37	209.41	0.0045
40	1.42	220.44	0.0047
42	1.47	231.46	0.0049
44	1.53	242.48	0.0051
46	1.58	253.50	0.0052
48	1.64	264.52	0.0054
50	1.68	275.55	0.0056
52	1.74	286.57	0.0058
54	1.8	297.59	0.0060
56	1.86	308.61	0.0062
58	1.92	319.63	0.0064
60	1.97	330.65	0.0065
62	2.03	341.68	0.0067
64	2.09	352.70	0.0069
66	2.15	363.72	0.0071
68	2.22	374.74	0.0074
68.5	2.3	377.50	0.0076



MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

1.- Método Gráfico (ASTM C-469)

$$E_{C^{\circ}} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon_u}$$

2.- Método Analítico (ACI-318-02)

$$E_{C^{\circ}} = w_c^{1.5} * 33\sqrt{f'_c}$$

σ (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)	$E_{C^{\circ}}$ (Kg/cm2)
154.31	0.0037	60709
0	0.0012	

	Kg/cm2	Kg/m3	Lb/pulg2	Lb/pie3
Wc =	-	2390.49	-	149.2192
f'c =	377.50	-	5369.0372	-
$E_{C^{\circ}}$ =	-	-	4407571.07	-
$E_{C^{\circ}}$ =	309896.32	-	-	-

Los módulos de elasticidad de un concreto ($E_{C^{\circ}}$) oscilan entre 250 000 a 350 000 Kg/cm2, de ahí que el $E_{C^{\circ}}$ elegido será:



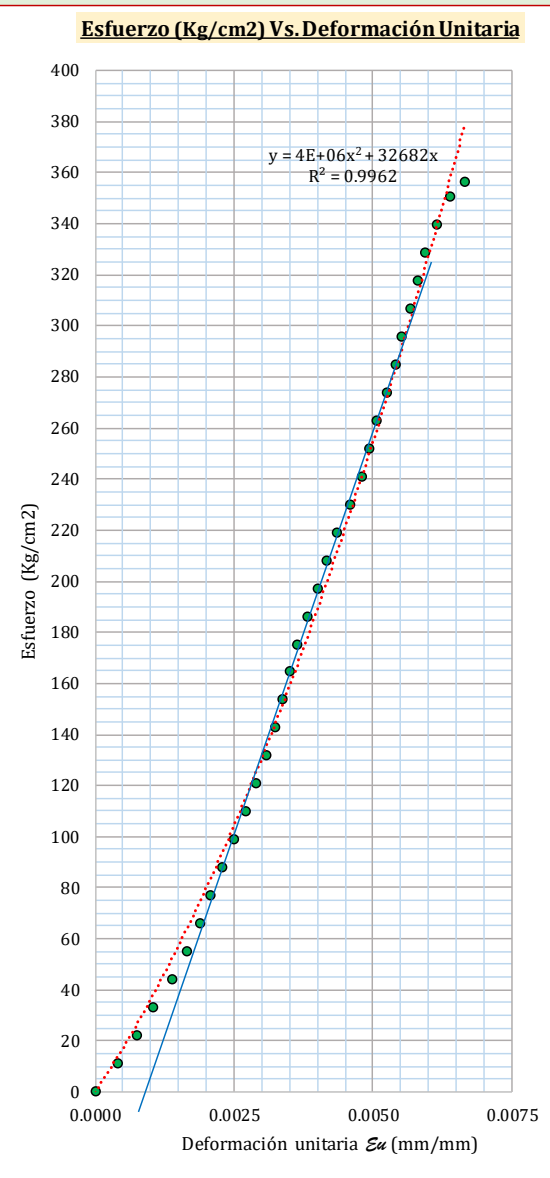
$$E_{C^{\circ}} = 309896.322 \text{ Kg/cm2}$$

ENSAYO DE ESPECIMENES DE CONCRETO DE F'c=300Kg/cm2			
Tipo de Concreto:	Concreto Patrón	Tipo de Ensayo:	Compresión
F'c de diseño:	300 Kg/cm2	Tipo de Fractura	Tipo-2
Características de Probeta:			
Altura promedio	30.24 cm	Peso del espécimen de C°:	12.950 Kg
Diámetro prom.	15.25 cm	Peso unitario C° endurecido:	2344.54 Kg/m3
Área prom.	182.65 cm2	Fecha de elaboración:	07/08/2017
Edad	28 d	Fecha de ensayo:	04/09/2017



E-2

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)
0	0	0.00	0.0000
2	0.12	10.95	0.0004
4	0.23	21.90	0.0008
6	0.32	32.85	0.0011
8	0.42	43.80	0.0014
10	0.5	54.75	0.0017
12	0.57	65.70	0.0019
14	0.63	76.65	0.0021
16	0.69	87.60	0.0023
18	0.76	98.55	0.0025
20	0.82	109.50	0.0027
22	0.88	120.45	0.0029
24	0.93	131.40	0.0031
26	0.98	142.35	0.0032
28	1.02	153.30	0.0034
30	1.06	164.24	0.0035
32	1.1	175.19	0.0036
34	1.16	186.14	0.0038
36	1.21	197.09	0.0040
38	1.26	208.04	0.0042
40	1.32	218.99	0.0044
42	1.39	229.94	0.0046
44	1.45	240.89	0.0048
46	1.49	251.84	0.0049
48	1.53	262.79	0.0051
50	1.59	273.74	0.0053
52	1.64	284.69	0.0054
54	1.67	295.64	0.0055
56	1.72	306.59	0.0057
58	1.76	317.54	0.0058
60	1.8	328.49	0.0060
62	1.86	339.44	0.0062
64	1.93	350.39	0.0064
65	2.01	355.86	0.0066



MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

1.- Método Gráfico (ASTM C-469)

$$E_{c^{\circ}} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon_u}$$

σ (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)	$E_{c^{\circ}}$ (Kg/cm2)
142.35	0.0032	63526
0	0.001	

2.- Método Analítico (ACI-318-02)

$$E_{c^{\circ}} = w_c^{1.5} * 33\sqrt{f'_c}$$

	Kg/cm2	Kg/m3	Lb/pulg2	Lb/pie3
Wc =	-	2344.54	-	146.3511
f'c =	355.86	-	5061.353724	-
$E_{c^{\circ}}$ =		-	4156627.787	-
$E_{c^{\circ}}$ =	292252.5			

Los módulos de elasticidad de un concreto ($E_{c^{\circ}}$) oscilan entre 250 000 a 350 000 Kg/cm2, de ahí que el $E_{c^{\circ}}$ elegido será:



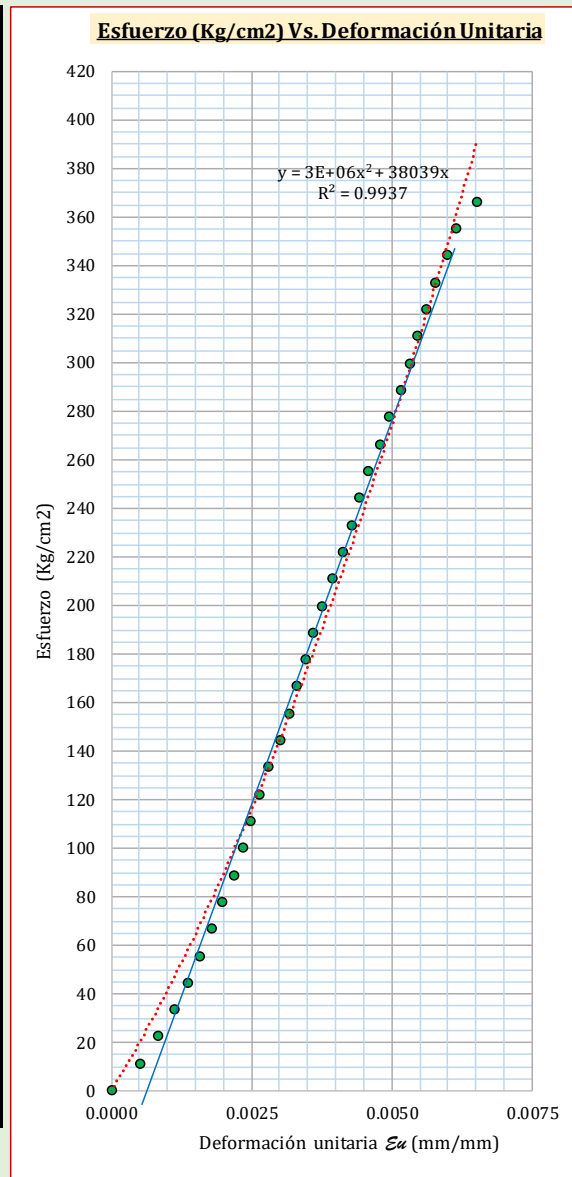
$$E_{c^{\circ}} = 292252.5 \text{ Kg/cm2}$$

ENSAYO DE ESPECIMENES DE CONCRETO DE F'c=300Kg/cm2			
Tipo de Concreto:	Concreto Patrón	Tipo de Ensayo:	Compresión
F'c de diseño:	300 Kg/cm2	Tipo de Fractura	Tipo-3
Características de Probeta:			
Altura promedio	30.25 cm	Peso del espécimen de C°:	12.975 Kg
Diámetro prom.	15.15 cm	Peso unitario C° endurecido:	2379.40 Kg/m3
Área prom.	180.27 cm2	Fecha de elaboración:	07/08/2017
Edad	28 d	Fecha de ensayo:	04/09/2017



E-3

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)
0	0	0.00	0.0000
2	0.16	11.09	0.0005
4	0.25	22.19	0.0008
6	0.34	33.28	0.0011
8	0.41	44.38	0.0014
10	0.48	55.47	0.0016
12	0.54	66.57	0.0018
14	0.6	77.66	0.0020
16	0.66	88.76	0.0022
18	0.71	99.85	0.0023
20	0.75	110.95	0.0025
22	0.8	122.04	0.0026
24	0.85	133.14	0.0028
26	0.91	144.23	0.0030
28	0.96	155.33	0.0032
30	1	166.42	0.0033
32	1.05	177.51	0.0035
34	1.09	188.61	0.0036
36	1.14	199.70	0.0038
38	1.19	210.80	0.0039
40	1.25	221.89	0.0041
42	1.3	232.99	0.0043
44	1.34	244.08	0.0044
46	1.39	255.18	0.0046
48	1.45	266.27	0.0048
50	1.5	277.37	0.0050
52	1.56	288.46	0.0052
54	1.61	299.56	0.0053
56	1.65	310.65	0.0055
58	1.7	321.75	0.0056
60	1.75	332.84	0.0058
62	1.81	343.94	0.0060
64	1.86	355.03	0.0061
66	1.97	366.12	0.0065



MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

1.- Método Gráfico (ASTM C-469)

$$E_{c^{\circ}} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon_u}$$

σ (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)	$E_{c^{\circ}}$ (Kg/cm2)
144.23	0.0030	65314
0	0.0008	

2.- Método Analítico (ACI-318-02)

$$E_{c^{\circ}} = w_c^{1.5} * 33\sqrt{f'_c}$$

	Kg/cm2	Kg/m3	Lb/pulg2	Lb/pie3
Wc =	-	2379.40	-	148.5266
f'c =	366.12	-	5207.2891	-
E _{c°} =		-	4310486.39	-
E _{c°} =	303070.298			

Los módulos de elasticidad de un concreto (E_{c°}) oscilan entre 250 000 a 350 000 Kg/cm2, de ahí que el E_{c°} elegido será:



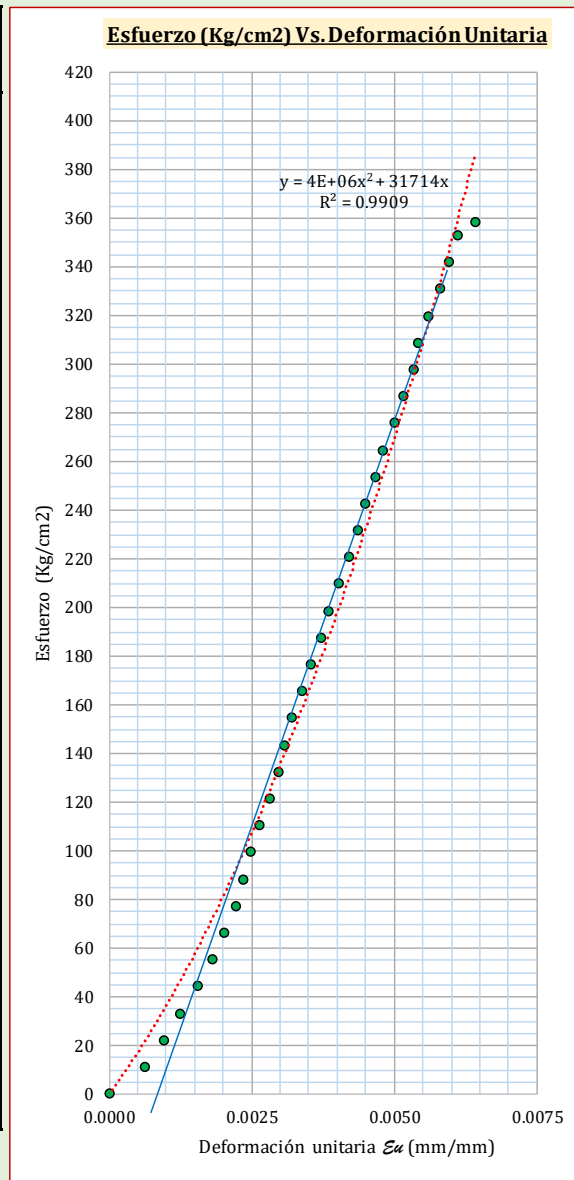
E_{c°} = 303070.298 Kg/cm2

ENSAYO DE ESPECIMENES DE CONCRETO DE F'c=300Kg/cm2			
Tipo de Concreto:	Concreto Patrón	Tipo de Ensayo:	Compresión
F'c de diseño:	300 Kg/cm2	Tipo de Fractura	Tipo-3
Características de Probeta:			
Altura promedio	30.20 cm	Peso del espécimen de C°:	12.885 Kg
Diámetro prom.	15.20 cm	Peso unitario C° endurecido:	2351.26 Kg/m3
Área prom.	181.46 cm2	Fecha de elaboración:	07/08/2017
Edad	28 d	Fecha de ensayo:	04/09/2017



E-4

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)
0	0	0.00	0.0000
2	0.19	11.02	0.0006
4	0.29	22.04	0.0010
6	0.38	33.07	0.0013
8	0.47	44.09	0.0016
10	0.55	55.11	0.0018
12	0.61	66.13	0.0020
14	0.67	77.15	0.0022
16	0.71	88.17	0.0024
18	0.75	99.20	0.0025
20	0.8	110.22	0.0026
22	0.85	121.24	0.0028
24	0.9	132.26	0.0030
26	0.93	143.28	0.0031
28	0.97	154.31	0.0032
30	1.02	165.33	0.0034
32	1.07	176.35	0.0035
34	1.12	187.37	0.0037
36	1.16	198.39	0.0038
38	1.22	209.41	0.0040
40	1.27	220.44	0.0042
42	1.32	231.46	0.0044
44	1.36	242.48	0.0045
46	1.41	253.50	0.0047
48	1.45	264.52	0.0048
50	1.51	275.55	0.0050
52	1.56	286.57	0.0052
54	1.61	297.59	0.0053
56	1.64	308.61	0.0054
58	1.69	319.63	0.0056
60	1.75	330.65	0.0058
62	1.8	341.68	0.0060
64	1.85	352.70	0.0061
65	1.94	358.21	0.0064



MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

1.- Método Gráfico (ASTM C-469)

$$E_{C^{\circ}} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon_u}$$

σ (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)	$E_{C^{\circ}}$ (Kg/cm2)
143.28	0.0031	65742
0	0.0009	

2.- Método Analítico (ACI-318-02)

$$E_{C^{\circ}} = w_c^{1.5} * 33\sqrt{f'_c}$$

	Kg/cm2	Kg/m3	Lb/pulg2	Lb/pie3
Wc =	-	2351.26	-	146.7702
f'c =	358.21	-	5094.7069	-
E _{C°} =	-	-	4188228.878	-
E _{C°} =	294474.372			

Los módulos de elasticidad de un concreto (E_{C°}) oscilan entre 250 000 a 350 000 Kg/cm2, de ahí que el E_{C°} elegido será:



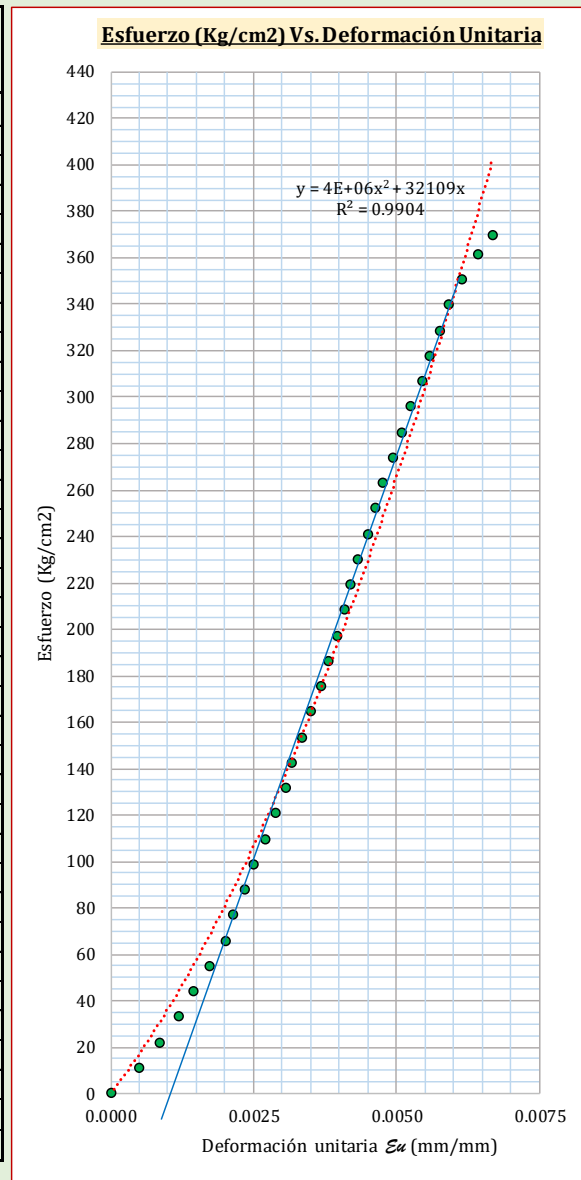
$$E_{C^{\circ}} = 294474.372 \text{ Kg/cm2}$$

ENSAYO DE ESPECIMENES DE CONCRETO DE F'c=300kg/cm2			
Tipo de Concreto:	Concreto Patrón	Tipo de Ensayo:	Compresión
F'c de diseño:	300 Kg/cm2	Tipo de Fractura	Tipo-5
Características de Probeta:			
Altura promedio	30.24 cm	Peso del espécimen de C°:	13.035 Kg
Diámetro prom.	15.25 cm	Peso unitario C° endurecido:	2359.93 Kg/m3
Área prom.	182.65 cm2	Fecha de elaboración:	07/08/2017
Edad	28 d	Fecha de ensayo:	04/09/2017



E-5

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)
0	0	0.00	0.0000
2	0.15	10.95	0.0005
4	0.26	21.90	0.0009
6	0.36	32.85	0.0012
8	0.44	43.80	0.0015
10	0.52	54.75	0.0017
12	0.61	65.70	0.0020
14	0.65	76.65	0.0021
16	0.71	87.60	0.0023
18	0.76	98.55	0.0025
20	0.82	109.50	0.0027
22	0.87	120.45	0.0029
24	0.93	131.40	0.0031
26	0.96	142.35	0.0032
28	1.01	153.30	0.0033
30	1.06	164.24	0.0035
32	1.11	175.19	0.0037
34	1.15	186.14	0.0038
36	1.2	197.09	0.0040
38	1.24	208.04	0.0041
40	1.27	218.99	0.0042
42	1.31	229.94	0.0043
44	1.36	240.89	0.0045
46	1.4	251.84	0.0046
48	1.44	262.79	0.0048
50	1.49	273.74	0.0049
52	1.54	284.69	0.0051
54	1.59	295.64	0.0053
56	1.65	306.59	0.0055
58	1.69	317.54	0.0056
60	1.74	328.49	0.0058
62	1.79	339.44	0.0059
64	1.86	350.39	0.0062
66	1.94	361.34	0.0064
67.5	2.02	369.55	0.0067



MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

1.- Método Gráfico (ASTM C-469)

$$E_c^\circ = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon_u}$$

σ (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)	E_c° (Kg/cm2)
153.30	0.0033	68437
0	0.0011	

2.- Método Analítico (ACI-318-02)

$$E_c^\circ = w_c^{1.5} * 33\sqrt{f'_c}$$

	Kg/cm2	Kg/m3	Lb/pulg2	Lb/pie3
Wc =	-	2359.93	-	147.3117
f'c =	369.55	-	5256.0212	-
E_c° =		-	4277581.03	-
E_c° =	300756.722			

Los módulos de elasticidad de un concreto (E_c°) oscilan entre 250 000 a 350 000 Kg/cm2, de ahí que el E_c° elegido será:



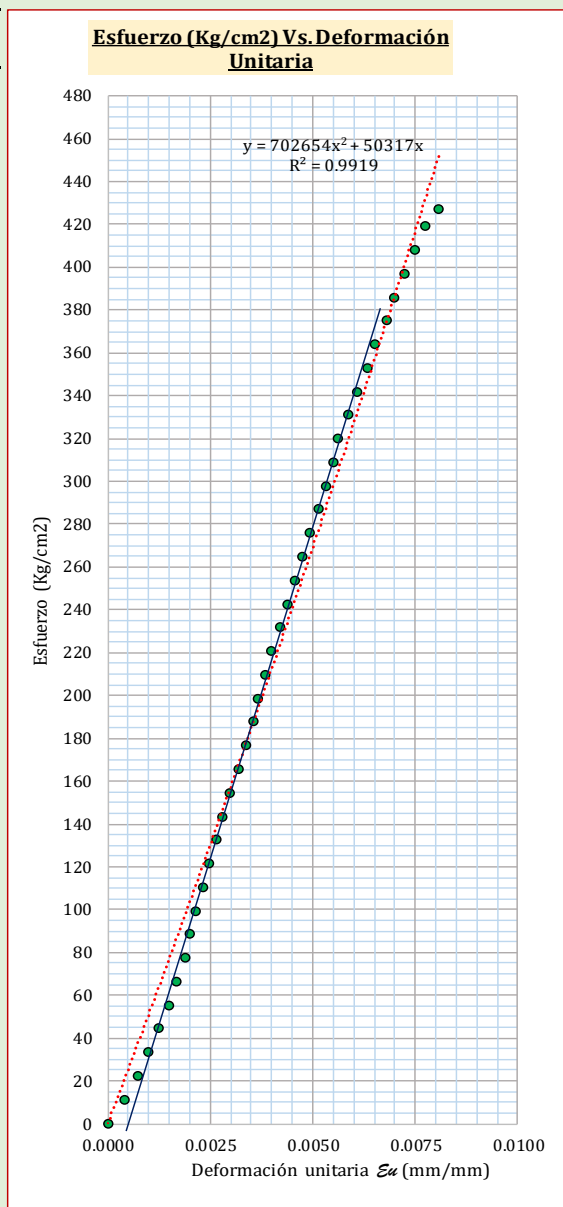
$$E_c^\circ = 300756.722 \text{ Kg/cm2}$$

ENSAYO DE ESPECIMENES DE CONCRETO DE F'c=300Kg/cm2			
Tipo de Concreto:	Concreto Impermeable	Tipo de Ensayo:	Compresión
F'c de diseño:	300 Kg/cm2 + Ad. (0.96%)	Tipo de Fractura	Tipo-5
Características de Probeta:			
Altura promedio	30.20 cm	Peso del espécimen de C°:	13.125 Kg
Diámetro prom.	15.20 cm	Peso unitario C° endurecido:	2395.05 Kg/m3
Área prom.	181.46 cm2	Fecha de elaboración:	08/08/2017
Edad	28 d	Fecha de ensayo:	05/09/2017



E-1

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)
0	0	0.00	0.0000
2	0.13	11.02	0.0004
4	0.22	22.04	0.0007
6	0.3	33.07	0.0010
8	0.38	44.09	0.0013
10	0.45	55.11	0.0015
12	0.51	66.13	0.0017
14	0.57	77.15	0.0019
16	0.61	88.17	0.0020
18	0.65	99.20	0.0022
20	0.7	110.22	0.0023
22	0.75	121.24	0.0025
24	0.8	132.26	0.0026
26	0.84	143.28	0.0028
28	0.9	154.31	0.0030
30	0.97	165.33	0.0032
32	1.02	176.35	0.0034
34	1.07	187.37	0.0035
36	1.11	198.39	0.0037
38	1.16	209.41	0.0038
40	1.21	220.44	0.0040
42	1.27	231.46	0.0042
44	1.33	242.48	0.0044
46	1.38	253.50	0.0046
48	1.43	264.52	0.0047
50	1.49	275.55	0.0049
52	1.55	286.57	0.0051
54	1.61	297.59	0.0053
56	1.66	308.61	0.0055
58	1.7	319.63	0.0056
60	1.77	330.65	0.0059
62	1.84	341.68	0.0061
64	1.91	352.70	0.0063
66	1.97	363.72	0.0065
68	2.05	374.74	0.0068
70	2.11	385.76	0.0070
72	2.19	396.79	0.0073
74	2.26	407.81	0.0075
76	2.34	418.83	0.0077
77.5	2.44	427.10	0.0081



MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

1.- Método Gráfico (ASTM C-469)

$$E_{c^{\circ}} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon_u}$$

2.- Método Analítico (ACI-318-02)

$$E_{c^{\circ}} = w_c^{1.5} * 33\sqrt{f'_c}$$

σ (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)	Ec° (Kg/cm2)
176.35	0.0034	63492
0	0.0006	

	Kg/cm2	Kg/m3	Lb/pulg2	Lb/pie3
Wc =	-	2395.05	-	149.5040
f'c =	427.10	-	6074.4582	-
Ec° =		-	4701613.4	-
Ec° =	330570.44			

Los módulos de elasticidad de un concreto (Ec°) oscilan entre 250 000 a 350 000 Kg/cm2, de ahí que el Ec° elegido será:



$$E_{c^{\circ}} = 330570.437 \text{ Kg/cm2}$$

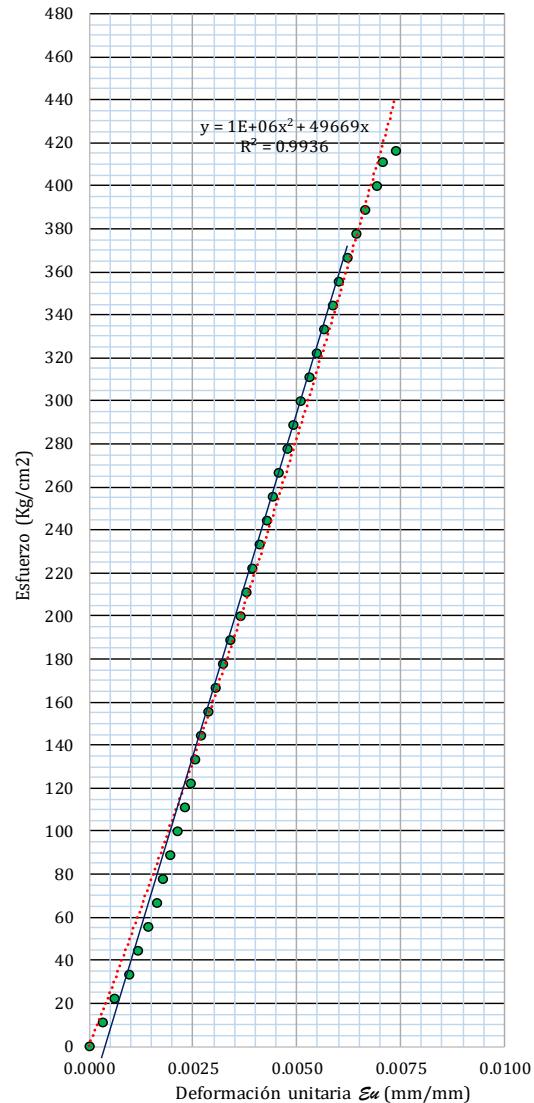
ENSAYO DE ESPECIMENES DE CONCRETO DE F'c=300Kg/cm2			
Tipo de Concreto:	Concreto Impermeable	Tipo de Ensayo:	Compresión
F'c de diseño:	300 Kg/cm2 + Ad. (0.96%)	Tipo de Fractura	Tipo-4
Características de Probeta:			
Altura promedio	30.20 cm	Peso del espécimen de C°:	13.015 Kg
Diámetro prom.	15.15 cm	Peso unitario C° endurecido:	2390.68 Kg/m3
Área prom.	180.27 cm2	Fecha de elaboración:	08/08/2017
Edad	28 d	Fecha de ensayo:	05/09/2017



E-2

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)
0	0	0.00	0.0000
2	0.1	11.09	0.0003
4	0.19	22.19	0.0006
6	0.29	33.28	0.0010
8	0.36	44.38	0.0012
10	0.43	55.47	0.0014
12	0.5	66.57	0.0017
14	0.54	77.66	0.0018
16	0.59	88.76	0.0020
18	0.65	99.85	0.0022
20	0.7	110.95	0.0023
22	0.74	122.04	0.0025
24	0.77	133.14	0.0025
26	0.82	144.23	0.0027
28	0.87	155.33	0.0029
30	0.92	166.42	0.0030
32	0.98	177.51	0.0032
34	1.03	188.61	0.0034
36	1.1	199.70	0.0036
38	1.15	210.80	0.0038
40	1.19	221.89	0.0039
42	1.24	232.99	0.0041
44	1.29	244.08	0.0043
46	1.34	255.18	0.0044
48	1.38	266.27	0.0046
50	1.44	277.37	0.0048
52	1.49	288.46	0.0049
54	1.54	299.56	0.0051
56	1.6	310.65	0.0053
58	1.66	321.75	0.0055
60	1.71	332.84	0.0057
62	1.77	343.94	0.0059
64	1.82	355.03	0.0060
66	1.88	366.12	0.0062
68	1.95	377.22	0.0065
70	2.01	388.31	0.0067
72	2.09	399.41	0.0069
74	2.14	410.50	0.0071
75	2.23	416.05	0.0074

Esfuerzo (Kg/cm2) Vs. Deformación Unitaria



MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

1.- Método Gráfico (ASTM C-469)

$$E_{c^{\circ}} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon_u}$$

σ (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)	$E_{c^{\circ}}$ (Kg/cm2)
166.42	0.0030	65356
0	0.0005	

2.- Método Analítico (ACI-318-02)

$$E_{c^{\circ}} = w_c^{1.5} * 33\sqrt{f'_c}$$

	Kg/cm2	Kg/m3	Lb/pulg2	Lb/pie3
Wc =	-	2390.68	-	149.2312
f'c =	416.05	-	5917.3740	-
$E_{c^{\circ}}$ =		-	4627727.79	-
$E_{c^{\circ}}$ =	325375.541			

Los módulos de elasticidad de un concreto ($E_{c^{\circ}}$) oscilan entre 250 000 a 350 000 Kg/cm2, de ahí que el $E_{c^{\circ}}$ elegido será:



$$E_{c^{\circ}} = 325375.541 \text{ Kg/cm2}$$

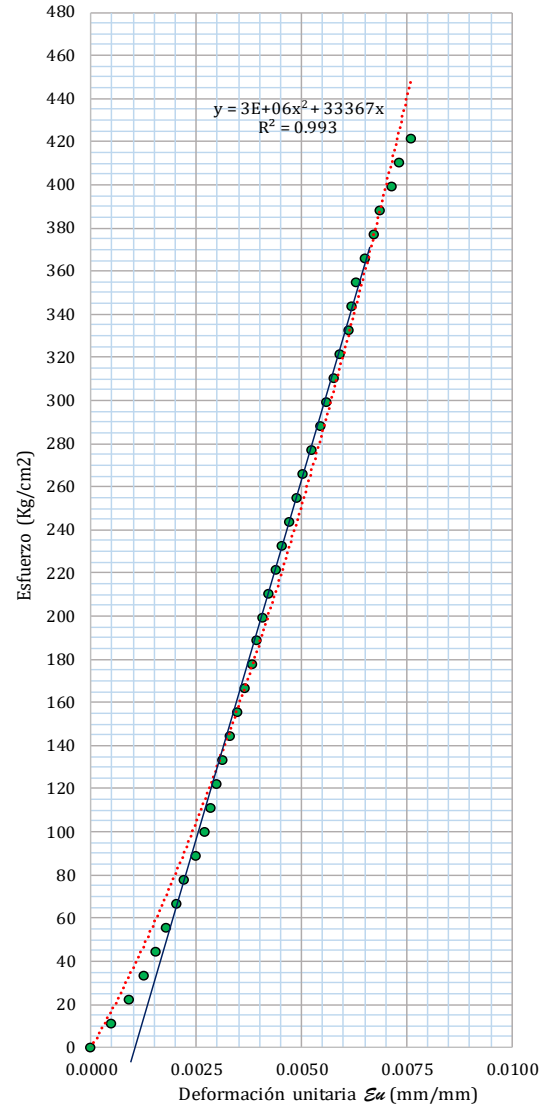
ENSAYO DE ESPECIMENES DE CONCRETO DE F'c=300Kg/cm2			
Tipo de Concreto:	Concreto Impermeable	Tipo de Ensayo: Compresión	
F'c de diseño:	300 Kg/cm2 + Ad. (0.96%)	Tipo de Fractura	Tipo-5
Características de Probeta:			
Altura promedio	30.10 cm	Peso del espécimen de C°:	12.985 Kg
Diámetro prom.	15.15 cm	Peso unitario C° endurecido:	2393.10 Kg/m3
Área prom.	180.27 cm2	Fecha de elaboración:	08/08/2017
Edad	28 d	Fecha de ensayo:	05/09/2017



E-3

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)
0	0	0.00	0.0000
2	0.15	11.09	0.0005
4	0.27	22.19	0.0009
6	0.38	33.28	0.0013
8	0.46	44.38	0.0015
10	0.54	55.47	0.0018
12	0.61	66.57	0.0020
14	0.67	77.66	0.0022
16	0.75	88.76	0.0025
18	0.81	99.85	0.0027
20	0.86	110.95	0.0029
22	0.9	122.04	0.0030
24	0.94	133.14	0.0031
26	1	144.23	0.0033
28	1.05	155.33	0.0035
30	1.1	166.42	0.0037
32	1.15	177.51	0.0038
34	1.19	188.61	0.0040
36	1.23	199.70	0.0041
38	1.27	210.80	0.0042
40	1.32	221.89	0.0044
42	1.37	232.99	0.0046
44	1.42	244.08	0.0047
46	1.47	255.18	0.0049
48	1.52	266.27	0.0050
50	1.58	277.37	0.0052
52	1.64	288.46	0.0054
54	1.68	299.56	0.0056
56	1.74	310.65	0.0058
58	1.78	321.75	0.0059
60	1.84	332.84	0.0061
62	1.87	343.94	0.0062
64	1.9	355.03	0.0063
66	1.96	366.12	0.0065
68	2.02	377.22	0.0067
70	2.07	388.31	0.0069
72	2.15	399.41	0.0071
74	2.21	410.50	0.0073
76	2.29	421.60	0.0076

Esfuerzo (Kg/cm2) Vs. Deformación Unitaria



MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

1.- Método Gráfico (ASTM C-469)

$$E_{c^{\circ}} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon_u}$$

σ (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)	Ec° (Kg/cm2)
166.42	0.0037	67803
0	0.0012	

2.- Método Analítico (ACI-318-02)

$$E_{c^{\circ}} = w_c^{1.5} * 33\sqrt{f'_c}$$

	Kg/cm2	Kg/m3	Lb/pulg2	Lb/pie3
Wc =	-	2393.10	-	149.3818
f'c =	421.60	-	5996.2723	-
Ec° =	-	-	4665533.51	-
Ec° =	328033.661			

Los módulos de elasticidad de un concreto (Ec°) oscilan entre 250 000 a 350 000 Kg/cm2, de ahí que el Ec° elegido será:



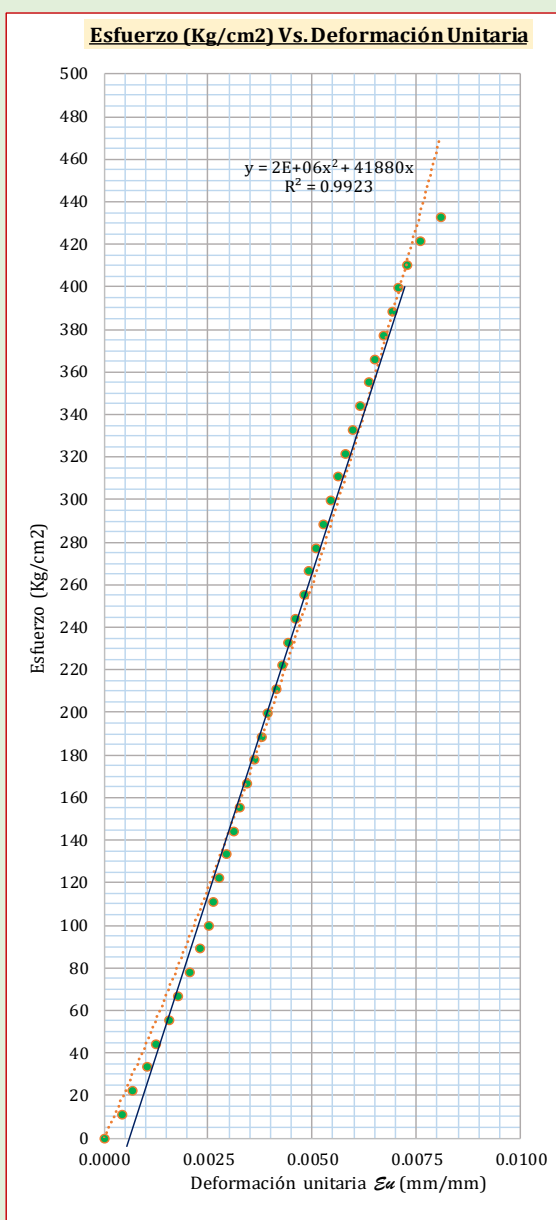
Ec° = 328033.661 Kg/cm2

ENSAYO DE ESPECIMENES DE CONCRETO DE F'c=300Kg/cm2			
Tipo de Concreto:	Concreto Impermeable	Tipo de Ensayo:	Compresión
F'c de diseño:	300 Kg/cm2 + Ad. (0.96%)	Tipo de Fractura	Tipo-5
Características de Probeta:			
Altura promedio	30.20 cm	Peso del espécimen de C°:	13.075 Kg
Diámetro prom.	15.15 cm	Peso unitario C° endurecido:	2401.70 Kg/m3
Área prom.	180.27 cm2	Fecha de elaboración:	08/08/2017
Edad	28 d	Fecha de ensayo:	05/09/2017



E-4

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)
0	0	0.00	0.0000
2	0.13	11.09	0.0004
4	0.21	22.19	0.0007
6	0.31	33.28	0.0010
8	0.38	44.38	0.0013
10	0.47	55.47	0.0016
12	0.54	66.57	0.0018
14	0.62	77.66	0.0021
16	0.7	88.76	0.0023
18	0.76	99.85	0.0025
20	0.79	110.95	0.0026
22	0.84	122.04	0.0028
24	0.89	133.14	0.0029
26	0.94	144.23	0.0031
28	0.99	155.33	0.0033
30	1.04	166.42	0.0034
32	1.09	177.51	0.0036
34	1.14	188.61	0.0038
36	1.19	199.70	0.0039
38	1.25	210.80	0.0041
40	1.29	221.89	0.0043
42	1.34	232.99	0.0044
44	1.39	244.08	0.0046
46	1.45	255.18	0.0048
48	1.49	266.27	0.0049
50	1.54	277.37	0.0051
52	1.59	288.46	0.0053
54	1.65	299.56	0.0055
56	1.7	310.65	0.0056
58	1.75	321.75	0.0058
60	1.81	332.84	0.0060
62	1.86	343.94	0.0062
64	1.92	355.03	0.0064
66	1.97	366.12	0.0065
68	2.03	377.22	0.0067
70	2.09	388.31	0.0069
72	2.14	399.41	0.0071
74	2.2	410.50	0.0073
76	2.3	421.60	0.0076
78	2.44	432.69	0.0081



MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

1.- Método Gráfico (ASTM C-469)

$$E_c = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon_u}$$

σ (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)	E_c (Kg/cm2)
177.51	0.0036	61017
0	0.0007	

2.- Método Analítico (ACI-318-02)

$$E_c = w_c^{1.5} * 33\sqrt{f'_c}$$

	Kg/cm2	Kg/m3	Lb/pulg2	Lb/pie3
Wc =	-	2401.70	-	149.9191
f'c =	432.69	-	6154.0689	-
E_c =	-	-	4752047.383	-
E_c =	334116.452			

Los módulos de elasticidad de un concreto (E_c) oscilan entre 250 000 a 350 000 Kg/cm2, de ahí que el E_c elegido será:



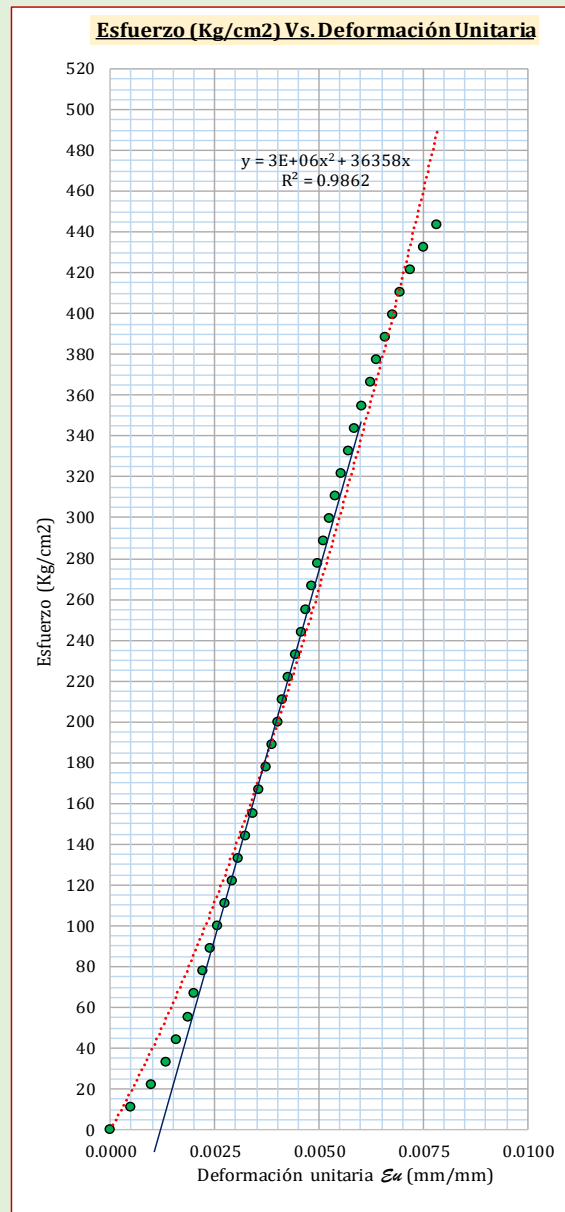
$$E_c = 334116.452 \text{ Kg/cm2}$$

ENSAYO DE ESPECIMENES DE CONCRETO DE $f'c=300\text{Kg/cm}^2$			
Tipo de Concreto:	Concreto Impermeable	Tipo de Ensayo:	Compresión
$f'c$ de diseño:	300 Kg/cm ² + Ad. (0.96%)	Tipo de Fractura	Tipo-5
Características de Probeta:			
Altura promedio	30.24 cm	Peso del espécimen de C°:	13.055 Kg
Diámetro prom.	15.15 cm	Peso unitario C° endurecido:	2394.86 Kg/m ³
Área prom.	180.27 cm ²	Fecha de elaboración:	08/08/2017
Edad	28 d	Fecha de ensayo:	05/09/2017



E-5

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Eu (mm/mm)
0	0	0.00	0.0000
2	0.15	11.09	0.0005
4	0.3	22.19	0.0010
6	0.4	33.28	0.0013
8	0.48	44.38	0.0016
10	0.56	55.47	0.0019
12	0.61	66.57	0.0020
14	0.67	77.66	0.0022
16	0.72	88.76	0.0024
18	0.78	99.85	0.0026
20	0.83	110.95	0.0027
22	0.88	122.04	0.0029
24	0.92	133.14	0.0030
26	0.98	144.23	0.0032
28	1.03	155.33	0.0034
30	1.07	166.42	0.0035
32	1.13	177.51	0.0037
34	1.17	188.61	0.0039
36	1.21	199.70	0.0040
38	1.25	210.80	0.0041
40	1.29	221.89	0.0043
42	1.34	232.99	0.0044
44	1.38	244.08	0.0046
46	1.42	255.18	0.0047
48	1.46	266.27	0.0048
50	1.5	277.37	0.0050
52	1.54	288.46	0.0051
54	1.59	299.56	0.0053
56	1.63	310.65	0.0054
58	1.67	321.75	0.0055
60	1.72	332.84	0.0057
62	1.77	343.94	0.0059
64	1.82	355.03	0.0060
66	1.88	366.12	0.0062
68	1.93	377.22	0.0064
70	1.99	388.31	0.0066
72	2.04	399.41	0.0067
74	2.1	410.50	0.0069
76	2.17	421.60	0.0072
78	2.27	432.69	0.0075
80	2.37	443.79	0.0078



MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

1.- Método Gráfico (ASTM C-469)

$$E_{c^{\circ}} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon_u}$$

σ (Kg/cm ²)	Eu (mm/mm)	$E_{c^{\circ}}$ (Kg/cm ²)
177.51	0.0037	72848
0	0.0013	

2.- Método Analítico (ACI-318-02)

$$E_{c^{\circ}} = w_c^{1.5} * 33\sqrt{f'c}$$

	Kg/cm ²	Kg/m ³	Lb/pulg ²	Lb/pie ³
Wc =	-	2394.86	-	149.49182
$f'c$ =	443.79	-	6311.86559	-
$E_{c^{\circ}}$ =		-	4792023.69	-
$E_{c^{\circ}}$ =	336927.186			

Los módulos de elasticidad de un concreto ($E_{c^{\circ}}$) oscilan entre 250 000 a 350 000 Kg/cm², de ahí que el $E_{c^{\circ}}$ elegido será:



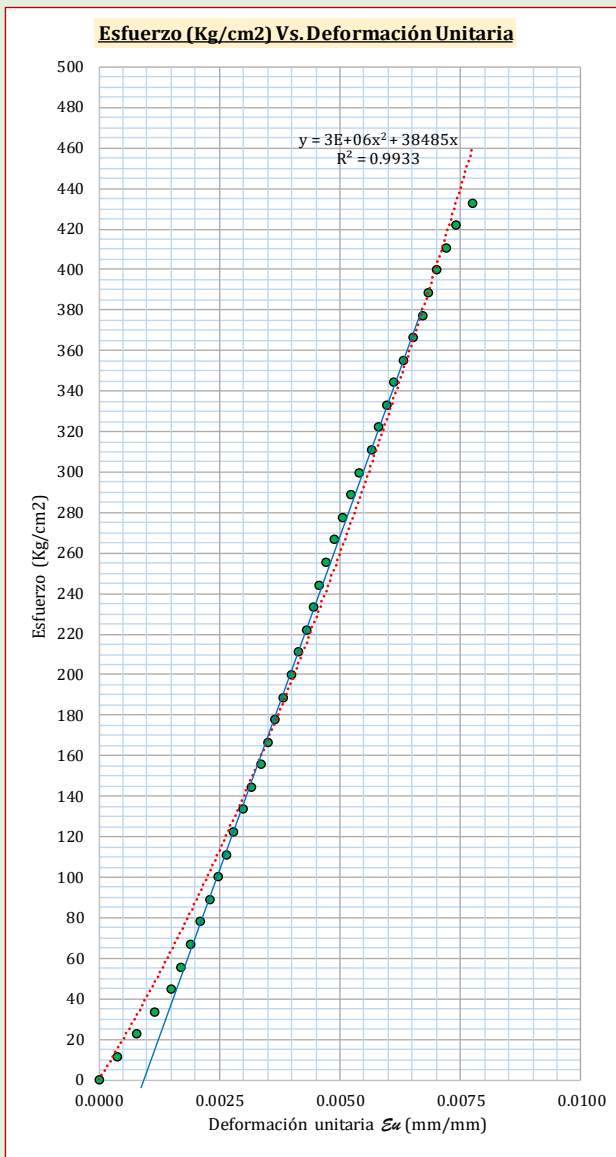
$$E_{c^{\circ}} = 336927.186 \text{ Kg/cm}^2$$

ENSAYO DE ESPECIMENES DE CONCRETO DE F'c=300Kg/cm2			
Tipo de Concreto:	Concreto Impermeable	Tipo de Ensayo:	Compresión
F'c de diseño:	300 Kg/cm2 + Ad. (1.92%)	Tipo de Fractura	Tipo-5
Características de Probeta:			
Altura promedio	30.10 cm	Peso del espécimen de C°:	12.985 Kg
Diámetro prom.	15.15 cm	Peso unitario C° endurecido:	2393.10 Kg/m3
Área prom.	180.27 cm2	Fecha de elaboración:	10/08/2017
Edad	28 d	Fecha de ensayo:	07/09/2017



E-1

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)
0	0	0.00	0.0000
2	0.12	11.09	0.0004
4	0.24	22.19	0.0008
6	0.35	33.28	0.0012
8	0.45	44.38	0.0015
10	0.51	55.47	0.0017
12	0.57	66.57	0.0019
14	0.63	77.66	0.0021
16	0.69	88.76	0.0023
18	0.75	99.85	0.0025
20	0.8	110.95	0.0027
22	0.84	122.04	0.0028
24	0.9	133.14	0.0030
26	0.95	144.23	0.0032
28	1.01	155.33	0.0034
30	1.06	166.42	0.0035
32	1.1	177.51	0.0037
34	1.15	188.61	0.0038
36	1.2	199.70	0.0040
38	1.25	210.80	0.0042
40	1.3	221.89	0.0043
42	1.34	232.99	0.0045
44	1.38	244.08	0.0046
46	1.42	255.18	0.0047
48	1.47	266.27	0.0049
50	1.52	277.37	0.0050
52	1.57	288.46	0.0052
54	1.63	299.56	0.0054
56	1.7	310.65	0.0056
58	1.75	321.75	0.0058
60	1.8	332.84	0.0060
62	1.84	343.94	0.0061
64	1.9	355.03	0.0063
66	1.96	366.12	0.0065
68	2.02	377.22	0.0067
70	2.06	388.31	0.0068
72	2.11	399.41	0.0070
74	2.17	410.50	0.0072
76	2.23	421.60	0.0074
78	2.33	432.69	0.0077



MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

1.- Método Gráfico (ASTM C-469)

$$E_{C^{\circ}} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon_u}$$

σ (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)	$E_{C^{\circ}}$ (Kg/cm2)
177.51	0.0037	66874
0	0.001	

2.- Método Analítico (ACI-318-02)

$$E_{C^{\circ}} = w_c^{1.5} * 33\sqrt{f'_c}$$

	Kg/cm2	Kg/m3	Lb/pulg2	Lb/pie3
Wc =	-	2393.10	-	149.3818
f'c =	432.69	-	6154.0689	-
$E_{C^{\circ}}$ =	-	-	4726523.463	-
$E_{C^{\circ}}$ =	332321.8647			

Los módulos de elasticidad de un concreto ($E_{C^{\circ}}$) oscilan entre 250 000 a 350 000 Kg/cm2, de ahí que el $E_{C^{\circ}}$ elegido será:



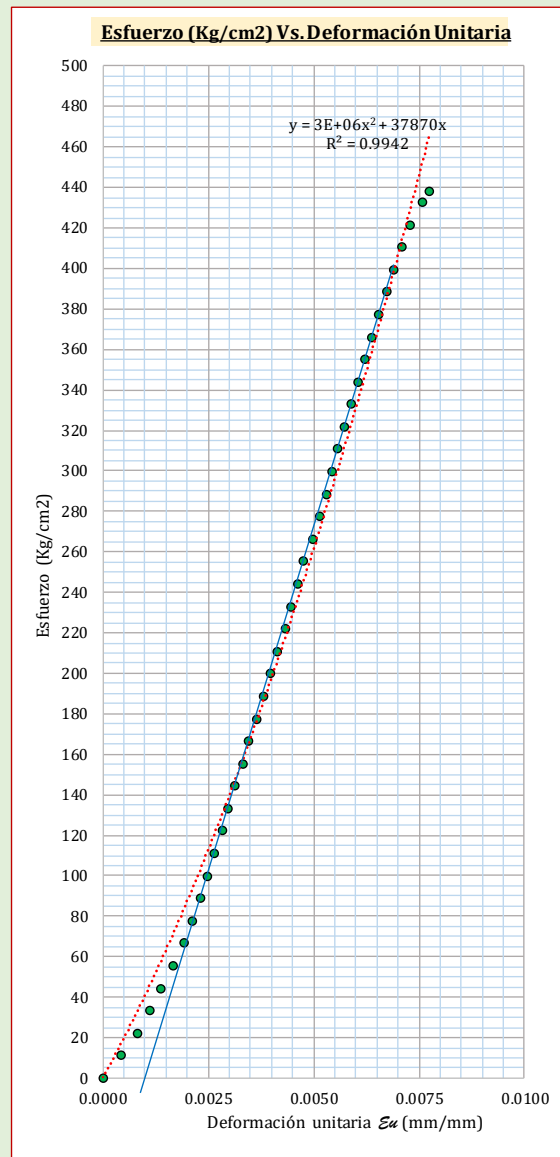
$$E_{C^{\circ}} = 332321.8647 \text{ Kg/cm2}$$

ENSAYO DE ESPECIMENES DE CONCRETO DE F'c=300Kg/cm2			
Tipo de Concreto:	Concreto Impermeable	Tipo de Ensayo:	Compresión
F'c de diseño:	300 Kg/cm2 + Ad. (1.92%)	Tipo de Fractura	Tipo-5
Características de Probeta:			
Altura promedio	30.20 cm	Peso del espécimen de C°:	12.990 Kg
Diámetro prom.	15.15 cm	Peso unitario C° endurecido:	2386.09 Kg/m3
Área prom.	180.27 cm2	Fecha de elaboración:	10/08/2017
Edad	28 d	Fecha de ensayo:	07/09/2017



E-2

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)
0	0	0.00	0.0000
2	0.13	11.09	0.0004
4	0.25	22.19	0.0008
6	0.34	33.28	0.0011
8	0.42	44.38	0.0014
10	0.5	55.47	0.0017
12	0.58	66.57	0.0019
14	0.64	77.66	0.0021
16	0.7	88.76	0.0023
18	0.75	99.85	0.0025
20	0.8	110.95	0.0026
22	0.86	122.04	0.0028
24	0.9	133.14	0.0030
26	0.95	144.23	0.0031
28	1	155.33	0.0033
30	1.04	166.42	0.0034
32	1.1	177.51	0.0036
34	1.15	188.61	0.0038
36	1.2	199.70	0.0040
38	1.25	210.80	0.0041
40	1.31	221.89	0.0043
42	1.35	232.99	0.0045
44	1.4	244.08	0.0046
46	1.44	255.18	0.0048
48	1.5	266.27	0.0050
50	1.55	277.37	0.0051
52	1.6	288.46	0.0053
54	1.64	299.56	0.0054
56	1.68	310.65	0.0056
58	1.73	321.75	0.0057
60	1.78	332.84	0.0059
62	1.83	343.94	0.0061
64	1.88	355.03	0.0062
66	1.93	366.12	0.0064
68	1.98	377.22	0.0066
70	2.03	388.31	0.0067
72	2.08	399.41	0.0069
74	2.14	410.50	0.0071
76	2.2	421.60	0.0073
78	2.29	432.69	0.0076
79	2.34	438.24	0.0077



MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

1.- Método Gráfico (ASTM C-469)

$$E_c = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon_u}$$

σ (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)	E_c (Kg/cm2)
177.51	0.0036	69822
0	0.0011	

2.- Método Analítico (ACI-318-02)

$$E_c = w_c^{1.5} * 33\sqrt{f'_c}$$

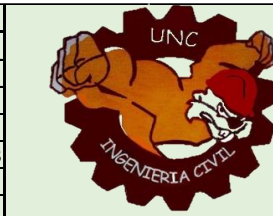
	Kg/cm2	Kg/m3	Lb/pulg2	Lb/pie3
Wc =	-	2386.09	-	148.9445
f'c =	438.24	-	6232.9673	-
E_c =	-	-	4735852.711	-
E_c =	332977.80			

Los módulos de elasticidad de un concreto (E_c) oscilan entre 250 000 a 350 000 Kg/cm2, de ahí que el E_c elegido será:



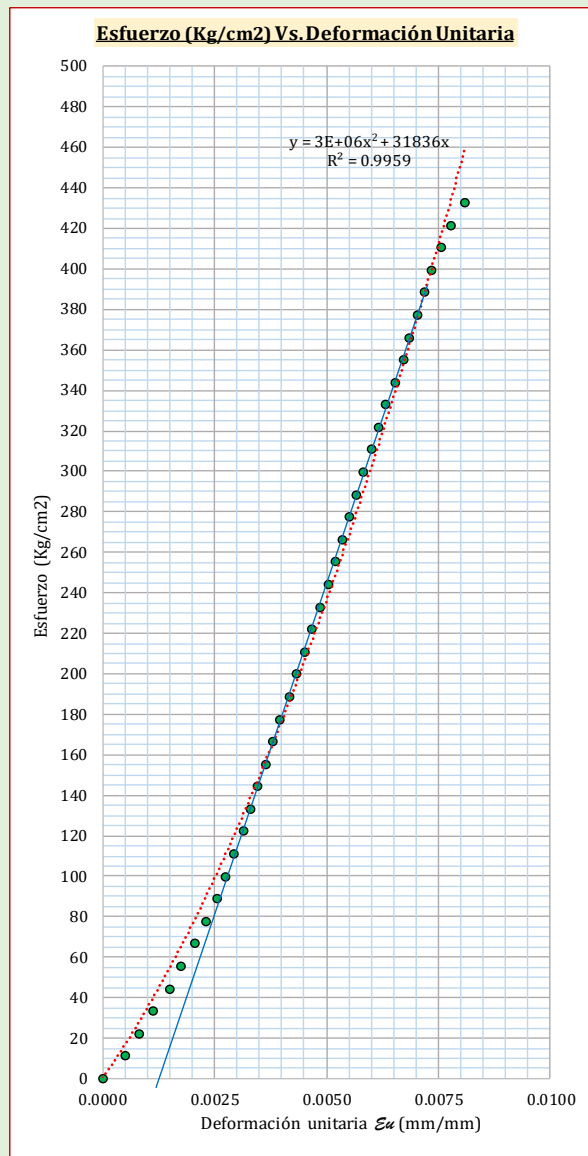
E_c = 332977.804 Kg/cm2

ENSAYO DE ESPECIMENES DE CONCRETO DE F'c=300Kg/cm2			
Tipo de Concreto: Concreto Impermeable		Tipo de Ensayo: Compresión	
F'c de diseño: 300 Kg/cm2 + Ad. (1.92%)		Tipo de Fractura Tipo-5	
Características de Probeta:			
Altura promedio	30.20 cm	Peso del espécimen de C°:	12.995 Kg
Diámetro prom.	15.15 cm	Peso unitario C° endurecido:	2387.01 Kg/m3
Área prom.	180.27 cm2	Fecha de elaboración:	10/08/2017
Edad	28 d	Fecha de ensayo:	07/09/2017



E-3

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)
0	0	0.00	0.0000
2	0.15	11.09	0.0005
4	0.25	22.19	0.0008
6	0.34	33.28	0.0011
8	0.45	44.38	0.0015
10	0.53	55.47	0.0018
12	0.62	66.57	0.0021
14	0.7	77.66	0.0023
16	0.77	88.76	0.0025
18	0.83	99.85	0.0027
20	0.89	110.95	0.0029
22	0.95	122.04	0.0031
24	1	133.14	0.0033
26	1.05	144.23	0.0035
28	1.1	155.33	0.0036
30	1.15	166.42	0.0038
32	1.2	177.51	0.0040
34	1.26	188.61	0.0042
36	1.31	199.70	0.0043
38	1.36	210.80	0.0045
40	1.41	221.89	0.0047
42	1.47	232.99	0.0049
44	1.52	244.08	0.0050
46	1.57	255.18	0.0052
48	1.62	266.27	0.0054
50	1.66	277.37	0.0055
52	1.71	288.46	0.0057
54	1.76	299.56	0.0058
56	1.81	310.65	0.0060
58	1.86	321.75	0.0062
60	1.91	332.84	0.0063
62	1.97	343.94	0.0065
64	2.03	355.03	0.0067
66	2.07	366.12	0.0069
68	2.12	377.22	0.0070
70	2.17	388.31	0.0072
72	2.22	399.41	0.0074
74	2.28	410.50	0.0075
76	2.35	421.60	0.0078
78	2.44	432.69	0.0081



MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

1.- Método Gráfico (ASTM C-469)

$$E_c = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon_u}$$

σ (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)	Ec° (Kg/cm2)
177.51	0.0040	68978
0	0.0014	

2.- Método Analítico (ACI-318-02)

$$E_c = w_c^{1.5} * 33\sqrt{f'_c}$$

	Kg/cm2	Kg/m3	Lb/pulg2	Lb/pie3
Wc =	-	2387.01	-	149.0019
f'c =	432.69	-	6154.0689	-
Ec° =	-	-	4708500.73	-
Ec° =	331054.6862			

Los módulos de elasticidad de un concreto (Ec°) oscilan entre 250 000 a 350 000 Kg/cm2, de ahí que el Ec° elegido será:



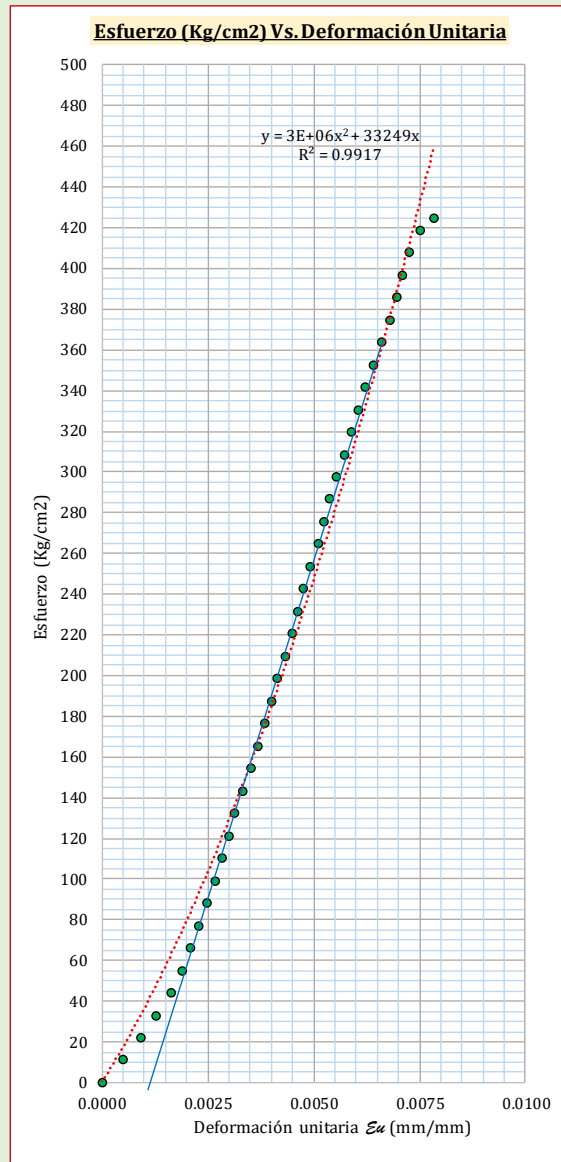
Ec° = 331054.6862 Kg/cm2

ENSAYO DE ESPECIMENES DE CONCRETO DE F'c=300Kg/cm2			
Tipo de Concreto:	Concreto Impermeable	Tipo de Ensayo:	Compresión
F'c de diseño:	300 Kg/cm2 + Ad. (1.92%)	Tipo de Fractura	Tipo-5
Características de Probeta:			
Altura promedio	30.20 cm	Peso del espécimen de C°:	13.075 Kg
Diámetro prom.	15.20 cm	Peso unitario C° endurecido:	2385.93 Kg/m3
Área prom.	181.46 cm2	Fecha de elaboración:	10/08/2017
Edad	28 d	Fecha de ensayo:	07/09/2017



E-4

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)
0	0	0.00	0.0000
2	0.15	11.02	0.0005
4	0.28	22.04	0.0009
6	0.39	33.07	0.0013
8	0.49	44.09	0.0016
10	0.57	55.11	0.0019
12	0.63	66.13	0.0021
14	0.69	77.15	0.0023
16	0.75	88.17	0.0025
18	0.81	99.20	0.0027
20	0.86	110.22	0.0028
22	0.91	121.24	0.0030
24	0.95	132.26	0.0031
26	1	143.28	0.0033
28	1.06	154.31	0.0035
30	1.11	165.33	0.0037
32	1.16	176.35	0.0038
34	1.21	187.37	0.0040
36	1.25	198.39	0.0041
38	1.31	209.41	0.0043
40	1.36	220.44	0.0045
42	1.4	231.46	0.0046
44	1.44	242.48	0.0048
46	1.49	253.50	0.0049
48	1.54	264.52	0.0051
50	1.58	275.55	0.0052
52	1.62	286.57	0.0054
54	1.67	297.59	0.0055
56	1.73	308.61	0.0057
58	1.78	319.63	0.0059
60	1.83	330.65	0.0061
62	1.88	341.68	0.0062
64	1.94	352.70	0.0064
66	2	363.72	0.0066
68	2.05	374.74	0.0068
70	2.1	385.76	0.0070
72	2.14	396.79	0.0071
74	2.19	407.81	0.0073
76	2.27	418.83	0.0075
77	2.37	424.34	0.0078



MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

1.- Método Gráfico (ASTM C-469)

$$E_{c^{\circ}} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon_u}$$

σ (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)	Ec° (Kg/cm2)
165.33	0.0037	69597
0	0.0013	

2.- Método Analítico (ACI-318-02)

$$E_{c^{\circ}} = w_c^{1.5} * 33\sqrt{f'_c}$$

	Kg/cm2	Kg/m3	Lb/pulg2	Lb/pie3
Wc =	-	2385.93	-	148.9345
f'c =	424.34	-	6035.2681	-
Ec° =	-	-	4659668.309	-
Ec° =	327621.2788			

Los módulos de elasticidad de un concreto (Ec°) oscilan entre 250 000 a 350 000 Kg/cm2, de ahí que el Ec° elegido será:



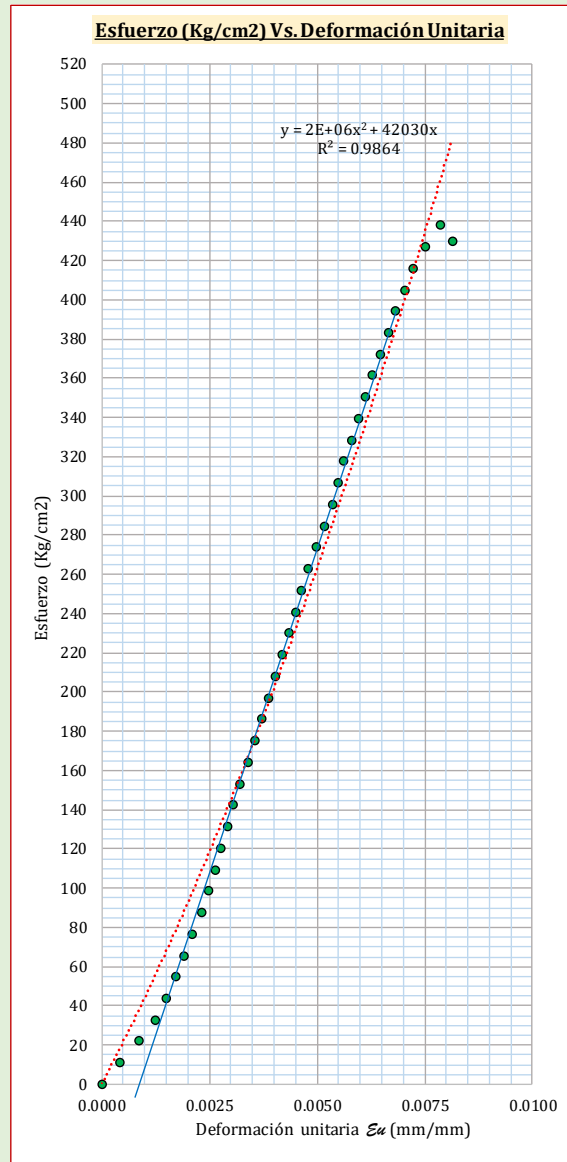
Ec° = 327621.2788 Kg/cm2

ENSAYO DE ESPECIMENES DE CONCRETO DE F'c=300Kg/cm2			
Tipo de Concreto:	Concreto Impermeable	Tipo de Ensayo:	Compresión
F'c de diseño:	300 Kg/cm2 + Ad. (1.92%)	Tipo de Fractura	Tipo-5
Características de Probeta:			
Altura promedio	30.24 cm	Peso del espécimen de C°:	13.035 Kg
Diámetro prom.	15.25 cm	Peso unitario C° endurecido:	2359.93 Kg/m3
Área prom.	182.65 cm2	Fecha de elaboración:	10/08/2017
Edad	28 d	Fecha de ensayo:	07/09/2017



E-5

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)
0	0	0.00	0.0000
2	0.13	10.95	0.0004
4	0.26	21.90	0.0009
6	0.38	32.85	0.0013
8	0.45	43.80	0.0015
10	0.52	54.75	0.0017
12	0.58	65.70	0.0019
14	0.64	76.65	0.0021
16	0.7	87.60	0.0023
18	0.75	98.55	0.0025
20	0.8	109.50	0.0026
22	0.84	120.45	0.0028
24	0.88	131.40	0.0029
26	0.92	142.35	0.0030
28	0.97	153.30	0.0032
30	1.03	164.24	0.0034
32	1.08	175.19	0.0036
34	1.12	186.14	0.0037
36	1.17	197.09	0.0039
38	1.22	208.04	0.0040
40	1.27	218.99	0.0042
42	1.32	229.94	0.0044
44	1.36	240.89	0.0045
46	1.4	251.84	0.0046
48	1.45	262.79	0.0048
50	1.51	273.74	0.0050
52	1.56	284.69	0.0052
54	1.62	295.64	0.0054
56	1.66	306.59	0.0055
58	1.7	317.54	0.0056
60	1.76	328.49	0.0058
62	1.8	339.44	0.0060
64	1.85	350.39	0.0061
66	1.9	361.34	0.0063
68	1.96	372.29	0.0065
70	2.01	383.24	0.0066
72	2.06	394.19	0.0068
74	2.13	405.14	0.0070
76	2.19	416.09	0.0072
78	2.27	427.04	0.0075
80	2.38	437.99	0.0079
78.5	2.46	429.77	0.0081



MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

1.- Método Gráfico (ASTM C-469)

$$E_{C^{\circ}} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon_u}$$

σ (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)	Ec° (Kg/cm2)
175.19	0.0036	68131
0	0.001	

2.- Método Analítico (ACI-318-02)

$$E_{C^{\circ}} = w_c^{1.5} * 33\sqrt{f'_c}$$

	Kg/cm2	Kg/m3	Lb/pulg2	Lb/pie3
Wc =	-	2359.93	-	147.3117
f'c =	437.99	-	6229.3584	-
Ec° =	-	-	4656840.38	-
Ec° =	327422.4473			

Los módulos de elasticidad de un concreto (Ec°) oscilan entre 250 000 a 350 000 Kg/cm2, de ahí que el Ec° elegido será:



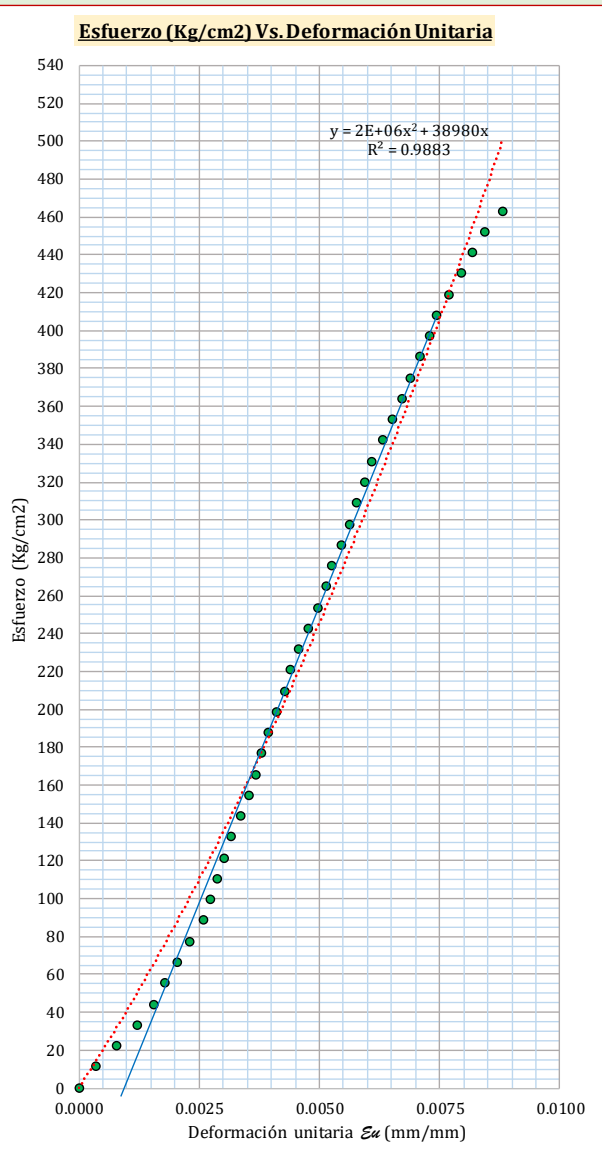
Ec° = 327422.4473 Kg/cm2

ENSAYO DE ESPECIMENES DE CONCRETO DE F'c=300Kg/cm2			
Tipo de Concreto:	Concreto Impermeable	Tipo de Ensayo:	Compresión
F'c de diseño:	300 Kg/cm2 + Ad. (2.88%)	Tipo de Fractura	Tipo-2
Características de Probeta:			
Altura promedio	30.20 cm	Peso del espécimen de C°:	13.100 Kg
Diámetro prom.	15.20 cm	Peso unitario C° endurecido:	2390.49 Kg/m3
Área prom.	181.46 cm2	Fecha de elaboración:	09/08/2017
Edad	28 d	Fecha de ensayo:	06/09/2017



E-1

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)
0	0	0.00	0.0000
2	0.11	11.02	0.0004
4	0.24	22.04	0.0008
6	0.37	33.07	0.0012
8	0.47	44.09	0.0016
10	0.54	55.11	0.0018
12	0.62	66.13	0.0021
14	0.7	77.15	0.0023
16	0.78	88.17	0.0026
18	0.83	99.20	0.0027
20	0.87	110.22	0.0029
22	0.91	121.24	0.0030
24	0.96	132.26	0.0032
26	1.02	143.28	0.0034
28	1.07	154.31	0.0035
30	1.11	165.33	0.0037
32	1.15	176.35	0.0038
34	1.19	187.37	0.0039
36	1.24	198.39	0.0041
38	1.29	209.41	0.0043
40	1.33	220.44	0.0044
42	1.38	231.46	0.0046
44	1.44	242.48	0.0048
46	1.5	253.50	0.0050
48	1.55	264.52	0.0051
50	1.59	275.55	0.0053
52	1.65	286.57	0.0055
54	1.7	297.59	0.0056
56	1.74	308.61	0.0058
58	1.8	319.63	0.0060
60	1.84	330.65	0.0061
62	1.91	341.68	0.0063
64	1.97	352.70	0.0065
66	2.03	363.72	0.0067
68	2.08	374.74	0.0069
70	2.14	385.76	0.0071
72	2.2	396.79	0.0073
74	2.25	407.81	0.0075
76	2.32	418.83	0.0077
78	2.4	429.85	0.0079
80	2.47	440.87	0.0082
82	2.55	451.89	0.0084
84	2.66	462.92	0.0088



MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

1.- Método Gráfico (ASTM C-469)

$$E_{c^{\circ}} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon_u}$$

σ (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)	$E_{c^{\circ}}$ (Kg/cm2)
187.37	0.0039	63723
0	0.001	

2.- Método Analítico (ACI-318-02)

$$E_{c^{\circ}} = w_c^{1.5} * 33\sqrt{f'_c}$$

	Kg/cm2	Kg/m3	Lb/pulg2	Lb/pie3
Wc =	-	2390.49	-	149.2192
f'c =	462.92	-	6583.9289	-
$E_{c^{\circ}}$ =	-	-	4880829.994	-
$E_{c^{\circ}}$ =	343171.1569			

Los módulos de elasticidad de un concreto ($E_{c^{\circ}}$) oscilan entre 250 000 a 350 000 Kg/cm2, de ahí que el $E_{c^{\circ}}$ elegido será:



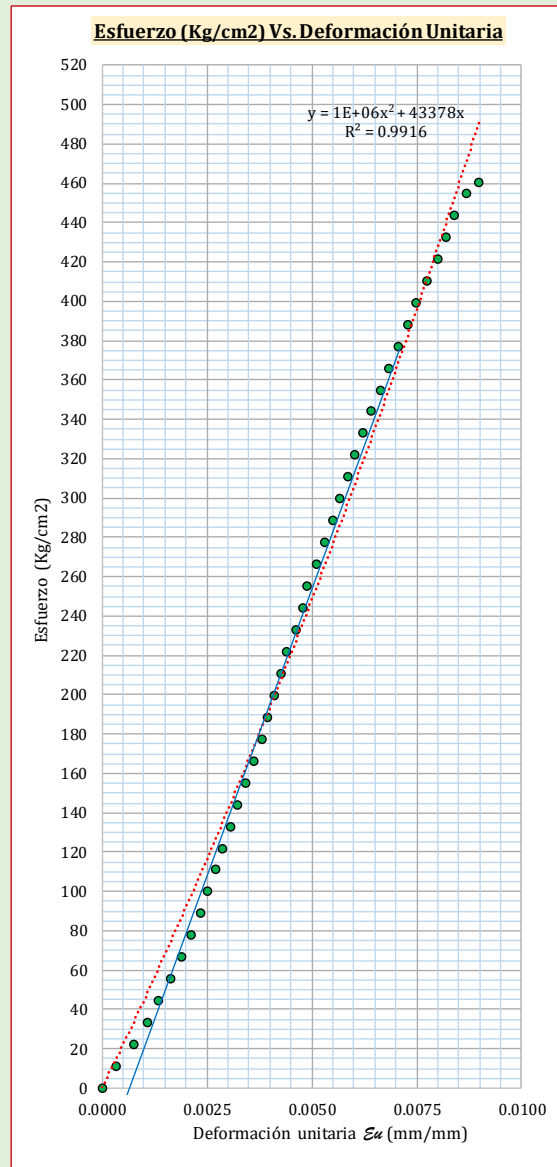
$$E_{c^{\circ}} = 343171.1569 \text{ Kg/cm2}$$

ENSAYO DE ESPECIMENES DE CONCRETO DE F'c=300Kg/cm2			
Tipo de Concreto:	Concreto Impermeable	Tipo de Ensayo:	Compresión
F'c de diseño:	300 Kg/cm2 + Ad. (2.88%)	Tipo de Fractura	Tipo-3
Características de Probeta:			
Altura promedio	30.15 cm	Peso del espécimen de C°:	13.095 Kg
Diámetro prom.	15.15 cm	Peso unitario C° endurecido:	2409.37 Kg/m3
Área prom.	180.27 cm2	Fecha de elaboración:	09/08/2017
Edad	28 d	Fecha de ensayo:	06/09/2017



E-2

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)
0	0	0.00	0.0000
2	0.1	11.09	0.0003
4	0.23	22.19	0.0008
6	0.33	33.28	0.0011
8	0.41	44.38	0.0014
10	0.49	55.47	0.0016
12	0.57	66.57	0.0019
14	0.64	77.66	0.0021
16	0.71	88.76	0.0024
18	0.76	99.85	0.0025
20	0.82	110.95	0.0027
22	0.87	122.04	0.0029
24	0.92	133.14	0.0031
26	0.97	144.23	0.0032
28	1.03	155.33	0.0034
30	1.09	166.42	0.0036
32	1.15	177.51	0.0038
34	1.19	188.61	0.0039
36	1.24	199.70	0.0041
38	1.29	210.80	0.0043
40	1.33	221.89	0.0044
42	1.39	232.99	0.0046
44	1.44	244.08	0.0048
46	1.47	255.18	0.0049
48	1.54	266.27	0.0051
50	1.6	277.37	0.0053
52	1.66	288.46	0.0055
54	1.71	299.56	0.0057
56	1.77	310.65	0.0059
58	1.82	321.75	0.0060
60	1.87	332.84	0.0062
62	1.93	343.94	0.0064
64	2	355.03	0.0066
66	2.06	366.12	0.0068
68	2.13	377.22	0.0071
70	2.2	388.31	0.0073
72	2.26	399.41	0.0075
74	2.33	410.50	0.0077
76	2.41	421.60	0.0080
78	2.47	432.69	0.0082
80	2.53	443.79	0.0084
82	2.62	454.88	0.0087
83	2.71	460.43	0.0090



MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

1.- Método Gráfico (ASTM C-469)

$$E_{C^{\circ}} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon_u}$$

σ (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)	$E_{C^{\circ}}$ (Kg/cm2)
188.61	0.0039	59934
0	0.0008	

2.- Método Analítico (ACI-318-02)

$$E_{C^{\circ}} = w_c^{1.5} * 33\sqrt{f'_c}$$

	Kg/cm2	Kg/m3	Lb/pulg2	Lb/pie3
Wc =	-	2409.37	-	150.3975
f'c =	460.43	-	6548.5605	-
Ec° =	-	-	4925469.735	-
Ec° =	346309.777			

Los módulos de elasticidad de un concreto ($E_{C^{\circ}}$) oscilan entre 250 000 a 350 000 Kg/cm2, de ahí que el $E_{C^{\circ}}$ elegido será:



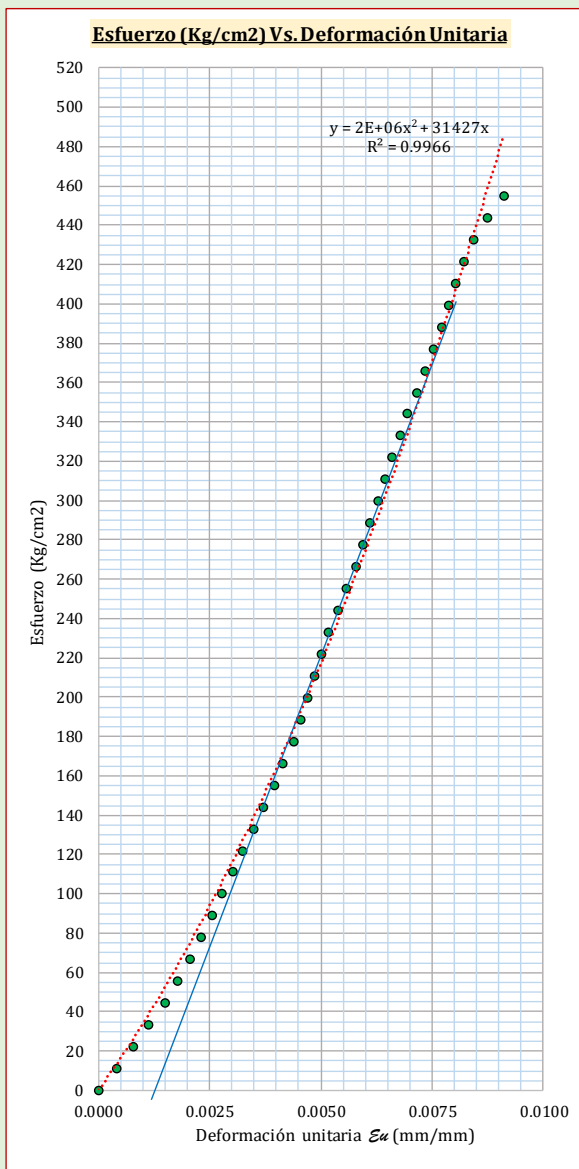
$$E_{C^{\circ}} = 346309.777 \text{ Kg/cm}^2$$

ENSAYO DE ESPECIMENES DE CONCRETO DE F'c=300Kg/cm2			
Tipo de Concreto:	Concreto Impermeable	Tipo de Ensayo:	Compresión
F'c de diseño:	300 Kg/cm2 + Ad. (2.88%)	Tipo de Fractura	Tipo-3
Características de Probeta:			
Altura promedio	30.10 cm	Peso del espécimen de C°:	12.990 Kg
Diámetro prom.	15.15 cm	Peso unitario C° endurecido:	2394.02 Kg/m3
Área prom.	180.27 cm2	Fecha de elaboración:	09/08/2017
Edad	28 d	Fecha de ensayo:	06/09/2017



E-3

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)
0	0	0.00	0.0000
2	0.13	11.09	0.0004
4	0.24	22.19	0.0008
6	0.34	33.28	0.0011
8	0.45	44.38	0.0015
10	0.54	55.47	0.0018
12	0.62	66.57	0.0021
14	0.7	77.66	0.0023
16	0.77	88.76	0.0026
18	0.84	99.85	0.0028
20	0.91	110.95	0.0030
22	0.98	122.04	0.0033
24	1.05	133.14	0.0035
26	1.12	144.23	0.0037
28	1.19	155.33	0.0040
30	1.25	166.42	0.0042
32	1.32	177.51	0.0044
34	1.37	188.61	0.0046
36	1.42	199.70	0.0047
38	1.46	210.80	0.0049
40	1.51	221.89	0.0050
42	1.56	232.99	0.0052
44	1.62	244.08	0.0054
46	1.68	255.18	0.0056
48	1.74	266.27	0.0058
50	1.79	277.37	0.0059
52	1.84	288.46	0.0061
54	1.89	299.56	0.0063
56	1.94	310.65	0.0064
58	1.99	321.75	0.0066
60	2.04	332.84	0.0068
62	2.09	343.94	0.0069
64	2.15	355.03	0.0071
66	2.21	366.12	0.0073
68	2.27	377.22	0.0075
70	2.32	388.31	0.0077
72	2.37	399.41	0.0079
74	2.42	410.50	0.0080
76	2.47	421.60	0.0082
78	2.54	432.69	0.0084
80	2.63	443.79	0.0087
82	2.74	454.88	0.0091



MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

1.- Método Gráfico (ASTM C-469)

$$E_{c^{\circ}} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon_u}$$

σ (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)	Ec° (Kg/cm2)
177.51	0.0044	59461
0	0.0014	

2.- Método Analítico (ACI-318-02)

$$E_{c^{\circ}} = w_c^{1.5} * 33\sqrt{f'_c}$$

	Kg/cm2	Kg/m3	Lb/pulg2	Lb/pie3
Wc =	-	2394.02	-	149.4394
f'c =	454.88	-	6469.6622	-
Ec° =	-	-	4849000.61	-
Ec° =	340933.2328			

Los módulos de elasticidad de un concreto (Ec°) oscilan entre 250 000 a 350 000 Kg/cm2, de ahí que el Ec° elegido será:



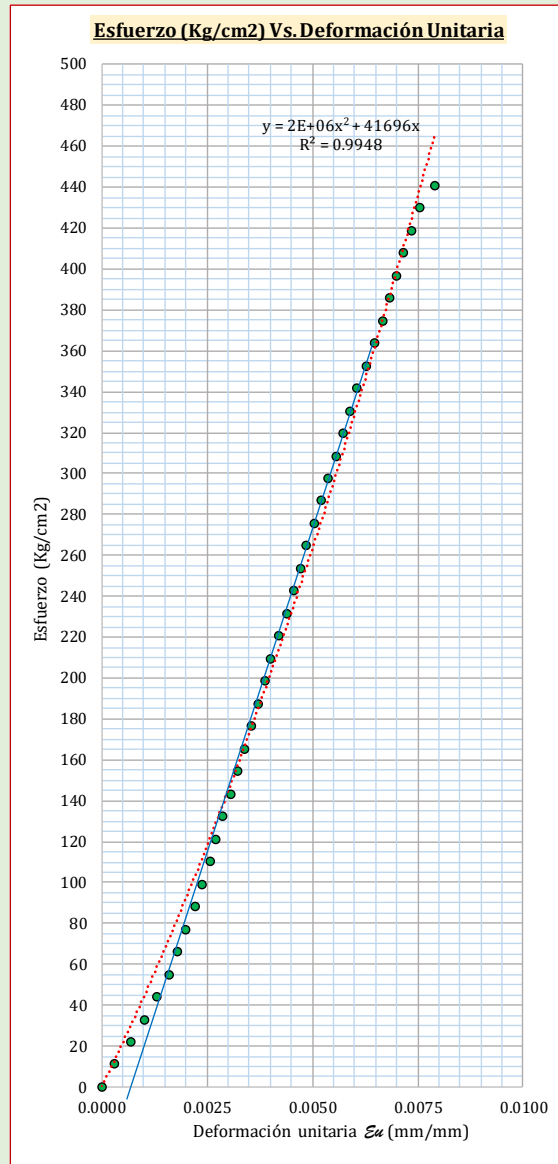
Ec° = 340933.2328 Kg/cm2

ENSAYO DE ESPECIMENES DE CONCRETO DE F'c=300Kg/cm2			
Tipo de Concreto:	Concreto Impermeable	Tipo de Ensayo: Compresión	
F'c de diseño:	300 Kg/cm2 + Ad. (2.88%)	Tipo de Fractura	Tipo-3
Características de Probeta:			
Altura promedio	30.00 cm	Peso del espécimen de C°:	12.995 Kg
Diámetro prom.	15.20 cm	Peso unitario C° endurecido:	2387.14 Kg/m3
Área prom.	181.46 cm2	Fecha de elaboración:	09/08/2017
Edad	28 d	Fecha de ensayo:	06/09/2017



E-4

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)
0	0	0.00	0.0000
2	0.09	11.02	0.0003
4	0.21	22.04	0.0007
6	0.31	33.07	0.0010
8	0.39	44.09	0.0013
10	0.48	55.11	0.0016
12	0.54	66.13	0.0018
14	0.6	77.15	0.0020
16	0.67	88.17	0.0022
18	0.72	99.20	0.0024
20	0.77	110.22	0.0026
22	0.81	121.24	0.0027
24	0.86	132.26	0.0029
26	0.92	143.28	0.0031
28	0.97	154.31	0.0032
30	1.02	165.33	0.0034
32	1.07	176.35	0.0036
34	1.11	187.37	0.0037
36	1.16	198.39	0.0039
38	1.2	209.41	0.0040
40	1.26	220.44	0.0042
42	1.32	231.46	0.0044
44	1.37	242.48	0.0046
46	1.42	253.50	0.0047
48	1.46	264.52	0.0049
50	1.51	275.55	0.0050
52	1.56	286.57	0.0052
54	1.61	297.59	0.0054
56	1.67	308.61	0.0056
58	1.72	319.63	0.0057
60	1.77	330.65	0.0059
62	1.82	341.68	0.0061
64	1.88	352.70	0.0063
66	1.94	363.72	0.0065
68	2	374.74	0.0067
70	2.05	385.76	0.0068
72	2.1	396.79	0.0070
74	2.15	407.81	0.0072
76	2.21	418.83	0.0074
78	2.26	429.85	0.0075
80	2.37	440.87	0.0079



MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

1.- Método Gráfico (ASTM C-469)

$$E_{C^{\circ}} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon_u}$$

σ (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)	$E_{C^{\circ}}$ (Kg/cm2)
176.35	0.0036	63741
0	0.0008	

2.- Método Analítico (ACI-318-02)

$$E_{C^{\circ}} = w_c^{1.5} * 33\sqrt{f'_c}$$

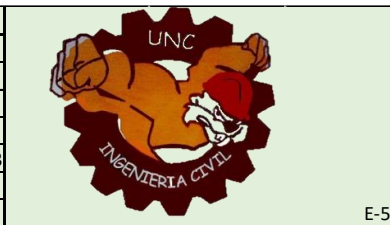
	Kg/cm2	Kg/m3	Lb/pulg2	Lb/pie3
Wc =	-	2387.14	-	149.0100
f'c =	440.87	-	6270.4085	-
$E_{C^{\circ}}$ =	-	-	4753188.59	-
$E_{C^{\circ}}$ =	334196.6898			

Los módulos de elasticidad de un concreto ($E_{C^{\circ}}$) oscilan entre 250 000 a 350 000 Kg/cm2, de ahí que el $E_{C^{\circ}}$ elegido será:



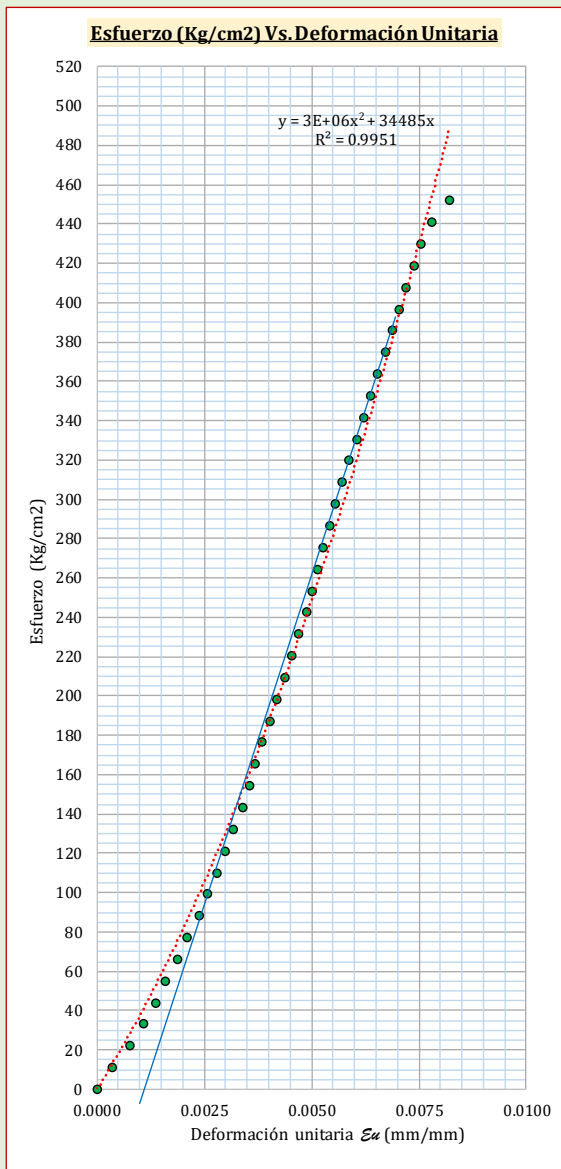
$$E_{C^{\circ}} = 334196.6898 \text{ Kg/cm2}$$

ENSAYO DE ESPECIMENES DE CONCRETO DE F'c=300Kg/cm2			
Tipo de Concreto:	Concreto Impermeable	Tipo de Ensayo:	Compresión
F'c de diseño:	300 Kg/cm2 + Ad. (2.88%)	Tipo de Fractura	Tipo-2
Características de Probeta:			
Altura promedio	30.10 cm	Peso del espécimen de C°:	13.010 Kg
Diámetro prom.	15.20 cm	Peso unitario C° endurecido:	2381.96 Kg/m3
Área prom.	181.46 cm2	Fecha de elaboración:	09/08/2017
Edad	28 d	Fecha de ensayo:	06/09/2017



E-5

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)
0	0	0.00	0.0000
2	0.11	11.02	0.0004
4	0.23	22.04	0.0008
6	0.33	33.07	0.0011
8	0.41	44.09	0.0014
10	0.48	55.11	0.0016
12	0.57	66.13	0.0019
14	0.63	77.15	0.0021
16	0.72	88.17	0.0024
18	0.78	99.20	0.0026
20	0.84	110.22	0.0028
22	0.9	121.24	0.0030
24	0.96	132.26	0.0032
26	1.02	143.28	0.0034
28	1.07	154.31	0.0036
30	1.11	165.33	0.0037
32	1.16	176.35	0.0039
34	1.21	187.37	0.0040
36	1.26	198.39	0.0042
38	1.32	209.41	0.0044
40	1.37	220.44	0.0046
42	1.41	231.46	0.0047
44	1.47	242.48	0.0049
46	1.51	253.50	0.0050
48	1.55	264.52	0.0051
50	1.59	275.55	0.0053
52	1.63	286.57	0.0054
54	1.67	297.59	0.0055
56	1.72	308.61	0.0057
58	1.77	319.63	0.0059
60	1.82	330.65	0.0060
62	1.87	341.68	0.0062
64	1.92	352.70	0.0064
66	1.97	363.72	0.0065
68	2.02	374.74	0.0067
70	2.07	385.76	0.0069
72	2.12	396.79	0.0070
74	2.17	407.81	0.0072
76	2.22	418.83	0.0074
78	2.27	429.85	0.0075
80	2.35	440.87	0.0078
82	2.47	451.89	0.0082



MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

1.- Método Gráfico (ASTM C-469)

$$E_c^\circ = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon_u}$$

σ (Kg/cm2)	Eu (mm/mm)	E_c° (Kg/cm2)
176.35	0.0039	66451
0	0.0012	

2.- Método Analítico (ACI-318-02)

$$E_c^\circ = w_c^{1.5} * 33\sqrt{f'_c}$$

	Kg/cm2	Kg/m3	Lb/pulg2	Lb/pie3
Wc =	-	2381.96	-	148.6864
f'c =	451.89	-	6427.1687	-
E_c° =	-	-	4796568.34	-
E_c° =	337246.7199			

Los módulos de elasticidad de un concreto (E_c°) oscilan entre 250 000 a 350 000 Kg/cm2, de ahí que el E_c° elegido será:



E_c° = 337246.7199 Kg/cm2

ANEXO N°08: FICHAS TÉCNICAS DE LOS MATERIALES

8.1. Ficha técnica del cemento



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



G-CC-F-04
Versión 03

Cemento Portland Tipo I

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150
Pacasmayo, 15 de Agosto del 2017

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	2.3	Máximo 6.0
SO ₃	%	2.8	Máximo 3.0
Pérdida por Ignición	%	3.1	Máximo 3.5
Residuo Insoluble	%	0.66	Máximo 1.5

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	8	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.09	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm ² /g	3650	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.08	NO ESPECIFICA

Resistencia Compresión :

Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm ²)	26.5 (271)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm ²)	34.3 (350)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28días (*)	MPa (Kg/cm ²)	39.8 (406)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)

Tiempo de Fraguado Vicat :

Fraguado Inicial	min	138	Mínimo 45
Fraguado Final	min	261	Máximo 375

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-07-2017 al 31-07-2017.
La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Junio 2017.
(*) Requisito opcional.

Ing. Gabriel G. Mansilla Fiestas
Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por :

Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.

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

8.2. Ficha técnica del aditivo

BUILDING TRUST



HOJA TÉCNICA

Sika® Cem Impermeable



Impermeabilizante Integral para Mezclas de Concreto

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	<p>Sika® Cem Impermeable es un aditivo impermeabilizante líquido especialmente indicado para concreto y mortero. Es libre de cloruros y actúa como bloqueador de poros.</p> <p>USOS Sika® Cem Impermeable está particularmente indicado para:</p> <ul style="list-style-type: none">• Preparar concreto impermeable en: cimentaciones, sótanos, tanques de agua, cisternas, piscinas, muros, jardineras, etc. <p>CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS Sika® Cem Impermeable tiene las siguientes ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Gran acción impermeabilizante.▪ Disminuye la porosidad del concreto y mortero.▪ Concretos y morteros más resistentes y durables.▪ Fácil aplicación.
NORMAS	ESTÁNDARES Sika® Cem Impermeable cumple con la norma EN 12390 Anexo 8.
DATOS BÁSICOS	
FORMA	COLORES Blanco
	PRESENTACIÓN Envase PET x 4 L Balde x 20 L
ALMACENAMIENTO	CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL Un año en sitio fresco y bajo techo en su envase original y bien cerrado.
DATOS TÉCNICOS	DENSIDAD 1,02 +/- 0,02 Kg/L USGBC VALORACIÓN LEED Sika® Cem Impermeable cumple con los requerimientos LEED. Conforme con el LEED V3 IEQc 4.1 Low-emitting materials – adhesives and sealants.

INFORMACIÓN DEL SISTEMA

DETALLES DE APLICACIÓN	CONSUMO / DOSIS Sika® Cem Impermeable se entrega listo para usar. La dosis puede variar entre 400 mL y 1,200 mL por bolsa de cemento de 42.5 Kg; la dosis habitual es 1 Litro por bolsa de cemento de 42.5 Kg.
MÉTODO DE APLICACIÓN	MODO DE EMPLEO Sika® Cem Impermeable viene listo para usarse, agregándose al agua de mezcla. PRECAUCIONES Limpie todas las herramientas y equipos de aplicación con agua inmediatamente después de su uso. Los datos técnicos indicados en esta hoja técnica están basados en ensayos de laboratorio. Los datos reales pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.
BASES	Todos los datos técnicos recogidos en esta hoja técnica se basan en ensayos de laboratorio. Las medidas de los datos actuales pueden variar por circunstancias fuera de nuestro control.
RESTRICCIÓN ES LOCALES	Nótese que el desempeño del producto puede variar dependiendo de cada país. Por favor, consulte la hoja técnica local correspondiente para la exacta descripción de los campos de aplicación del producto.
INFORMACIÓN DE SEGURIDAD E HIGIENE	Para información y asesoría referente al transporte, manejo, almacenamiento y disposición de productos químicos, los usuarios deben consultar la Hoja de Seguridad del Material actual, la cual contiene información médica, ecológica, toxicológica y otras relacionadas con la seguridad.
NOTAS LEGALES	<p>La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados.</p> <p>Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web www.sika.com.pe.</p>

**ANEXO N°09: CERTIFICACIÓN DE USO DEL LABORATORIO DE
ENSAYO DE MATERIALES**

**Universidad Nacional de Cajamarca**
FACULTAD DE INGENIERÍA
Departamento Académico de Ciencias de la Ingeniería


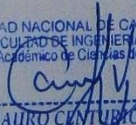
EL DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA, DEJA :

CONSTANCIA:

Que joven WILDER TERÁN TEJADA, Bachiller de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, **ha realizado sus ensayos en el Laboratorio de Ensayo de Materiales** de la Facultad de Ingeniería de la UNC, para la Tesis Titulada “EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO DE $f'c=300\text{kg/cm}^2$ EMPLEANDO CEMENTO PORTLAND TIPO I Y EL ADITIVO SIKA CEM IMPERMEABLE, EN LA PROVINCIA DE CAJAMARCA”. Dichos ensayos se realizaron del 20 de junio del 2017 al 31 de octubre de 2017.

Se expide la presente, para los fines que estime conveniente.

Cajamarca, 18 de mayo de 2018.


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Departamento Académico de Ciencias de la Ingeniería

M.Cs. Ing. MAURO CENTURIÓN VARGAS
DIRECTOR

CERTIFICADO

El que suscribe Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Pavimentos de la Empresa Hermanos Urteaga Contratistas SRL;

CERTIFICA:

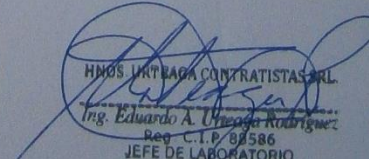
Que el **Sr. WILDER TERÁN TEJADA**, identificado con DNI N° 46695031, ha realizado los siguientes ensayos:

- Dos (02) Ensayos Estándar de Laboratorio Contenido de aire de mezcla de concreto fresco, por el método de presión – ASTM C 231,
- Seis (06) Elaboración de especímenes de concreto en laboratorio – ASTM C 192,

Desde el 23/04/2018 hasta el 25/04/2018, estos ensayos han sido realizados para la Tesis "Evaluación de las propiedades físico mecánicas del concreto $f_c = 300$ kg/cm², empleando Cemento Portland Tipo I y el aditivo Sika Cem Impermeable, en la provincia de Cajamarca".

Se expide el presente certificado a solicitud del interesado, para los fines que considere pertinentes.

Cajamarca, 27 de abril de 2018.


HNOS. URTEAGA CONTRATISTAS SRL
Ing. Eduardo A. Urteaga Rodríguez
Reg. C.I.P. 02586
JEFE DE LABORATORIO

ANEXO N°10: PANEL FOTOGRÁFICO



Imagen N° 5: Cantera Tartar Chico-Baños del Inca



Imagen N° 6: Secado y análisis granulométrico de los agregados



Imagen N° 7: Peso específico y absorción del agregado fino



Imagen N° 8: Peso específico y absorción del agregado grueso.



Imagen N° 9: Determinación del peso unitario de los agregados.



Imagen N° 10: Finos menores que el tamiz N° 200



Imagen N° 11: Abrasión del agregado grueso



Imagen N° 12: Elaboración de la mezcla de concreto



Imagen N° 13: Conformación de los especímenes cilíndricos y prismáticos.



Imagen N° 14: Ensayo a la compresión de los especímenes cilíndricos.



Imagen N° 15: Ensayo a la Flexión de los especímenes prismáticos.



Imagen N° 16: Ensayo de permeabilidad



Imagen N° 17: Ing. Héctor Pérez Loayza, Asesor de la tesis



Imagen N° 18: Finalización del ensayo de permeabilidad.