

UNIVERSIDAD NACIONAL “HERMILIO VALDIZÁN”- HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE AÍRE EN CONCRETOS POROSOS CON AGREGADOS DE LA CANTERA YANAG - HUÁNUCO, 2016

TESIS

PRESENTADO POR:

Bach. Ing. Civil BEQUER, SALIS VALVERDE.

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

ASESOR:

M.Sc. ERASMO ALEJANDRO, FERNÁNDEZ SIXTO.

HUÁNUCO - PERÚ

2016



AGRADECIMIENTO.

A Dios, por su infinita bondad y amor, que me permitió culminar con éxito esta hermosa etapa de mi vida.

A mis queridos padres Marcelino Salis Alejandro y Ofelia Valverde Aguirre, por su confianza, esfuerzo y apoyo incansable para que pudiera desarrollar mis estudios.

Al amor de mi vida Phibita, por su apoyo, alegrías y motivos para seguir adelante. Por su incondicional apoyo en las buenas y en las malas, porque gracias a ella he logrado este importante logro.

A mi hijo Sebastián, mi principal motivación.

A mis queridos hermanos Priscila, Jemima y Elvis; a mis tíos Ricardo, Juvenal, Mauro, Moisés y Rut; a mis primos Héctor y Emil por sus consejos y apoyo, quienes me motivaron a seguir adelante y a no desfallecer.

A mi Asesor de Tesis Ing. Erasmo Fernández Sixto, por el apoyo incesante en la elaboración y concepción de esta investigación.

A todos mis compañeros y amigos que me ayudaron a levantarme en los momentos difíciles, por compartir sus conocimientos y experiencias para poder concluir satisfactoriamente.

A todos los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura por sus enseñanzas y conocimientos transmitidos, quienes tuvieron la dedicación y paciencia en mi formación profesional.

Finalmente agradezco a nuestra institución, Universidad Nacional Hermilio Valdizán, y a la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Civil, por habernos dado la oportunidad de escalar un peldaño más.

A todos muchísimas gracias.



RESUMEN

En esta investigación, se estudia y analiza la influencia del contenido de aire en concreto poroso con agregados de la cantera Yanag del río Huallaga en la ciudad de Huánuco, con la finalidad de contribuir en su mayor conocimiento. Los datos generados fueron analizados mediante la teoría de las muestras pequeñas con la distribución “t” Student donde es analizada estadísticamente para la prueba de hipótesis.

Se utilizó concreto poroso con contenido de aire de 15%, 16%, 17%, 18%, 19% y 20%, relación agua - cemento (a/c) en 0.38; con el fin de analizar el efecto de estas variables sobre la resistencia a la compresión y el coeficiente de permeabilidad. Estos valores fueron escogidos para obtener un rango de mezclas, desde muy secas con alta permeabilidad pero baja resistencia, hasta mezclas más fluidas con baja permeabilidad y alta resistencia.

La investigación fue realizada para un concreto poroso con coeficiente de permeabilidad de 3.5 mm/s y resistencia a la compresión de 210 kg/cm². Para lograr ello se realizó ensayos en estado fresco y endurecido. Para el ensayo de concreto poroso en estado endurecido se elaboró 108 probetas: 72 probetas para el ensayo de resistencia a la compresión y 36 probetas para el ensayo de permeabilidad.

Finalmente, los resultados obtenidos permiten concluir el alto coeficiente de permeabilidad que varía entre 0.49 cm/s y 2.32 cm/s. y la resistencia a la compresión promedio a los 28 días varía entre 261.37 kg/cm² y 148.63 kg/cm² para 15% y 20% de vacíos respectivamente.

Los agregados de la cantera de Yanag, presentan las siguientes propiedades: Tamaño máximo nominal de 1/2", peso específico de 2.60 gr/cm³, peso unitario suelto de 1.27 gr/cm³ y peso unitario compactado de 1.31 gr/cm³, absorción de 0.76%; porcentaje de desgaste de 18.59%.



SUMMARY

In this research, we study and analyze the influence of air content on porous concrete with aggregates of the Yanag quarry of the Huallaga river in the city of Huánuco, in order to contribute to its greater knowledge. The generated data were analyzed by means of the theory of small samples with the "t" Student distribution where it is statistically analyzed for the hypothesis test.

It was used porous concrete with air content of 15%, 16%, 17%, 18%, 19% and 20%, water - cement ratio (a/c) at 0.38; In order to analyze the effect of these variables on the compressive strength and the permeability coefficient. These values were chosen to obtain a range of mixtures, from very dry with high permeability but low resistance, to more fluid mixtures with low permeability and high resistance.

The research was carried out for a porous concrete with a permeability coefficient of 3.5 mm/s and a compressive strength of 210 kg/cm². To achieve this, tests were performed in fresh and hardened condition. For the test of porous concrete in the hardened state, 108 specimens were prepared: 72 specimens for the compression strength test and 36 specimens for the permeability test.

Finally, the results obtained allow to conclude the high coefficient of permeability that varies between 0.49 cm/s and 2.32 cm/s. And the average compressive strength at 28 days ranged from 261.37 kg/cm² to 148.63 kg/cm² for 15% and 20% voids respectively.

Yanag quarry aggregates have the following properties: Nominal maximum size of 1/2", specific gravity of 2.60 g/cm³, loose unit weight of 1.27 g/cm³ and compacted unit weight of 1.31 g/cm³, absorption of 0.76%, wear percentage of 18.59%.



ÍNDICE GENERAL

Resumen	I
Summary	II
Índice General	III
Índice de Cuadros.....	V
Índice de Fotografías.....	VII
Índice de Figuras	VIII
Introducción	IX
CAPÍTULO I. Marco Teórico.....	1
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Formulación del Problema.....	3
1.3. Objetivos:.....	4
1.4. Hipótesis.....	4
1.5. Variables.....	5
1.6. Indicadores.....	5
1.7. Operacionalización de Variables.....	6
1.8. Tamaño de Muestra.....	7
1.9. Revisión de Estudios Realizados.....	9
1.10. Definición de Términos Básico.....	11
CAPÍTULO II. Marco Metodológico.....	14
2.1. Tipo y Nivel de Investigación.....	15
2.2. Diseño de Contrastación de la Hipótesis.....	15
2.3. Técnicas de Recolección de Datos.....	16
2.4. Variables Experimentales.....	16



2.5. Estudio del Agregado.....	17
2.6. Elaboración de Probetas.....	24
2.7. Elaboración y Curado de Probetas de Concreto Poroso.	41
2.8. Refrentado de Cilindros de Concreto Poroso (Capping).....	42
2.9. Ensayos de Concreto Poroso.	43
2.10. Resultados de Ensayos de Concreto Poroso.	48
2.11. Análisis de Resultados.....	55
CAPÍTULO III. Discusión de Resultados.....	69
3.1. Interpretación de Resultados.	70
3.2. Comparación de Resultados con otras Investigaciones.	77
Conclusiones.	79
Recomendaciones.....	81
Líneas Futuras de Investigación.	82
Bibliografía.....	83
Anexos.....	85
Anexo 1 : Estudio de Evaluación Geológica de la Cantera Yanag.	
Anexo 2 : Norma ACI 522R-10.	
Anexo 3 : Manual de Ensayo de la Permeabilidad del Concreto.	
Anexo 4 : Manual de Ensayos de Materiales.	
Anexo 5 : Tabla de Distribución t - Student.	



ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1 Operacionalización de variables.....	6
Cuadro N° 2 Tamaño de muestra.	8
Cuadro N° 3 Fuentes, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.	16
Cuadro N° 4 Coordenadas UTM de la cantera Yanag.	17
Cuadro N° 5 Características de la cantera Yanag.....	19
Cuadro N° 6 Clasificación de los agregados de la cantera Yanag.	19
Cuadro N° 7 Peso específico y absorción del agregado de la cantera Yanag. .	20
Cuadro N° 8 Peso unitario suelto y porcentaje de vacíos.	21
Cuadro N° 9 Peso unitario varillado y porcentaje de vacíos.....	22
Cuadro N° 10 Análisis granulométrico del agregado de la cantera Yanag.....	22
Cuadro N° 11 Abrasión de los ángeles.	23
Cuadro N° 12 Propiedades del agregado de la cantera Yanag.....	24
Cuadro N° 13 Análisis granulométrico graduado del agregado.....	25
Cuadro N° 14 Propiedades del cemento y agua.	26
Cuadro N° 15 Relación entre el contenido de vacíos y el contenido de pasta. .	28
Cuadro N° 16 Resultados del ensayo de peso unitario.....	48
Cuadro N° 17 Resultados del ensayo de contenido de aire en estado fresco...	49
Cuadro N° 18 Resultados de ensayos de resistencia a la compresión 7 días...	50
Cuadro N° 19 Resultados de ensayos de resistencia a la compresión 14 días.	51
Cuadro N° 20 Resultados de ensayos de resistencia a la compresión 28 días.	52
Cuadro N° 21 Resultados de ensayos de permeabilidad.....	53
Cuadro N° 22 Resultados del ensayo de contenido de aire en estado endurecido.	54
Cuadro N° 23 Resultados muestrales del ensayo de resistencia a la compresión 7 días.....	56
Cuadro N° 24 Resultados muestrales del ensayo de resistencia a la compresión 14 días.....	57
Cuadro N° 25 Resultados muestrales del ensayo de resistencia a la compresión 28 días.....	58
Cuadro N° 26 Análisis estadístico de resistencia a la compresión 7 días.	59



Cuadro N° 27 Análisis estadístico de resistencia a la compresión 14 días.	60
Cuadro N° 28 Análisis estadístico de resistencia a la compresión 28 días.	61
Cuadro N° 29 Análisis estadístico del coeficiente de permeabilidad.	62
Cuadro N° 30 Análisis estadístico de contenido de vacíos en estado fresco. ...	63
Cuadro N° 31 Análisis estadístico de contenido de vacíos estado endurecido .	64
Cuadro N° 32 Media muestral del ensayo de resistencia a la compresión.....	65
Cuadro N° 33 Media muestral del ensayo de coeficiente de permeabilidad.	66
Cuadro N° 34 Característica de distribución muestral de resistencia a la compresión.	67
Cuadro N° 35 Característica de distribución muestral de permeabilidad.	68
Cuadro N° 36 Porcentaje de resistencia promedio esperado a distintas edades.	72
Cuadro N° 37 Coeficiente de Permeabilidad.....	73
Cuadro N° 38 Relación entre permeabilidad y resistencia a la compresión.	74
Cuadro N° 39 Relación entre contenido de vacíos.....	75
Cuadro N° 40 Comparación de resistencia a la compresión.....	77
Cuadro N° 41 Comparación de coeficiente de permeabilidad.....	78



ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía N° 1 Agregados de la cantera de Yanag.....	19
Fotografía N° 2 Ensayo de peso unitario y porcentaje de vacíos.....	21
Fotografía N° 3 Ensayo de abrasión de los ángeles.....	24
Fotografía N° 4 Ensayo de granulometría.....	25
Fotografía N° 5 Cemento Andino.....	26
Fotografía N° 6 Elaboración de probetas de concreto poroso.....	41
Fotografía N° 7 Curado de probetas de concreto poroso.....	42
Fotografía N° 8 Capping de probetas de concreto poroso.....	42
Fotografía N° 9 Ensayo de peso unitario y contenido de aire del concreto poroso.	43
Fotografía N° 10 Ensayo de asentamiento del concreto poroso (Slump).....	44
Fotografía N° 11 Ensayo de resistencia a la compresión del concreto poroso..	45
Fotografía N° 12 Ensayo de permeabilidad del concreto poroso.....	45
Fotografía N° 13 Ensayo de contenido de vacíos.....	47



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 Ubicación satelital de la cantera Yanag.	17
Figura N° 2 Accesibilidad a la cantera Yanag.	18
Figura N° 3 Curva granulométrica del agregado de la cantera Yanag.	23
Figura N° 4 Granulometría del agregado de la cantera Yanag.	25
Figura N° 5 Relación entre el contenido de vacíos y el contenido de pasta.	27
Figura N° 6 Datos muestrales atípicos de resistencia a la compresión.	55
Figura N° 7 Datos muestrales de resistencia a la compresión.	55
Figura N° 8 Análisis estadístico de resistencia a la compresión 7 días.	59
Figura N° 9 Análisis estadístico de resistencia a la compresión 14 días.	60
Figura N° 10 Análisis estadístico de resistencia a la compresión 28 días.	61
Figura N° 11 Análisis estadístico del coeficiente de permeabilidad.	62
Figura N° 12 Análisis estadístico de contenido de vacíos en estado fresco.	63
Figura N° 13 Análisis estadístico de contenido de vacíos estado endurecido... ..	64
Figura N° 14 Distribución t Student ($\infty = 0.05$) para resistencia a la compresión.	67
Figura N° 15 Distribución t Student ($\infty = 0.05$) para permeabilidad.	68
Figura N° 16 Resistencia a la compresión promedio a los 7, 14 y 28 días.	70
Figura N° 17 Curvas de desarrollo de resistencia en el tiempo.	71
Figura N° 18 Curvas de desarrollo de resistencia del concreto poroso.	72
Figura N° 19 Coeficiente de permeabilidad del concreto poroso.	73
Figura N° 20 Curvas de desarrollo de permeabilidad vs resistencia.	74
Figura N° 21 Desarrollo de contenido de vacíos.	75
Figura N° 22 Prueba de hipótesis para resistencia a la compresión.	76
Figura N° 23 Prueba de hipótesis para coeficiente de permeabilidad.	76
Figura N° 24 Comparación de resistencia a la compresión.	77
Figura N° 25 Comparación de coeficiente de permeabilidad.	78



INTRODUCCIÓN

El concreto poroso es fabricado en base a cantidades controladas de cemento, agregado grueso, poco o nada de agregado fino, agua y algunas veces con aditivos; considerando también la relación agua - cemento (a/c) y el contenido de aire, lo que le permite tener características permeables.

Es un compuesto que se caracteriza por permitir la filtración del agua a través de su estructura porosa y de ésta dependen su permeabilidad y su resistencia a la compresión que está ligadas directamente al porcentaje de vacíos.

El contenido de aire en este concreto depende esencialmente del tamaño máximo, forma y textura de las partículas del agregado, aunque posea diferente granulometría; así mismo por la relación agua - cemento (a/c), porcentaje de pasta cementante y nivel de compactación. El contacto entre los agregados influye directamente en su permeabilidad y resistencia a la compresión.

Éste trabajo está enfocado a evaluar la influencia del contenido de aire en concreto poroso fabricado con agregados de la cantera Yanag del río Huallaga en la ciudad de Huánuco, con la finalidad de contribuir en su mayor conocimiento dado la necesidad de resolver problemas de drenaje en lugares con alta pluviosidad como lo es Huánuco en las épocas de precipitaciones cuando presenciamos concentraciones de agua en las calles que son difíciles de atender con los sistemas de evacuación existentes dando solución a los problemas de inundación.



CAPÍTULO I.

Marco Teórico.



1.1. Antecedentes.

El concreto permeable es un material de estructura abierta con revenimiento (asentamiento) cero, compuesto por cemento Portland, agregado grueso, poco o nada de finos, aditivos y agua (ACI 522R, 2010). La combinación de estos ingredientes produce un material endurecido con poros conectados, que van en tamaño desde 0,008 hasta 0.32 pulgadas (de 2 hasta 8 mm), que permiten que el agua pase fácilmente a través de su estructura porosa.

En el concreto poroso, a diferencia del concreto convencional, la cantidad de pasta es limitada y por esta razón, la resistencia depende de los contactos entre los agregados. (Fernández & Navas, 2011); Estos contactos se pueden obtener usando agregados lisos y/o redondeados de río. (Crouch, 2005); indican que estos agregados, por su forma y textura, disminuyen la cantidad de vacíos en comparación con las mezclas que utilizan agregados angulosos y rugosos. Adicionalmente (Meininger, 1988) señala que las mezclas con un contenido de huecos de entre 15% y 20% permiten obtener mezclas con una adecuada resistencia y permeabilidad.

A partir de los resultados obtenidos en laboratorio en su investigación, (Solminihac, Videla, Fernández & Castro, 2007); recomienda utilizar razones a/c entre 0,35 y 0,38 para mezclas de concreto poroso. Mezclas con a/c menores presentan muy baja resistencia y mezclas con a/c mayores presentan escurrimiento de la pasta de cemento y disminución notoria del porcentaje de vacíos.

Sin embargo, también es muy importante la tasa de infiltración de las mezclas. Las mismas investigaciones permiten establecer que asociado a un 15% de huecos se encuentra una tasa de infiltración cercana a 0.35 cm/s (Meininger, 1988).



1.2. Formulación del Problema.

Para el mejor conocimiento acerca del concreto poroso, es importante ampliar las investigaciones. Por lo tanto motiva investigar las propiedades de permeabilidad y resistencia a la compresión del concreto poroso.

Sabiendo que la determinación de la permeabilidad y resistencia a la compresión del concreto poroso constituyen los parámetros fundamentales para la determinación de su calidad, no sólo por lo que representa el valor absoluto especificado, sino por el conocimiento de lo que significa para su correcto empleo.

El hecho de incrementar el contenido de aire en un concreto equivale a aumentar la permeabilidad de este elemento pero disminuyendo su resistencia. En este contexto el contenido de aire juega un papel importante en la determinación de la permeabilidad y resistencia a la compresión del concreto poroso.

1.2.1. Formulación del Problema General:

- ❖ ¿Cuánto influirá el contenido de aire en las propiedades del concreto poroso con permeabilidad de 3.5 mm/s y resistencia a la compresión de 210 kg/cm², fabricado con agregados de la cantera Yanag?

1.2.2. Formulación de Problemas Específicos:

- ❖ ¿Cuál será las propiedades físicas y mecánicas del agregado de la cantera Yanag?
- ❖ ¿Cuáles son las propiedades de permeabilidad del concreto poroso?
- ❖ ¿Cuáles son las propiedades de resistencia a la compresión del concreto poroso?
- ❖ ¿Cuáles son las características del concreto poroso fabricado con agregados de la cantera Yanag?



1.3. Objetivos:

1.3.1. Objetivo General:

- Determinar el contenido de aire adecuado de un concreto poroso fabricado con agregados de la cantera Yanag, para una permeabilidad de 3.5 mm/s y una resistencia a la compresión de 210 kg/cm².

1.3.2. Objetivos Específicos:

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas del agregado de la cantera Yanag.
- Determinar las propiedades de permeabilidad del concreto poroso.
- Determinar las propiedades de resistencia a la compresión del concreto poroso.
- Determinar las características del concreto poroso fabricado con agregados de la cantera Yanag.

1.4. Hipótesis.

1.4.1. Hipótesis Alterna.

Si realizamos un diseño de mezcla de concreto poroso con un porcentaje de aire de 17% fabricados con agregados de la cantera Yanag, obtendremos propiedades de permeabilidad de 3.5 mm/s y resistencia a la compresión de 210 Kg/cm².

1.4.2. Hipótesis Nula.

Si realizamos un diseño de mezcla de concreto poroso con un porcentaje de aire de 17% fabricados con agregados de la cantera Yanag, no obtendremos propiedades de permeabilidad de 3.5 mm/s y resistencia a la compresión de 210 Kg/cm².



1.5. Variables.

1.5.1. Variable Dependiente.

- ☞ Permeabilidad del concreto poroso.
- ☞ Resistencia a la compresión del concreto poroso.

1.5.2. Variable Independiente.

- ☞ Contenido de aire.

1.5.3. Variable Interviniente.

- ☞ Granulometría del agregado de la cantera Yanag.
- ☞ Relación agua cemento (a/c).

1.6. Indicadores.

- ☞ Porosidad.
- ☞ Relación de vacíos.
- ☞ Coeficiente de permeabilidad.
- ☞ Resistencia a la compresión.
- ☞ Análisis granulométrico.
- ☞ Relación agua cemento (a/c).



1.7. Operacionalización de Variables.

Cuadro N° 1 Operacionalización de variables.

Variables	Tipo de variables	Indicadores	Dimensiones	Medición	Instrumento
Porcentaje de vacíos	Independiente	Porosidad	u		
		Relación de vacíos	e	%	
Propiedades de permeabilidad y resistencia a compresión	Dependiente	Coefficiente de permeabilidad	k	mm	Permeámetro
		Resistencia a compresión	f'c	Kg/cm2	Prensa Hidráulica
Propiedades físicos y mecánicos	Interviniente	Análisis granulométrico			
		Relación agua - cemento	a/c		

Fuente: Elaboración Propia.



1.8. Tamaño de Muestra.

En la elección del tamaño de la muestra para el diseño experimental Por lo general, si se esperan diferencias pequeñas entre tratamientos será necesario un mayor tamaño de muestra, Aunque existen varios métodos para estimar el tamaño muestral, muchas veces tienen poca aplicabilidad por que requieren cierto conocimiento previo sobre la varianza del error experimental. Si recurrimos a la experiencia que el número de réplicas en la mayoría de las situaciones experimentales en las que se involucra un factor varía entre cinco y diez, incluso puede llegar hasta 30 (Gutiérrez & De la Vara, 2008).

Tomando en cuenta las consideraciones antes citadas se tiene:

$$n = 18$$

Además:

$$N = kn$$

Donde:

- n = Número de réplicas.
- k = Numero de tratamientos.
- N = Número total de muestra.

Finalmente:

- $n = 18$ Réplicas.
- $k = 6$ Tratamientos.
- $N = 6 \times 18$
- $N = 108$ Probetas.



Cuadro N° 2 Tamaño de muestra.

Descripción	Tipo	Resistencia a compresión			Coficiente de permeabilidad	Número de muestra
		7 días	14 días	28 días	28 días	
Concreto poroso con 15% de vacíos	MCP15%	4	4	4	6	18
Concreto poroso con 16% de vacíos	MCP16%	4	4	4	6	18
Concreto poroso con 17% de vacíos	MCP17%	4	4	4	6	18
Concreto poroso con 18% de vacíos	MCP18%	4	4	4	6	18
Concreto poroso con 19% de vacíos	MCP19%	4	4	4	6	18
Concreto poroso con 20% de vacíos	MCP20%	4	4	4	6	18
TOTAL		24	24	24	36	108

Fuente: Elaboración Propia.



1.9. Revisión de Estudios Realizados.

(De Solminihac, Videla, Fernández & Castro; Desarrollo de Mezcla de Hormigón Poroso para Pavimentos Urbanos Permeables, 2007). Análisis del comportamiento de diferentes dosificaciones de mezclas de hormigón poroso, fabricadas en laboratorio y compactadas con rodillo pesado para simular las condiciones de terreno. Las variables consideradas para el diseño de las mezclas fueron el porcentaje real de huecos en el hormigón endurecido y la razón agua/cemento. A partir de estos resultados se determinaron las dosificaciones que presentan mejor comportamiento desde el punto de vista mecánico e hidráulico.

Los resultados muestran que existe una dosificación de hormigón poroso, distinta a las encontradas actualmente en la literatura internacional, que permite obtener resistencias hasta 20% más altas, manteniendo todavía una excelente capacidad hidráulica. Se determinó que una permeabilidad suficiente se puede obtener con un porcentaje real de huecos de 14%, y que agregar pasta de cemento en una proporción de 250 l/m³ permite maximizar la resistencia a flexotracción de hormigones que utilizan diferentes razones a/c. Se encontraron relaciones entre el porcentaje de huecos y la permeabilidad del material, y entre el porcentaje de huecos y la resistencia a flexotracción a 28 días.

(Meneses & Bravo; Resistencia Mecánica y Condiciones de Obra del Concreto Poroso en los Pavimentos Según el Tipo de Granulometría, 2007) El trabajo corresponde a un estudio realizado a la resistencia mecánica del concreto poroso utilizando materiales de la región de Antioquia. Teniendo en cuenta que para el diseño de la mezcla, se debe emplear un agregado con ausencia casi total de finos ya que estos reducen la permeabilidad de la mezcla. Los agregados finos pueden tener tamaño de grano uniforme menor de 5 mm y los agregados gruesos un tamaño de 5 a 25 mm



respectivamente para obtener un porcentaje elevado de vacíos en el orden de 13 al 25%.

Teóricamente es recomendable utilizar una cantidad de cemento que fluctúe entre los 250 y 400 kg/m³, ya que una mayor cantidad a lo anteriormente mencionado genera un concreto más resistente pero con una disminución del porcentaje de vacíos. El agua de amasado, tiene una gran repercusión en las propiedades de la mezcla; así como en el concreto convencional la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión están inversamente relacionadas, en el concreto poroso la dependencia es más compleja debido a que el agua juega un papel decisivo como lubricante cuando se trata de compactar el concreto poroso, sobre todo si esta operación se realiza por vibración. Las relaciones usuales de agua/cemento se encuentran en el rango de 0.5 a 0.7, para una dosificación de la relación de fino/grueso de 0.25.

(Pérez; Estudio Experimental de Concretos Permeables con Agregados Andesíticos, 2009). Los resultados de los estudios realizados a las mezclas de concreto permeables diseñadas con 15% y 20% de vacíos elaboradas con agregados andesíticos, permiten concluir que si cumplen con las propiedades mecánicas y de permeabilidad adecuadas para su utilización en pavimentos con tránsito ligero u otras aplicaciones.

La mezcla de concreto permeable más resistente se obtuvo utilizando una razón a/c de 0.35, utilizando agregado de 3/4", una dosis de cemento de 350 kg/m³, adicionando un 10% de arena y un porcentaje de vacíos de 15%. Esta dosificación permite obtener resistencias compresión en promedio cercanas a 215 kg/cm² y resistencias a flexión en promedio cercanas a 46 kg/cm. Aunque las mezclas de concreto permeable con agregado de 3/8" presentan menores resistencias, estas resultan con una textura más estética que la obtenida con agregado de 3/4" debido al tamaño



de agregado. En base a los resultados obtenidos, se puede concluir que a menor porcentaje de vacíos, aumentan tanto la resistencia como el peso volumétrico, pero a la vez disminuye la permeabilidad. El porcentaje de vacíos influye de manera muy significativa en todas las propiedades de las mezclas de concreto permeable.

1.10. Definición de Términos Básico.

1.10.1. Concreto Poroso.

El concreto poroso a diferencia del concreto convencional es fabricado con base en agregado grueso, cemento, agua y aditivos; en algunos casos la mezcla es realizada con poca cantidad de arena como se verá reflejado en la investigación, este tipo de mezcla una vez es fundida drena con rapidez por la gran cantidad de poros y/o vacíos que se conectan formando vías de escape para líquidos como agua. El concreto poroso tiene algunas características diferentes que se deben tener en cuenta al momento de su fabricación, entre estas se encuentra la relación agua cemento (w/c) la cual debe ser baja ya que se debe evitar que la mezcla fluya y se llenen los vacíos; Por otro lado se encuentra el porcentaje de vacíos típico utilizando grava de 3/8 pulg (10 mm) que es del 15% al 25%, mientras que el porcentaje de vacíos típico utilizando rocas de 1/2 pulg (12 mm) es de 30 a 40 por ciento (Navas & Fernández, 2011).

1.10.2. Concreto.

Es un producto artificial compuesto que consiste de un medio ligante denominado pasta, dentro del cual se encuentran embebidas partículas de un medio ligado llamado agregado.

El concreto es una mezcla, adecuadamente dosificada, de cemento, agua y agregado fino y grueso. Adicionalmente también puede tener en su composición aditivos, adiciones y fibras. (Rivva, 2014).



1.10.3. Resistencia a la Compresión.

La resistencia del concreto es definida como el máximo esfuerzo que puede ser soportado por dicho material sin romperse. Dado que el concreto está destinado principalmente a tomar esfuerzos a compresión, es la medida de su resistencia a dichos esfuerzos la que se utiliza como índice de su calidad. (Rivva, 2014).

La resistencia a la compresión del concreto (f'_c) se determina por medio de pruebas a la falla de cilindros de 6 pulg x 12 pulg de concreto. Los valores obtenidos dependen en gran medida de los tamaños y formas de los especímenes de prueba y de la manera que estos son cargados (McCormac, 2010).

1.10.4. Permeabilidad.

La permeabilidad es la capacidad que tiene material para que lo atraviesen fluidos, aire o luz, sin perder la figura de su estructura interna. El hecho de que algún material sea permeable indica que se estructura es porosa o contiene un porcentaje de vacíos que están interconectados y que le permite la absorción de otros elementos (Subramanian, 2009).

1.10.5. Coeficiente de Permeabilidad.

Este es uno de los ensayos más significativos, porque va permitir conocer un parámetro más importante, el coeficiente de permeabilidad, el cual caracteriza al concreto poroso. Para su desarrollo se usa un permeámetro de carga variable recomendado en el reporte (ACI Committee 522, 2006), donde se ensaya probetas que podrían estandarizarse en 10 cm de diámetro por 15 cm de alto (Calderón & Charca, 2013).



1.10.6. Porosidad.

La porosidad es la propiedad física que le permite a un material traspassarlo con un fluido, aire o luz. La porosidad en un material se identifica como la relación que existe entre el porcentaje de vacíos y el volumen unitario del material al cual se le hace el estudio de porosidad, esta es muy importante en el comportamiento de los agregados dentro del concreto. Una partícula porosa es mucho menos dura que una partícula compacta o maciza, lo cual afecta no solo las propiedades mecánicas como la adherencia y la resistencia a la compresión y flexión sino también propiedades de durabilidad como la resistencia al congelamiento y deshielo, estabilidad química y resistencia a la abrasión (Sánchez, 2001).

1.10.7. Relación Agua-Cemento (a/c).

La razón de la cantidad de agua, excluyendo sólo aquella absorbida por los agregados, a la cantidad de cemento en la mezcla de concreto o de mortero; establecida de preferencia como un decimal por peso. (Rivva, 2014).

1.10.8. Agregado.

Se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas, de origen natural o artificial, cuyas dimensiones están comprendidos entre los límites fijados en la Norma NTP 400.011-2008. (Rivva, 2014).



CAPÍTULO II.

Marco Metodológico.



2.1. Tipo y Nivel de Investigación.

2.1.1. Tipo de Investigación.

El enfoque de la investigación desarrollado es del tipo Cuantitativo y Cualitativo (Borja, 2012).

2.1.2. Nivel de Investigación.

2.1.2.1. Tipo Cuantitativa

El estudio se hará a nivel Descriptivo - Experimental - Analítico.

- **Descriptiva.** Comprende el proceso de identificación y descripción del concreto poroso.
- **Experimental.** Para determinar las características físicas, mecánicas e hidráulicas del concreto poroso se realizara ensayos en el laboratorio de: Geotecnia, Pavimentos y Mecánica de Materiales Víctor Edgardo Besada Fernández - UNHEVAL.
- **Analítico.** Los diferentes datos serán analizados ampliamente mediante sus correspondientes variables los mismos que nos permitirán llegar a conclusiones valiosas para contrastar la hipótesis.

2.1.2.2. Tipo Cualitativa:

En todo el estudio se describirá todo el procedimiento de muestreo, diseño y análisis del concreto poroso.

2.2. Diseño de Contrastación de la Hipótesis.

El diseño de contraste de hipótesis en esta investigación es de tipo experimental teniendo como variables el contenido de aire (variable X) y la resistencia a la compresión y coeficiente de permeabilidad (variable Y) (Borja, 2012).



2.2.1. Diseño Experimentales.

El diseño de experimentos se determinara mediante la teoría de las muestras pequeñas con la distribución “t” Student donde es analizada estadísticamente para la prueba de hipótesis. (Martínez, 2012).

2.3. Técnicas de Recolección de Datos.

2.3.1. Observación.

Como técnica de investigación científica, es un proceso riguroso que permite conocer, de forma directa, el objeto de estudio para luego describir y analizar situaciones sobre la realidad estudiada (Bernal, 2010).

Cuadro N° 3 Fuentes, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.

Fuentes	Técnicas	Instrumentos de recolección de datos
Físicas y electrónicas	Observación de datos	Equipos y herramientas

Fuente: Elaboración Propia.

2.4. Variables Experimentales.

La variable independiente considerada en esta investigación es el contenido de vacíos. Según la literatura existente, las mezclas porosas deben tener como mínimo un 15% de vacíos. Sin embargo, también es muy importante la tasa de infiltración de las mezclas. Las mismas investigaciones permiten establecer que asociado a un 15% de vacíos se encuentra una tasa de infiltración cercana a 0.35 cm/s (Meininger, 1988). Este valor, será considerado como la mínima tasa de infiltración aceptable para considerar como poroso a una mezcla. Adicionalmente, las mezclas con un contenido de huecos entre 15% y 20% permiten obtener mezclas con una adecuada resistencia y permeabilidad (Meininger, 1988).



Por esta razón, se escogió utilizar concretos con 15%, 16%, 17%, 18%, 19% y 20% de vacíos, con el fin de analizar el efecto de esta variable sobre la resistencia y permeabilidad de las mezclas.

Las variables Intervinientes consideradas son el agregado que estará graduado. La granulometría seleccionada será uniforme y continúa, con los valores retenidos en las mallas 1/2", 3/8" y N° 4 de la serie de Tyler (Uso N° 67) y la relación agua - cemento (a/c) que se fijó en 0.38 para todas las mezclas de concreto poroso.

Estos valores fueron escogidos para analizar el efecto sobre las propiedades del concreto poroso en su permeabilidad como en su resistencia a la compresión.

2.5. Estudio del Agregado.

2.5.1. Ubicación Geográfica.

La cantera se encuentra ubicado en la sierra central del Perú, en la localidad de Yanag, zona Este del distrito de Pillco Marca, provincia y departamento de Huánuco, a la altura del Kilómetro 5.50 de la red vial nacional PE 3N (carretera Huánuco - Lima), margen izquierdo del río Huallaga; la misma que está administrado por la municipalidad distrital de Pillco Marca, cuyo material es adecuado para nuestra investigación.

Cuadro N° 4 Coordenadas UTM de la cantera Yanag.

Punto de Ubicación	Coordenadas UTM-WGS84		
	Zona	18 M	Altitud (msnm)
Cantera de Yanag	Coordenada Este	364178.2740	1955
	Coordenada Norte	8895569.2980	

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 1 Ubicación satelital de la cantera Yanag.

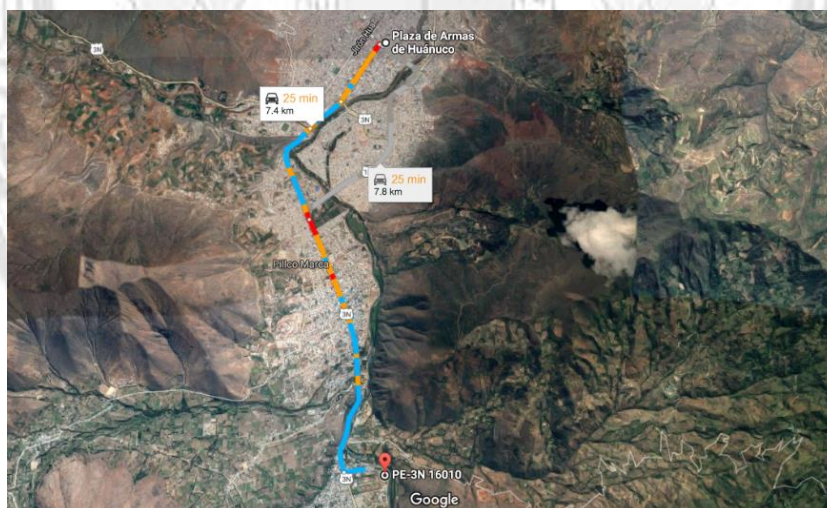


Fuente: Elaboración Propia - Google Earth.

2.5.2. Accesibilidad.

La accesibilidad a la cantera es por la carretera central Huánuco - Lima (PE 3N) en el Kilómetro 5.50 aproximadamente de la ciudad de Huánuco a la altura de la Balanza, llegando hasta el río Huallaga 450.00m hasta la cantera.

Figura N° 2 Accesibilidad a la cantera Yanag.



Fuente: Elaboración Propia - Google Maps.

2.5.3. Características de la Cantera Yanag.

Cuadro N° 5 Características de la cantera Yanag.

Ubicación	Localidad de Yanag
Acceso	Lado derecho de la carretera Huánuco - Lima
Propietario	Municipalidad distrital de Pillco Marca
Material	Agregado fino y gruesa
Profundidad	0.40 m
Estrato orgánico	0.05 m
Área aproximada	2217.63 m ²
Potencia bruta	887.05 m ³
Desbroce	44.35 m ³
Potencia efectiva	842.70 m ³

Fuente: Elaboración Propia.

2.5.4. Clasificación de los Agregados de la Cantera Yanag.

Cuadro N° 6 Clasificación de los agregados de la cantera Yanag.

Por su origen	Agregados naturales
Por su tamaño	Agregado fino y grueso
Por su propiedades físicas	Agregado bueno
Por su propiedades químicas	Inocuos
Por su peso	Agregado de peso normal
Por su perfil	Redondeados
Por su textura superficial	Textura suave
Por su petrografía	Grupo arenisca y esquisto

Fuente: Anexo evaluación geológica, Municipalidad distrital de Pillco Marca, 2016 / Rivva, 2014.



Fotografía N° 1 Agregados de la cantera de Yanag.

Fuente: Elaboración Propia.



2.5.5. Ensayos del Agregados de la Cantera Yanag.

2.5.5.1. Peso Específico y Absorción.

El procedimiento para determinar el peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción (después de 24 horas) del agregado de la cantera Yanag, se realizó de acuerdo al manual de ensayo de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC E 206 y la Norma Técnica Peruana NTP N° 400.021.

Cuadro N° 7 Peso específico y absorción del agregado de la cantera Yanag.

Descripción	Muestra		
	M - 1	M - 2	M - 3
Peso de la muestra seca en el aire	3.000	3.000	3.000
Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire	3.023	3.025	3.020
Peso en el agua de la muestra saturada	1.870	1.875	1.864
Peso específico de masa (Pem)	2.60	2.61	2.60
Peso específico de masa promedio	2.60		
Peso específico de masa saturada con superficie seca (Pesss)	2.62	2.63	2.61
Peso específico de masa saturada con superficie seca promedio	2.62		
Peso específico aparente (Pea)	2.65	2.67	2.64
Peso específico aparente promedio	2.65		
Absorción (Ab)	0.77%	0.83%	0.67%
Absorción promedio	0.76%		

Fuente: Elaboración Propia.

2.5.5.2. Peso Unitario y Vacíos de los Agregados.

El procedimiento para determinar el peso unitario suelto, compactado y el porcentaje de los vacíos del agregado de la cantera Yanag, se realizó de acuerdo al manual de ensayo de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC E 203 y la Norma Técnica Peruana NTP N° 400.017.



Fotografía N° 2 Ensayo de peso unitario y porcentaje de vacíos.

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro N° 8 Peso unitario suelto y porcentaje de vacíos.

Descripción	Muestra		
	M - 1	M - 2	M - 3
Peso de la muestra	6.388	6.398	6.394
Volumen de molde	5.049	5.049	5.049
Peso unitario suelto	1.265	1.267	1.266
Peso unitario promedio	1.27		
Peso específico aparente	2.65	2.65	2.65
Densidad del agua	1.00	1.00	1.00
Porcentaje de vacíos	52.26%	52.18%	52.21%
Porcentaje de vacíos promedio	52.22%		

Fuente: Elaboración Propia.



Cuadro N° 9 Peso unitario varillado y porcentaje de vacíos.

Descripción	Muestra		
	M - 1	M - 2	M - 3
Peso de la muestra	6.619	6.613	6.622
Volumen de molde	5.049	5.049	5.049
Peso unitario compactado	1.311	1.310	1.312
Peso unitario promedio	1.31		
Peso específico aparente	2.65	2.65	2.65
Densidad del agua	1.00	1.00	1.00
Porcentaje de vacíos	50.53%	50.57%	50.51%
Porcentaje de vacíos promedio	50.54%		

Fuente: Elaboración Propia.

2.5.5.1. Análisis Granulométrico.

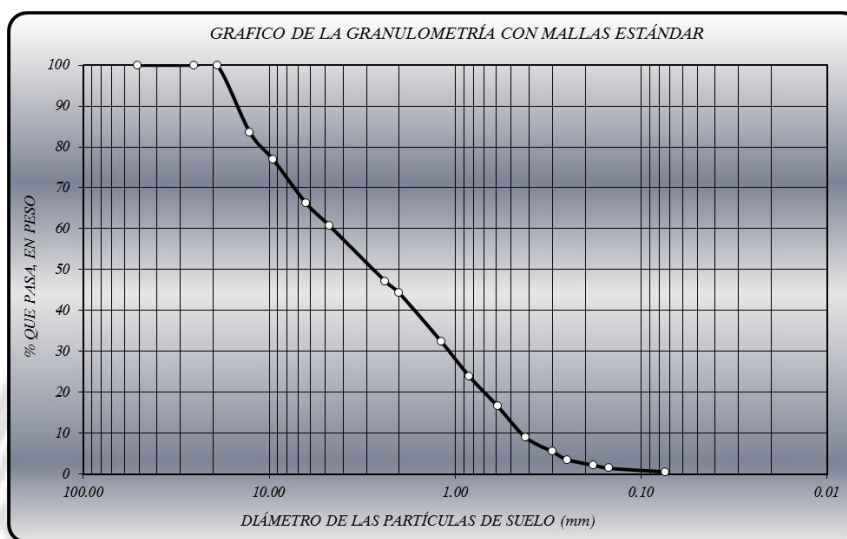
El ensayo de granulometría, se realizó de acuerdo al manual de ensayo de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC E 204 y la Norma Técnica Peruana NTP N° 400.012.

Cuadro N° 10 Análisis granulométrico del agregado de la cantera Yanag.

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso retenido	Peso retenido parcial (%)	Peso retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	0.821	16.42	16.42	83.58
3/8"	9.53	0.332	6.64	23.06	76.94
1/4"	6.35	0.531	10.62	33.68	66.32
No 4	4.76	0.276	5.52	39.20	60.80
No 8	2.38	0.681	13.62	52.82	47.18
No 10	2.00	0.145	2.90	55.72	44.28
No 16	1.19	0.592	11.84	67.56	32.44
No 20	0.84	0.428	8.56	76.12	23.88
No 30	0.59	0.367	7.34	83.46	16.54
No 40	0.42	0.376	7.52	90.98	9.02
No 50	0.30	0.177	3.54	94.52	5.48
No 60	0.25	0.098	1.96	96.48	3.52
No 80	0.18	0.068	1.36	97.84	2.16
No 100	0.15	0.038	0.76	98.60	1.40
No 200	0.07	0.043	0.86	99.46	0.54
Cazoleta	0.00	0.027	0.54	100.00	0.00
Total		5.000	100.00		

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 3 Curva granulométrica del agregado de la cantera Yanag.



Fuente: Elaboración Propia.

2.5.5.2. Abrasión de los Ángeles.

El procedimiento para determinar a resistencia a la degradación utilizando la Máquina de Los Ángeles del agregado de la cantera Yanag, se realizó de acuerdo al manual de ensayo de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC E 207 y la Norma Técnica Peruana NTP N° 400.019.

Cuadro N° 11 Abrasión de los ángeles.

Descripción	Muestra		
	M - 1	M - 2	M - 3
Peso de la muestra antes del ensayo	5.00	5.00	5.00
Peso de la muestra después del ensayo	4.07	4.10	4.04
Porcentaje de desgaste	18.58%	18.00%	19.20%
Porcentaje de desgaste promedio	18.59%		

Fuente: Elaboración Propia.



Fotografía N° 3 Ensayo de abrasión de los ángeles.

Fuente: Elaboración Propia.

2.6. Elaboración de Probetas.

2.6.1. Característica de los Materiales.

2.6.1.1. Agregados.

En este estudio se utilizaron solamente agregado grueso graduado sin finos dentro de los límites norma NTP 400.037 o ASTM C33; provenientes de la cantera de Yanag. La granulometría seleccionada es uniforme y continua, con los valores retenidos en las mallas 1/2", 3/8" y N° 4 de la serie de Tyler (Uso N° 67).

Cuadro N° 12 Propiedades del agregado de la cantera Yanag.

Propiedades		Agregado (HUSO 67)	Unidad
Tamaño máximo nominal	TMN	1/2"	
Peso específico de masa	Pem	2.60	gr/cm ³
Peso específico de masa saturada con superficie seca	Pesss	2.62	gr/cm ³
Peso unitario suelto	Pus	1.27	gr/cm ³
Peso unitario compacto	Puc	1.31	gr/cm ³
Absorción	Ab	0.76	%

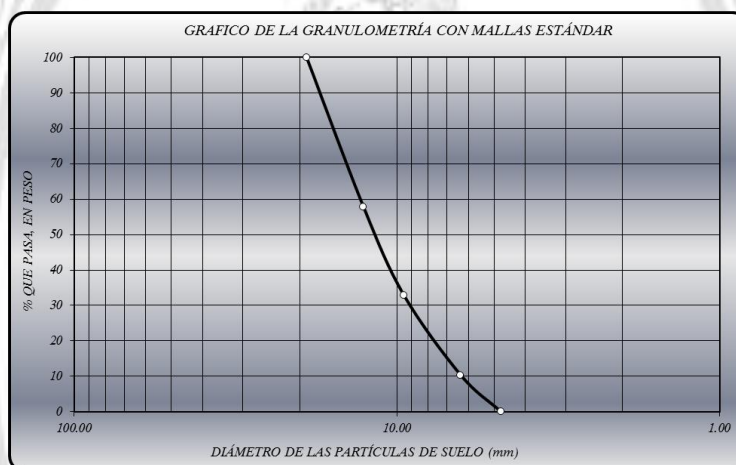
Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro N° 13 Análisis granulométrico graduado del agregado.

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso retenido	Peso retenido parcial (%)	Peso retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	2.11	42.15	42.15	57.85
3/8"	9.53	1.25	24.92	67.07	32.93
1/4"	6.35	1.13	22.56	89.62	10.38
No 4	4.76	0.52	10.38	100.00	0.00
Total		5.00	100.00		

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 4 Granulometría del agregado de la cantera Yanag.



Fuente: ACI 211.3R, 1998.



Fotografía N° 4 Ensayo de granulometría.

Fuente: Elaboración Propia.

2.6.1.2. Cemento.

En esta investigación se utilizara cemento Pórtland tipo I (Cemento Andino), fijados en la norma NTP 339.009 o ASTM C 150. Teniendo en cuenta que un mayor dosis de cemento generará un concreto más resistente, pero demasiado cemento disminuirá el porcentaje de vacíos interconectados en el concreto, perdiendo este su capacidad de infiltración (De Solminihac, Videla, Fernández & Castro, 2007).



Fotografía N° 5 Cemento Andino.

Fuente: Elaboración Propia.

2.6.1.3. Agua.

El agua presente en la mezcla de concreto poroso utilizada en esta investigación será el agua potable de la Ciudad Universitaria UNHEVAL; consideradas aptas de acuerdo a la norma NTP 339.088 y ASTM C 109M.

Cuadro N° 14 Propiedades del cemento y agua.

Propiedades		Valor	Unidad
Peso específico del cemento	Pec	3.15	gr/cm ³
Peso específico del agua	Pew	1.00	gr/cm ³

Fuente: Elaboración Propia.



2.6.2. Procedimiento de diseño.

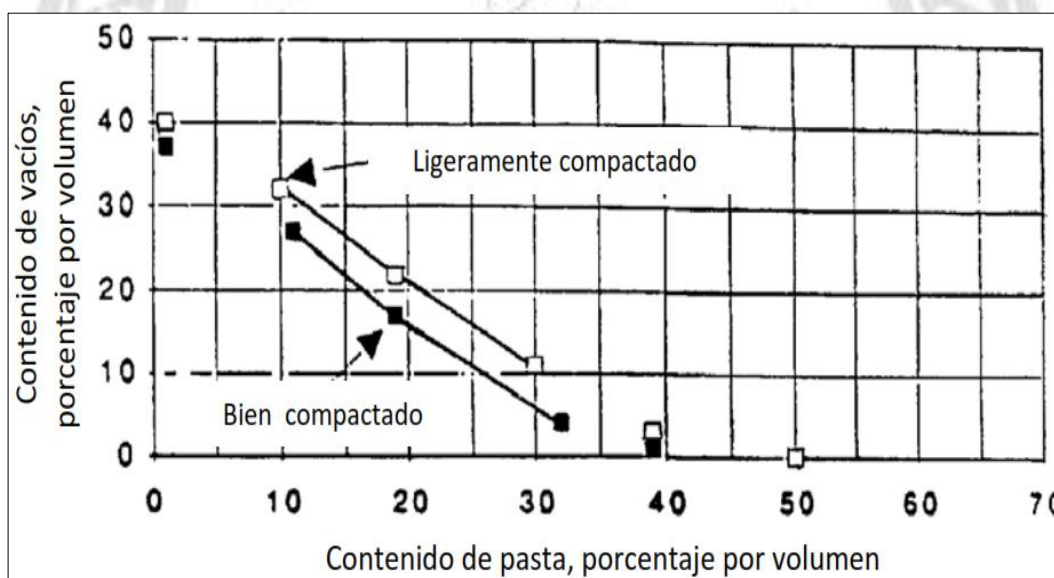
2.6.2.1. Elección del porcentaje de vacíos.

La elección del porcentaje de vacíos depende de la velocidad de filtración de agua. Para esta investigación se consideraran el porcentaje de vacíos de 15%, 16%, 17%, 18%, 19% y 20%.

2.6.2.2. Determinación del Volumen de Pasta.

Luego de haber elegido los porcentajes de vacíos, se procede a calcular el volumen de pasta a partir del contenido de vacíos.

Figura N° 5 Relación entre el contenido de vacíos y el contenido de pasta.



Fuente: ACI 522R-10.

Del gráfico anterior se determina la relación entre el contenido de vacíos y el contenido de pasta para la curva ligeramente compactada (Flores & Pacompia, 2015).



Cuadro N° 15 Relación entre el contenido de vacíos y el contenido de pasta.

Tipo de mezcla	Contenido de aire	Contenido de pasta
M - 1	15%	28.15%
M - 2	16%	27.10%
M - 3	17%	26.05%
M - 4	18%	25.00%
M - 5	19%	23.95%
M - 6	20%	22.90%

Fuente: Elaboración Propia.

Una vez determinado el volumen de pasta necesario, se determinan los pesos de cemento y agua por metro cúbico de mezcla, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$V_p = V_c + V_a$$

Donde:

- V_p : Volumen de pasta.
- V_c : Volumen de cemento.
- V_a : Volumen de agua.

La ecuación también puede ser expresada como:

$$V_p = \frac{c}{P.E.c} + \frac{a}{P.E.a}$$

Donde:

- c : Peso del cemento por m^3 de mezcla.
- a : Peso del agua por m^3 de mezcla.
- P.E.c : Peso específico del cemento.
- P.E.a : Peso específico del agua.



También:

$$a = (a/c) * c \quad \dots\dots\dots 02.01$$

Donde:

- a : Peso del agua, en kg.
- c : Peso del cemento, en kg.
- a/c : Relación agua - cemento.

Finalmente con relación a/c obtenemos:

$$V_p = \frac{c}{P.E._c} + \frac{(a/c)*c}{P.E._a} \quad \dots\dots\dots 02.02$$

Donde:

- c : Peso del cemento por m³ de mezcla.
- a/c : Relación agua - cemento.
- P.E.c : Peso específico del cemento.
- P.E.a : Peso específico del agua.

2.6.2.3. Elección de la Relación Agua - Cemento.

En cuanto a la relación agua - cemento (a/c) se fijó en 0.38 para todas las mezclas de concreto poroso, lo que asegurara que la pasta recubra por completo todos los áridos, uniéndolos de tal forma que no comprometan la formación de poros y por ende su permeabilidad. Un exceso de agua puede generar el colapso del sistema de poros que son lo más importante en este tipo de concreto ya que ellos son los que permiten el paso del agua. Un déficit de agua produce una ligadura deficiente entre los áridos (Flores & Pacompia, 2015).



2.6.3. Sistema de Dosificación.

Se fabricarán seis mezclas de concreto, distribuidas de la siguiente manera:

- Concreto poroso con agregados Huso N° 67, 15% de vacíos y 0.38 relación agua - cemento (a/c).
- Concreto poroso con agregados Huso N° 67, 16% de vacíos y 0.38 relación agua - cemento (a/c).
- Concreto poroso con agregados Huso N° 67, 17% de vacíos y 0.38 relación agua - cemento (a/c).
- Concreto poroso con agregados Huso N° 67, 18% de vacíos y 0.38 relación agua - cemento (a/c).
- Concreto poroso con agregados Huso N° 67, 19% de vacíos y 0.38 relación agua - cemento (a/c).
- Concreto poroso con agregados Huso N° 67, 20% de vacíos y 0.38 relación agua - cemento (a/c).

A continuación se calcula detalladamente las proporciones de cada una de las mezclas descritas anteriormente, las cuales se basaron en el procedimiento descrito en ACI 522R-10.

2.6.3.1. Concreto Poroso con 15% de Vacíos.

Datos:

- ☒ Porcentaje de vacíos = 15%.
- ☒ Relación agua-cemento (a/c) = 0.38.
- ☒ Cemento:

Peso específico = 3.15 gr/cm³.



✎ Agregado:

Peso específico = 2.60 gr/cm³.

✎ Agua:

Peso específico = 1.00 gr/cm³.

De la Figura N° 5 y Cuadro N° 14, se determina el volumen de pasta para un 15% de vacíos para una mezcla de concreto poroso ligeramente compactada, dando como resultado 28.15%.

Por lo tanto:

Volumen de pasta: $V_p = 0.2815 \text{ m}^3$.

Volumen de Vacíos: $V_v = 0.1500 \text{ m}^3$.

$\Sigma = 0.4315 \text{ m}^3$.

Volumen de grava: $V_g = 1 - 0.4315 = 0.5685 \text{ m}^3$.

Peso del agregado: $g = 1478.10 \text{ kg}$.

Reemplazando en 02.02:

$$0.2815 = \frac{c}{3.15 \times 1000} + \frac{0.38c}{1000}$$

Peso del cemento: $c = 403.61 \text{ kg}$.

Volumen de cemento: $V_c = 0.1281 \text{ m}^3$.

Reemplazando en 02.01:

$a = 0.38 * c$

Peso del agua: $a = 153.37 \text{ kg}$.



Volumen de agua: $V_a = 0.1534 \text{ m}^3$.

Finalmente los pesos por m^3 son:

- Peso de cemento: $c = 403.61 \text{ kg}$.
- Peso de agregado: $g = 1478.10 \text{ kg}$.
- Peso de agua: $a = 153.37 \text{ kg}$.
- $\Sigma = 2035.08 \text{ kg}$.

Finalmente los volúmenes por m^3 son:

- Volumen de cemento: $V_c = 0.1281 \text{ m}^3$.
- Volumen de agregado: $V_g = 0.5685 \text{ m}^3$.
- Volumen de agua: $V_a = 0.1534 \text{ m}^3$.
- $\Sigma = 0.85 \text{ m}^3$.

Porcentaje de vacíos = $(1 - 0.85) \times 100 = 15.00 \%$.

2.6.3.2. Concreto Poroso con 16% de vacíos.

Datos:

- ✘ Porcentaje de vacíos = 16%.
- ✘ Relación agua-cemento (a/c) = 0.38.
- ✘ Cemento:

Peso específico = 3.15 gr/cm^3 .

- ✘ Agregado:

Peso específico = 2.60 gr/cm^3 .

- ✘ Agua:

Peso específico = 1.00 gr/cm^3 .



De la Figura N° 5 y Cuadro N° 14, se determina el volumen de pasta para un 16% de vacíos para una mezcla de concreto poroso ligeramente compactada, dando como resultado 27.10%.

Por lo tanto:

Volumen de pasta: $V_p = 0.271 \text{ m}^3.$

Volumen de Vacíos: $V_v = 0.160 \text{ m}^3.$

$\Sigma = 0.431 \text{ m}^3.$

Volumen de grava: $V_g = 1 - 0.431 = 0.569 \text{ m}^3.$

Peso del agregado: $g = 1479.40 \text{ kg}.$

Reemplazando en 02.02:

$$0.2710 = \frac{c}{3.15 \times 1000} + \frac{0.38c}{1000}$$

Peso del cemento: $c = 388.55 \text{ kg}.$

Volumen de cemento: $V_c = 0.1234 \text{ m}^3.$

Reemplazando en 02.01:

$a = 0.38 * c$

Peso del agua: $a = 147.65 \text{ kg}.$

Volumen de agua: $V_a = 0.1476 \text{ m}^3.$



Finalmente los pesos por m³ son:

- Peso de cemento: $c = 388.55 \text{ kg.}$
- Peso de agregado: $g = 1479.40 \text{ kg.}$
- Peso de agua: $a = 147.65 \text{ kg.}$
- $\Sigma = 2015.60 \text{ kg.}$

Finalmente los volúmenes por m³ son:

- Volumen de cemento: $V_c = 0.1234 \text{ m}^3.$
- Volumen de agregado: $V_g = 0.569 \text{ m}^3.$
- Volumen de agua: $V_a = 0.1476 \text{ m}^3.$
- $\Sigma = 0.84 \text{ m}^3.$

Porcentaje de vacíos = $(1 - 0.84) \times 100 = 16.00 \%$.

2.6.3.3. Concreto Poroso con 17% de vacíos.

Datos:

- ✘ Porcentaje de vacíos = 17%.
- ✘ Relación agua-cemento (a/c) = 0.38.
- ✘ Cemento:
Peso específico = 3.15 gr/cm³.
- ✘ Agregado:
Peso específico = 2.60 gr/cm³.
- ✘ Agua:
Peso específico = 1.00 gr/cm³.

De la Figura N° 5 y Cuadro N° 14, se determina el volumen de pasta para un 17% de vacíos para una mezcla de concreto poroso ligeramente compactada, dando como resultado 26.05%.



Por lo tanto:

Volumen de pasta: $V_p = 0.2605 \text{ m}^3$.

Volumen de Vacíos: $V_v = 0.170 \text{ m}^3$.

$\Sigma = 0.4305 \text{ m}^3$.

Volumen de grava: $V_g = 1 - 0.4305 = 0.5695 \text{ m}^3$.

Peso del agregado: $g = 1480.70 \text{ kg}$.

Reemplazando en 02.02:

$$0.2605 = \frac{c}{3.15 \times 1000} + \frac{0.38c}{1000}$$

Peso del cemento: $c = 373.50 \text{ kg}$.

Volumen de cemento: $V_c = 0.1186 \text{ m}^3$.

Reemplazando en 02.01:

$$a = 0.38 * c$$

Peso del agua: $a = 141.93 \text{ kg}$.

Volumen de agua: $V_a = 0.1419 \text{ m}^3$.

Finalmente los pesos por m³ son:

- Peso de cemento: $c = 373.50 \text{ kg}$.
 - Peso de agregado: $g = 1480.70 \text{ kg}$.
 - Peso de agua: $a = 141.93 \text{ kg}$.
- $\Sigma = 1996.13 \text{ kg}$.



Finalmente los volúmenes por m³ son:

- Volumen de cemento: $V_c = 0.1186 \text{ m}^3.$
 - Volumen de agregado: $V_g = 0.5695 \text{ m}^3.$
 - Volumen de agua: $V_a = 0.1419 \text{ m}^3.$
- $\Sigma = 0.83 \text{ m}^3.$

Porcentaje de vacíos = $(1 - 0.83) \times 100 = 17.00 \%$

2.6.3.4. Concreto Poroso con 18% de vacíos.

Datos:

- ✗ Porcentaje de vacíos = 18%.
- ✗ Relación agua-cemento (a/c) = 0.38.
- ✗ Cemento:
Peso específico = 3.15 gr/cm³.
- ✗ Agregado:
Peso específico = 2.60 gr/cm³.
- ✗ Agua:
Peso específico = 1.00 gr/cm³.

De la Figura N° 5 y Cuadro N° 14, se determina el volumen de pasta para un 18% de vacíos para una mezcla de concreto poroso ligeramente compactada, dando como resultado 25%.

Por lo tanto:

Volumen de pasta: $V_p = 0.25 \text{ m}^3.$

Volumen de Vacíos: $V_v = 0.18 \text{ m}^3.$

$\Sigma = 0.43 \text{ m}^3.$



Volumen de grava: $V_g = 1 - 0.43 = 0.57 \text{ m}^3$.

Peso del agregado: $g = 1482.00 \text{ kg}$.

Reemplazando en 02.02:

$$0.2500 = \frac{c}{3.15 \times 1000} + \frac{0.38c}{1000}$$

Peso del cemento: $c = 358.44 \text{ kg}$.

Volumen de cemento: $V_c = 0.1138 \text{ m}^3$.

Reemplazando en 02.01:

$$a = 0.38 * c$$

Peso del agua: $a = 136.21 \text{ kg}$.

Volumen de agua: $V_a = 0.1362 \text{ m}^3$.

Finalmente los pesos por m³ son:

- Peso de cemento: $c = 358.44 \text{ kg}$.
 - Peso de agregado: $g = 1482.00 \text{ kg}$.
 - Peso de agua: $a = 136.21 \text{ kg}$.
- $\Sigma = 1976.65 \text{ kg}$.

Finalmente los volúmenes por m³ son:

- Volumen de cemento: $V_c = 0.1138 \text{ m}^3$.
 - Volumen de agregado: $V_g = 0.57 \text{ m}^3$.
 - Volumen de agua: $V_a = 0.1362 \text{ m}^3$.
- $\Sigma = 0.82 \text{ m}^3$.

Porcentaje de vacíos = $(1 - 0.82) \times 100 = 18 \%$



2.6.3.5. Concreto Poroso con 19% de vacíos.

Datos:

- ✗ Porcentaje de vacíos = 19%.
- ✗ Relación agua-cemento (a/c) = 0.38.
- ✗ Cemento:
Peso específico = 3.15 gr/cm³.
- ✗ Agregado:
Peso específico = 2.60 gr/cm³.
- ✗ Agua:
Peso específico = 1.00 gr/cm³.

De la Figura N° 5 y Cuadro N° 14, se determina el volumen de pasta para un 19% de vacíos para una mezcla de concreto poroso ligeramente compactada, dando como resultado 23.95%.

Por lo tanto:

Volumen de pasta: $V_p = 0.2395 \text{ m}^3$.

Volumen de Vacíos: $V_v = 0.19 \text{ m}^3$.

$\Sigma = 0.4295 \text{ m}^3$.

Volumen de grava: $V_g = 1 - 0.4295 = 0.5705 \text{ m}^3$.

Peso del agregado: $g = 1483.30 \text{ kg}$.

Reemplazando en 02.02:

$$0.2395 = \frac{c}{3.15 \times 1000} + \frac{0.38c}{1000}$$

Peso del cemento: $c = 343.39 \text{ kg}$.



Volumen de cemento: $V_c = 0.1090 \text{ m}^3$.

Reemplazando en 02.01:

$$a = 0.38 \cdot c$$

Peso del agua: $a = 130.49 \text{ kg}$.

Volumen de agua: $V_a = 0.1305 \text{ m}^3$.

Finalmente los pesos por m^3 son:

- Peso de cemento: $c = 343.39 \text{ kg}$.
- Peso de agregado: $g = 1483.30 \text{ kg}$.
- Peso de agua: $a = 130.49 \text{ kg}$.
- $\Sigma = 1957.18 \text{ kg}$.

Finalmente los volúmenes por m^3 son:

- Volumen de cemento: $V_c = 0.1090 \text{ m}^3$.
- Volumen de agregado: $V_g = 0.5705 \text{ m}^3$.
- Volumen de agua: $V_a = 0.1305 \text{ m}^3$.
- $\Sigma = 0.81 \text{ m}^3$.

Porcentaje de vacíos = $(1 - 0.81) \times 100 = 19 \%$.

2.6.3.6. Concreto Poroso con 20% de vacíos.

Datos:

- ☒ Porcentaje de vacíos = 20%.
- ☒ Relación agua-cemento (a/c) = 0.38.
- ☒ Cemento:

Peso específico = 3.15 gr/cm^3 .



✎ Agregado:

Peso específico = 2.60 gr/cm³.

✎ Agua:

Peso específico = 1.00 gr/cm³.

De la Figura N° 5 y Cuadro N° 14, se determina el volumen de pasta para un 20% de vacíos para una mezcla de concreto poroso ligeramente compactada, dando como resultado 22.90%.

Por lo tanto:

Volumen de pasta: $V_p = 0.229 \text{ m}^3$.

Volumen de Vacíos: $V_v = 0.20 \text{ m}^3$.

$\Sigma = 0.429 \text{ m}^3$.

Volumen de grava: $V_g = 1 - 0.429 = 0.571 \text{ m}^3$.

Peso del agregado: $g = 1484.60 \text{ kg}$.

Reemplazando en 02.02:

$$0.2290 = \frac{c}{3.15 \times 1000} + \frac{0.38c}{1000}$$

Peso del cemento: $c = 328.33 \text{ kg}$.

Volumen de cemento: $V_c = 0.1042 \text{ m}^3$.

Reemplazando en 02.01:

$a = 0.38 * c$

Peso del agua: $a = 124.77 \text{ kg}$.

Volumen de agua: $V_a = 0.1248 \text{ m}^3$.



Finalmente los pesos por m³ son:

- Peso de cemento: $c = 328.33 \text{ kg.}$
- Peso de agregado: $g = 1484.60 \text{ kg.}$
- Peso de agua: $a = 124.77 \text{ kg.}$
 $\Sigma = 1937.70 \text{ kg.}$

Finalmente los volúmenes por m³ son:

- Volumen de cemento: $V_c = 0.1042 \text{ m}^3.$
- Volumen de agregado: $V_g = 0.571 \text{ m}^3.$
- Volumen de agua: $V_a = 0.1248 \text{ m}^3.$
 $\Sigma = 0.80 \text{ m}^3.$

Porcentaje de vacíos = $(1 - 0.80) \times 100 = 20 \%$.

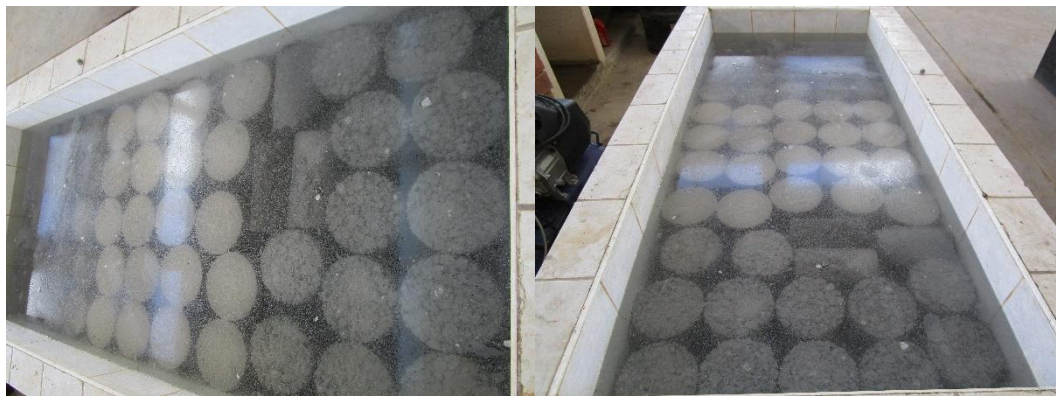
2.7. Elaboración y Curado de Probetas de Concreto Poroso.

El procedimiento para la elaboración y curado de muestras de concreto en el laboratorio bajo estricto control de materiales y condiciones de ensayo, usando concreto compactado por apisonado o vibración, se realizó de acuerdo al manual de ensayo de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC E 702 y la Norma Técnica Peruana NTP N° 339.183.



Fotografía N° 6 Elaboración de probetas de concreto poroso.

Fuente: Elaboración Propia.



Fotografía N° 7 Curado de probetas de concreto poroso.

Fuente: Elaboración Propia.

2.8. Refrentado de Cilindros de Concreto Poroso (Capping)

El procedimiento para el refrentado de cilindros de concreto poroso (Capping) con yeso de alta resistencia, se realizó de acuerdo al manual de ensayo de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC E 703 y la Norma Técnica Peruana NTP N° 339.037.



Fotografía N° 8 Capping de probetas de concreto poroso.

Fuente: Elaboración Propia.

2.9. Ensayos de Concreto Poroso.

2.9.1. Ensayos de Concreto Poroso en Estado Fresco.

2.9.1.1. Peso Unitario y Contenido de Aire.

El peso unitario y contenido de aire del concreto poroso, se realizó de acuerdo al manual de ensayo de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC E 714 y la Norma Técnica Peruana NTP N° 339.046; con el fin de verificar la correcta dosificación y rendimiento de los materiales, el contenido de cemento, así como el contenido de aire.

El peso unitario del concreto poroso fresco nos permite formar un juicio inmediato de la calidad de la composición granulométrica y de la compactación del concreto, siendo un importante medio de control del concreto.



Fotografía N° 9 Ensayo de peso unitario y contenido de aire del concreto poroso.

Fuente: Elaboración Propia.

2.9.1.2. Asentamiento (SLUMP).

El asentamiento del concreto poroso (Slump), se realizó de acuerdo al manual de ensayo de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC E 705 y la Norma Técnica Peruana NTP N° 339.035; resultando el Slump cero ya que es característica especial de este tipo de concretos.



Fotografía N° 10 Ensayo de asentamiento del concreto poroso (Slump).

Fuente: Elaboración Propia.

2.9.2. Ensayos de Concreto Poroso en Estado Endurecido.

2.9.2.1. Resistencia a la Compresión.

La resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto poroso de 15 cm de diámetro y 30 cm de alto, se realizó de acuerdo al manual de ensayo de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC E 704 y la Norma Técnica Peruana NTP N° 339.034.

Este ensayo se realizó a los 7, 14 y 28 días de edad del concreto poroso, lo que nos permite conocer la primera propiedad muy importante para nuestra investigación, la resistencia a la compresión.



Fotografía N° 11 Ensayo de resistencia a la compresión del concreto poroso

Fuente: Elaboración Propia.

2.9.2.2. Permeabilidad.

La permeabilidad se determinó de acuerdo a la norma ACI 522R-10 en especímenes cilíndricos de concreto poroso de 10 cm de diámetro y 20 cm de alto. Para ello se utilizó un permeámetro de carga variable de acuerdo con la ley de Darcy.

Este ensayo se realizó a los 28 días de edad del concreto poroso, lo que nos permite conocer la segunda propiedad muy importante para nuestra investigación, el coeficiente de permeabilidad.



Fotografía N° 12 Ensayo de permeabilidad del concreto poroso.

Fuente: Elaboración Propia.



El cálculo del coeficiente permeabilidad fue realizado utilizando la ley de Darcy.

$$k = \frac{L}{t} \times \frac{a}{A} \times \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

Dónde:

- k: Coeficiente de permeabilidad (cm/s).
- L: Longitud de la muestra (cm).
- A: Área de la muestra (cm²).
- a: Área de la tubería de carga (cm²).
- t: Tiempo en demora en pasar de h_1 a h_2 (s).
- h_1 : Altura de la columna de agua medida del nivel de referencia (cm).
- h_2 : Altura de tubería de salida del agua con respecto al nivel de referencia (cm).

2.9.2.3. Contenido de Vacíos.

El contenido de vacíos en concreto poroso en estado endurecido se determinó mediante el concepto de volumen desalojado de mecánica de fluidos, este procedimiento fue elegido por los vacíos que presenta nuestras muestras (Flores & Pacompia, 2015).



Fotografía N° 13 Ensayo de contenido de vacíos.

Fuente: Elaboración Propia.



2.10. Resultados de Ensayos de Concreto Poroso.

En los siguientes cuadros se resumen los resultados de los ensayos en estado fresco y endurecido de la resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto poroso.

2.10.1. Resultados de Ensayos en Estado Fresco.

2.10.1.1. Peso Unitario.

Cuadro N° 16 Resultados del ensayo de peso unitario.

Diseño		Descripción		
Mezcla	Muestra	Masa de concreto (kg)	Volumen del molde (m ³)	Peso unitario del concreto poroso (kg/m ³)
15%	MCP15% - 1	10.068	0.005	1994.06
	MCP15% - 2	10.273	0.005	2034.66
	MCP15% - 3	10.511	0.005	2081.80
16%	MCP16% - 1	10.149	0.005	2010.10
	MCP16% - 2	10.065	0.005	1993.46
	MCP16% - 3	10.205	0.005	2021.19
17%	MCP17% - 1	10.010	0.005	1982.57
	MCP17% - 2	10.123	0.005	2004.95
	MCP17% - 3	9.984	0.005	1977.42
18%	MCP18% - 1	9.774	0.005	1935.83
	MCP18% - 2	9.887	0.005	1958.21
	MCP18% - 3	10.011	0.005	1982.77
19%	MCP19% - 1	9.837	0.005	1948.31
	MCP19% - 2	9.942	0.005	1969.10
	MCP19% - 3	9.859	0.005	1952.66
20%	MCP20% - 1	9.747	0.005	1930.48
	MCP20% - 2	9.573	0.005	1896.02
	MCP20% - 3	9.670	0.005	1915.23

Fuente: Elaboración Propia.



2.10.1.2. Contenido de Aire.

Cuadro N° 17 Resultados del ensayo de contenido de aire en estado fresco.

Diseño		Descripción				
Mezcla	Muestra	Masa total de todos los materiales de la mezcla (kg)	Volumen absoluto de cada ingrediente (m ³)	Densidad teórica del concreto (kg/m ³)	Peso unitario del concreto (kg/m ³)	Porcentaje de vacíos (%)
15%	MCP15% - 1	2035.08	0.85	2394.21	1994.06	16.71%
	MCP15% - 2	2035.08	0.85	2394.21	2034.66	15.02%
	MCP15% - 3	2035.08	0.85	2394.21	2081.80	13.05%
16%	MCP16% - 1	2015.60	0.84	2399.52	2010.10	16.23%
	MCP16% - 2	2015.60	0.84	2399.52	1993.46	16.92%
	MCP16% - 3	2015.60	0.84	2399.52	2021.19	15.77%
17%	MCP17% - 1	1996.13	0.83	2404.98	1982.57	17.56%
	MCP17% - 2	1996.13	0.83	2404.98	2004.95	16.63%
	MCP17% - 3	1996.13	0.83	2404.98	1977.42	17.78%
18%	MCP18% - 1	1976.65	0.82	2410.55	1935.83	19.69%
	MCP18% - 2	1976.65	0.82	2410.55	1958.21	18.76%
	MCP18% - 3	1976.65	0.82	2410.55	1982.77	17.75%
19%	MCP19% - 1	1957.18	0.81	2416.27	1948.31	19.37%
	MCP19% - 2	1957.18	0.81	2416.27	1969.10	18.51%
	MCP19% - 3	1957.18	0.81	2416.27	1952.66	19.19%
20%	MCP20% - 1	1937.70	0.80	2422.13	1930.48	20.30%
	MCP20% - 2	1937.70	0.80	2422.13	1896.02	21.72%
	MCP20% - 3	1937.70	0.80	2422.13	1915.23	20.93%

Fuente: Elaboración Propia.



2.10.2. Resultado de Ensayos en Estado Endurecido.

2.10.2.1. Resistencia a la Compresión.

En las siguientes tablas se resumen los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión (f'_c), realizados en especímenes cilíndricos de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.

Cuadro N° 18 Resultados de ensayos de resistencia a la compresión 7 días.

Diseño		Descripción			
Mezcla	Muestra	d (cm)	L (cm)	P (kg)	fsp (kg-f/cm ²)
15%	MCP15% - 1	15.00	30.10	31530	178.40
	MCP15% - 2	15.10	30.15	26550	150.20
	MCP15% - 3	15.00	30.05	20590	116.50
	MCP15% - 4	15.05	30.10	33900	191.80
16%	MCP16% - 1	15.05	30.20	48510	274.50
	MCP16% - 2	15.05	30.05	37480	212.10
	MCP16% - 3	15.05	30.05	24850	140.60
	MCP16% - 4	15.05	30.05	33590	190.10
17%	MCP17% - 1	15.00	30.10	29186	165.10
	MCP17% - 2	15.10	30.15	29216	165.30
	MCP17% - 3	15.10	30.10	30080	169.80
	MCP17% - 4	15.05	30.05	26366	149.20
18%	MCP18% - 1	15.00	30.10	17040	96.40
	MCP18% - 2	15.05	30.10	23120	130.80
	MCP18% - 3	15.00	30.05	16810	95.20
	MCP18% - 4	15.05	30.20	23270	131.70
19%	MCP19% - 1	15.00	30.10	24970	141.30
	MCP19% - 2	15.10	30.05	20180	114.20
	MCP19% - 3	15.00	30.10	22130	125.20
	MCP19% - 4	15.00	30.05	18130	102.60
20%	MCP20% - 1	15.05	30.05	16160	91.50
	MCP20% - 2	15.05	30.10	16230	91.90
	MCP20% - 3	15.10	30.05	16270	92.00
	MCP20% - 4	15.00	30.15	20130	113.90

Fuente: Elaboración Propia.



Cuadro N° 19 Resultados de ensayos de resistencia a la compresión 14 días.

Diseño		Descripción			
Mezcla	Muestra	d (cm)	L (cm)	P (kg)	fsp (kg-f/cm ²)
15%	MCP15% - 5	15.05	30.05	25620.00	145.00
	MCP15% - 6	15.05	30.10	38980.00	220.60
	MCP15% - 7	15.00	30.00	40550.00	229.50
	MCP15% - 8	15.05	30.15	38970.00	220.50
16%	MCP16% - 5	15.05	30.15	41650.00	235.70
	MCP16% - 6	15.05	30.10	42430.00	240.10
	MCP16% - 7	15.10	30.10	38990.00	220.60
	MCP16% - 8	15.10	30.05	35170.00	199.00
17%	MCP17% - 5	15.10	30.15	27480.00	155.50
	MCP17% - 6	15.05	30.05	17960.00	101.70
	MCP17% - 7	15.05	30.10	34840.00	197.20
	MCP17% - 8	15.05	30.15	33910.00	191.90
18%	MCP18% - 5	15.05	30.05	33240.00	188.10
	MCP18% - 6	15.05	30.10	25380.00	143.60
	MCP18% - 7	15.05	30.15	26910.00	152.30
	MCP18% - 8	15.05	30.05	17150.00	97.50
19%	MCP19% - 5	15.10	30.10	21160.00	119.80
	MCP19% - 6	15.00	30.20	23030.00	130.30
	MCP19% - 7	15.00	30.15	22080.00	125.00
	MCP19% - 8	15.10	30.05	25170.00	142.50
20%	MCP20% - 5	15.05	30.10	24440.00	138.30
	MCP20% - 6	15.00	30.05	21680.00	122.70
	MCP20% - 7	15.05	30.10	23200.00	131.30
	MCP20% - 8	15.00	30.15	19430.00	109.90

Fuente: Elaboración Propia.



Cuadro N° 20 Resultados de ensayos de resistencia a la compresión 28 días.

Diseño		Descripción			
Mezcla	Muestra	d (cm)	L (cm)	P (kg)	fsp (kg-f/cm ²)
15%	MCP15% - 9	15.05	30.10	49110.00	277.90
	MCP15% - 10	15.00	30.15	47070.00	266.40
	MCP15% - 11	15.05	30.05	38130.00	215.80
	MCP15% - 12	15.00	30.00	42380.00	239.80
16%	MCP16% - 9	15.00	30.15	41270.00	233.50
	MCP16% - 10	15.05	30.20	34230.00	193.70
	MCP16% - 11	15.05	30.15	43900.00	248.40
	MCP16% - 12	15.00	30.00	38180.00	216.00
17%	MCP17% - 9	15.10	30.05	42930.00	242.90
	MCP17% - 10	15.10	30.20	41690.00	235.90
	MCP17% - 11	15.05	30.20	37480.00	212.10
	MCP17% - 12	15.05	30.05	35330.00	199.90
18%	MCP18% - 9	15.10	30.10	30560.00	173.00
	MCP18% - 10	15.05	30.00	31090.00	176.00
	MCP18% - 11	15.05	30.05	31530.00	178.40
	MCP18% - 12	15.05	30.00	22670.00	128.30
19%	MCP19% - 9	15.00	30.05	27140.00	153.60
	MCP19% - 10	15.05	30.15	22380.00	126.60
	MCP19% - 11	15.05	30.10	26510.00	150.00
	MCP19% - 12	15.00	30.10	27070.00	153.20
20%	MCP20% - 9	15.05	30.10	24580.00	139.10
	MCP20% - 10	15.05	30.15	37240.00	201.70
	MCP20% - 11	15.05	30.10	29830.00	168.80
	MCP20% - 12	15.05	30.20	24390.00	138.00

Fuente: Elaboración Propia.



2.10.2.2. Permeabilidad.

Cuadro N° 21 Resultados de ensayos de permeabilidad.

Diseño		Descripción						
Mezcla	Muestra	t (seg)	a (cm ²)	A (cm ²)	L (cm)	h1 (cm)	h2 (cm)	k (cm/seg)
15%	MCP15% - 1	27.95	74.66	78.54	21.00	0.40	0.20	0.50
	MCP15% - 2	27.97	74.66	78.54	20.90	0.40	0.20	0.49
	MCP15% - 3	27.08	74.66	78.54	20.50	0.40	0.20	0.50
	MCP15% - 4	27.88	74.66	78.54	20.10	0.40	0.20	0.48
	MCP15% - 5	27.60	74.66	78.54	20.35	0.40	0.20	0.49
	MCP15% - 6	28.03	74.66	78.54	20.00	0.40	0.20	0.47
16%	MCP16% - 1	21.10	74.66	78.54	20.05	0.40	0.20	0.63
	MCP16% - 2	20.74	74.66	78.54	20.10	0.40	0.20	0.64
	MCP16% - 3	20.35	74.66	78.54	20.55	0.40	0.20	0.67
	MCP16% - 4	20.29	74.66	78.54	20.35	0.40	0.20	0.66
	MCP16% - 5	20.63	74.66	78.54	20.25	0.40	0.20	0.65
	MCP16% - 6	20.77	74.66	78.54	20.85	0.40	0.20	0.66
17%	MCP17% - 1	15.85	74.66	78.54	20.05	0.40	0.20	0.83
	MCP17% - 2	16.49	74.66	78.54	20.10	0.40	0.20	0.80
	MCP17% - 3	16.34	74.66	78.54	20.05	0.40	0.20	0.81
	MCP17% - 4	16.28	74.66	78.54	20.05	0.40	0.20	0.81
	MCP17% - 5	16.56	74.66	78.54	20.30	0.40	0.20	0.81
	MCP17% - 6	17.00	74.66	78.54	20.05	0.40	0.20	0.78
18%	MCP18% - 1	12.51	74.66	78.54	20.05	0.40	0.20	1.06
	MCP18% - 2	12.87	74.66	78.54	20.05	0.40	0.20	1.03
	MCP18% - 3	12.00	74.66	78.54	20.00	0.40	0.20	1.10
	MCP18% - 4	12.19	74.66	78.54	20.05	0.40	0.20	1.08
	MCP18% - 5	12.44	74.66	78.54	20.10	0.40	0.20	1.06
	MCP18% - 6	12.40	74.66	78.54	20.05	0.40	0.20	1.07
19%	MCP19% - 1	8.75	74.66	78.54	20.05	0.40	0.20	1.51
	MCP19% - 2	8.78	74.66	78.54	20.05	0.40	0.20	1.50
	MCP19% - 3	8.56	74.66	78.54	20.05	0.40	0.20	1.54
	MCP19% - 4	8.74	74.66	78.54	20.10	0.40	0.20	1.52
	MCP19% - 5	8.10	74.66	78.54	20.05	0.40	0.20	1.63
	MCP19% - 6	8.64	74.66	78.54	20.10	0.40	0.20	1.53
20%	MCP20% - 1	5.76	74.66	78.54	20.05	0.40	0.20	2.29
	MCP20% - 2	5.60	74.66	78.54	20.15	0.40	0.20	2.37
	MCP20% - 3	5.72	74.66	78.54	20.05	0.40	0.20	2.31
	MCP20% - 4	5.64	74.66	78.54	20.10	0.40	0.20	2.35
	MCP20% - 5	5.76	74.66	78.54	20.05	0.40	0.20	2.29
	MCP20% - 6	6.00	74.66	78.54	21.00	0.40	0.20	2.31

Fuente: Elaboración Propia.



2.10.2.3. Contenido de Vacíos.

Cuadro N° 22 Resultados del ensayo de contenido de aire en estado endurecido.

Diseño		Descripción						
Mezcla	Muestra	Volumen inicial (Vi)	Volumen final (Vf)	Diámetro de la probeta (d)	Altura de la probeta (h)	Volumen de la probeta sin espacios de vacíos (Vc)	Volumen de la probeta con espacios de vacíos (Vt)	Porcentaje de vacíos (%)
15%	MCP15% - 1	2000.00	3404.40	10.00	21.00	1404.40	1649.34	14.85%
	MCP15% - 2	2000.00	3385.60	10.00	20.90	1385.60	1641.48	15.59%
	MCP15% - 3	2000.00	3363.80	10.00	20.50	1363.80	1610.07	15.30%
	MCP15% - 4	2000.00	3362.40	10.00	20.20	1362.40	1586.50	14.13%
	MCP15% - 5	2000.00	3365.80	10.00	20.35	1365.80	1598.29	14.55%
	MCP15% - 6	2000.00	3321.10	10.00	20.00	1321.10	1570.80	15.90%
16%	MCP16% - 1	2000.00	3320.50	10.00	20.05	1320.50	1574.72	16.14%
	MCP16% - 2	2000.00	3325.30	10.00	20.10	1325.30	1578.65	16.05%
	MCP16% - 3	2000.00	3340.70	10.00	20.55	1340.70	1613.99	16.93%
	MCP16% - 4	2000.00	3322.70	10.00	20.35	1322.70	1598.29	17.24%
	MCP16% - 5	2000.00	3322.50	10.00	20.25	1322.50	1590.43	16.85%
	MCP16% - 6	2000.00	3379.60	10.00	20.85	1379.60	1637.56	15.75%
17%	MCP17% - 1	2000.00	3307.60	10.00	20.05	1307.60	1574.72	16.96%
	MCP17% - 2	2000.00	3308.60	10.00	20.10	1308.60	1578.65	17.11%
	MCP17% - 3	2000.00	3307.00	10.00	20.05	1307.00	1574.72	17.00%
	MCP17% - 4	2000.00	3306.10	10.00	20.05	1306.10	1574.72	17.06%
	MCP17% - 5	2000.00	3307.50	10.00	20.30	1307.50	1594.36	17.99%
	MCP17% - 6	2000.00	3303.80	10.00	20.05	1303.80	1574.72	17.20%
18%	MCP18% - 1	2000.00	3283.70	10.00	20.05	1283.70	1574.72	18.48%
	MCP18% - 2	2000.00	3289.60	10.00	20.05	1289.60	1574.72	18.11%
	MCP18% - 3	2000.00	3290.40	10.00	20.00	1290.40	1570.80	17.85%
	MCP18% - 4	2000.00	3293.30	10.00	20.05	1293.30	1574.72	17.87%
	MCP18% - 5	2000.00	3294.10	10.00	20.10	1294.10	1578.65	18.02%
	MCP18% - 6	2000.00	3291.10	10.00	20.05	1291.10	1574.72	18.01%
19%	MCP19% - 1	2000.00	3273.00	10.00	20.05	1273.00	1574.72	19.16%
	MCP19% - 2	2000.00	3273.80	10.00	20.05	1273.80	1574.72	19.11%
	MCP19% - 3	2000.00	3268.60	10.00	20.05	1268.60	1574.72	19.44%
	MCP19% - 4	2000.00	3265.70	10.00	20.10	1265.70	1578.65	19.82%
	MCP19% - 5	2000.00	3262.90	10.00	20.05	1262.90	1574.72	19.80%
	MCP19% - 6	2000.00	3272.10	10.00	20.10	1272.10	1578.65	19.42%
20%	MCP20% - 1	2000.00	3257.90	10.00	20.05	1257.90	1574.72	20.12%
	MCP20% - 2	2000.00	3256.70	10.00	20.15	1256.70	1582.58	20.59%
	MCP20% - 3	2000.00	3265.10	10.00	20.05	1265.10	1574.72	19.66%
	MCP20% - 4	2000.00	3259.90	10.00	20.10	1259.90	1578.65	20.19%
	MCP20% - 5	2000.00	3261.30	10.00	20.05	1261.30	1574.72	19.90%
	MCP20% - 6	2000.00	3267.60	10.00	21.00	1267.60	1649.34	23.14%

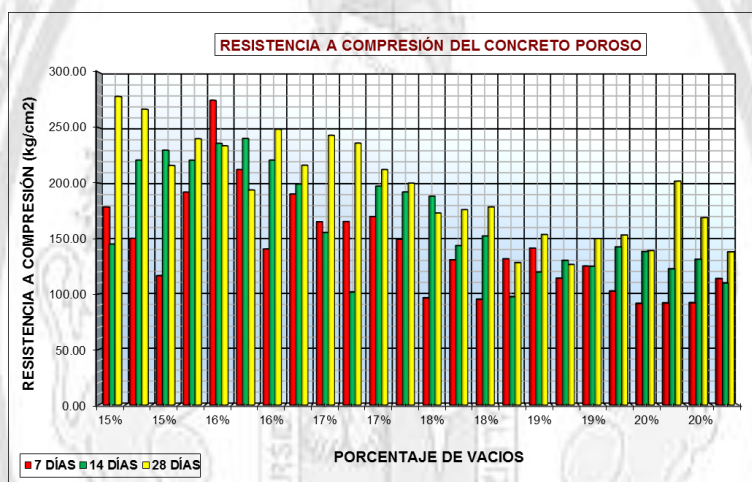
Fuente: Elaboración Propia.

2.11. Análisis de Resultados.

2.11.1. Procesamiento de Datos Considerando los Datos Atípicos.

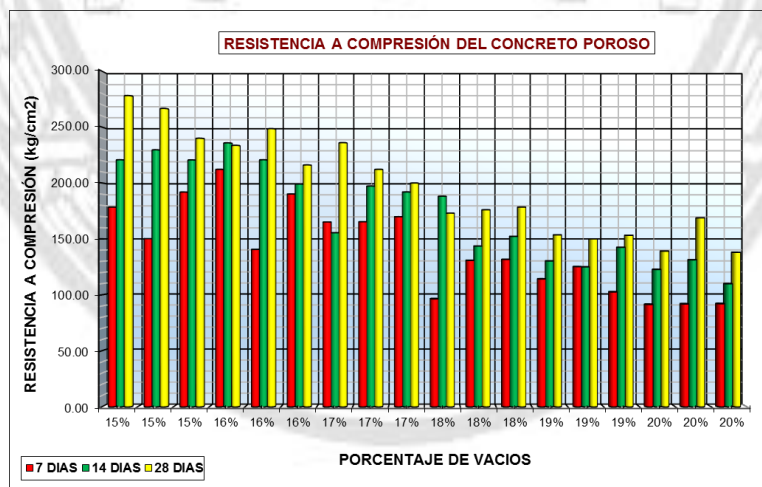
Para el procesamiento de datos se procederá con la identificación de datos atípico, para lo cual hay dos herramientas básicas: la representación gráfica y la prueba estadística. (Murphy & Lau, 2008). Para desarrollar el análisis de datos, es necesario tener un diseño balanceado, es decir el mismo número de repeticiones por cada tratamiento.

Figura N° 6 Datos muestrales atípicos de resistencia a la compresión.



Fuente: Elaboración propio.

Figura N° 7 Datos muestrales de resistencia a la compresión.



Fuente: Elaboración propio.



Cuadro N° 23 Resultados muestrales del ensayo de resistencia a la compresión 7 días.

Diseño		Descripción			
Mezcla	Muestra	d (cm)	L (cm)	P (kg)	fsp (kg-f/cm ²)
15%	MCP15% - 1	15.00	30.10	31530	178.40
	MCP15% - 2	15.10	30.15	26550	150.20
	MCP15% - 4	15.05	30.10	33900	191.80
16%	MCP16% - 2	15.05	30.05	37480	212.10
	MCP16% - 3	15.05	30.05	24850	140.60
	MCP16% - 4	15.05	30.05	33590	190.10
17%	MCP17% - 1	15.00	30.10	29186	165.10
	MCP17% - 2	15.10	30.15	29216	165.30
	MCP17% - 3	15.10	30.10	30080	169.80
18%	MCP18% - 1	15.00	30.10	17040	96.40
	MCP18% - 2	15.05	30.10	23120	130.80
	MCP18% - 4	15.05	30.20	23270	131.70
19%	MCP19% - 2	15.10	30.05	20180	114.20
	MCP19% - 3	15.00	30.10	22130	125.20
	MCP19% - 4	15.00	30.05	18130	102.60
20%	MCP20% - 1	15.05	30.05	16160	91.50
	MCP20% - 2	15.05	30.10	16230	91.90
	MCP20% - 3	15.10	30.05	16270	92.00

Fuente: Elaboración Propio.



Cuadro N° 24 Resultados muestrales del ensayo de resistencia a la compresión 14 días.

Diseño		Descripción			
Mezcla	Muestra	d (cm)	L (cm)	P (kg)	fsp (kg-f/cm ²)
15%	MCP15% - 6	15.05	30.10	38980.00	220.60
	MCP15% - 7	15.00	30.00	40550.00	229.50
	MCP15% - 8	15.05	30.15	38970.00	220.50
16%	MCP16% - 5	15.05	30.15	41650.00	235.70
	MCP16% - 7	15.10	30.10	38990.00	220.60
	MCP16% - 8	15.10	30.05	35170.00	199.00
17%	MCP17% - 5	15.10	30.15	27480.00	155.50
	MCP17% - 7	15.05	30.10	34840.00	197.20
	MCP17% - 8	15.05	30.15	33910.00	191.90
18%	MCP18% - 5	15.05	30.05	33240.00	188.10
	MCP18% - 6	15.05	30.10	25380.00	143.60
	MCP18% - 7	15.05	30.15	26910.00	152.30
19%	MCP19% - 6	15.00	30.20	23030.00	130.30
	MCP19% - 7	15.00	30.15	22080.00	125.00
	MCP19% - 8	15.10	30.05	25170.00	142.50
20%	MCP20% - 6	15.00	30.05	21680.00	122.70
	MCP20% - 7	15.05	30.10	23200.00	131.30
	MCP20% - 8	15.00	30.15	19430.00	109.90

Fuente: Elaboración Propia.



Cuadro N° 25 Resultados muestrales del ensayo de resistencia a la compresión 28 días.

Diseño		Descripción			
Mezcla	Muestra	d (cm)	L (cm)	P (kg)	fsp (kg-f/cm ²)
15%	MCP15% - 9	15.05	30.10	49110.00	277.90
	MCP15% - 10	15.00	30.15	47070.00	266.40
	MCP15% - 12	15.00	30.00	42380.00	239.80
16%	MCP16% - 9	15.00	30.15	41270.00	233.50
	MCP16% - 11	15.05	30.15	43900.00	248.40
	MCP16% - 12	15.00	30.00	38180.00	216.00
17%	MCP17% - 10	15.10	30.20	41690.00	235.90
	MCP17% - 11	15.05	30.20	37480.00	212.10
	MCP17% - 12	15.05	30.05	35330.00	199.90
18%	MCP18% - 9	15.10	30.10	30560.00	173.00
	MCP18% - 10	15.05	30.00	31090.00	176.00
	MCP18% - 11	15.05	30.05	31530.00	178.40
19%	MCP19% - 9	15.00	30.05	27140.00	153.60
	MCP19% - 11	15.05	30.10	26510.00	150.00
	MCP19% - 12	15.00	30.10	27070.00	153.20
20%	MCP20% - 9	15.05	30.10	24580.00	139.10
	MCP20% - 11	15.05	30.10	29830.00	168.80
	MCP20% - 12	15.05	30.20	24390.00	138.00

Fuente: Elaboración Propia.



2.11.2. Análisis Estadístico.

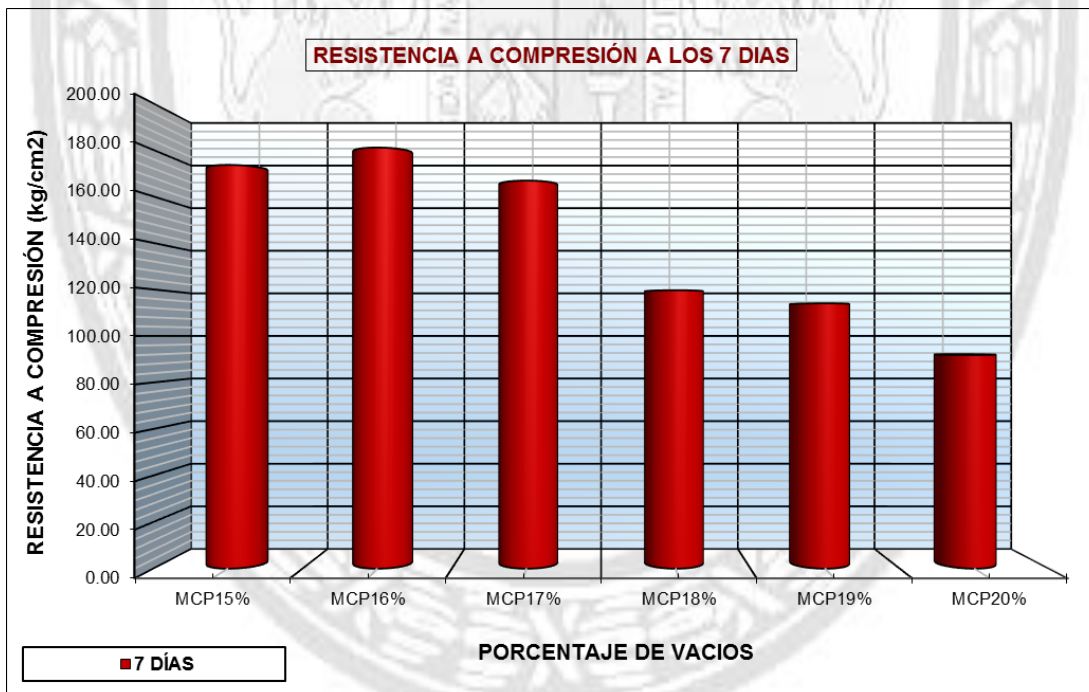
2.11.2.1. Análisis Estadístico: Resistencia a la compresión.

Cuadro N° 26 Análisis estadístico de resistencia a la compresión 7 días.

Muestra	Media Aritmética kg/cm ²	Varianza (kg-f/cm ²) ²	Desviación Estándar kg-f/cm ²	Coficiente de Variación %
MCP15%	173.47	450.89	21.23	12.24%
MCP16%	180.93	1341.08	36.62	20.24%
MCP17%	166.73	7.06	2.66	1.59%
MCP18%	119.65	404.11	20.10	16.80%
MCP19%	114.00	127.72	11.30	9.91%
MCP20%	91.79	0.10	0.31	0.34%

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 8 Análisis estadístico de resistencia a la compresión 7 días.



Fuente: Elaboración propio.

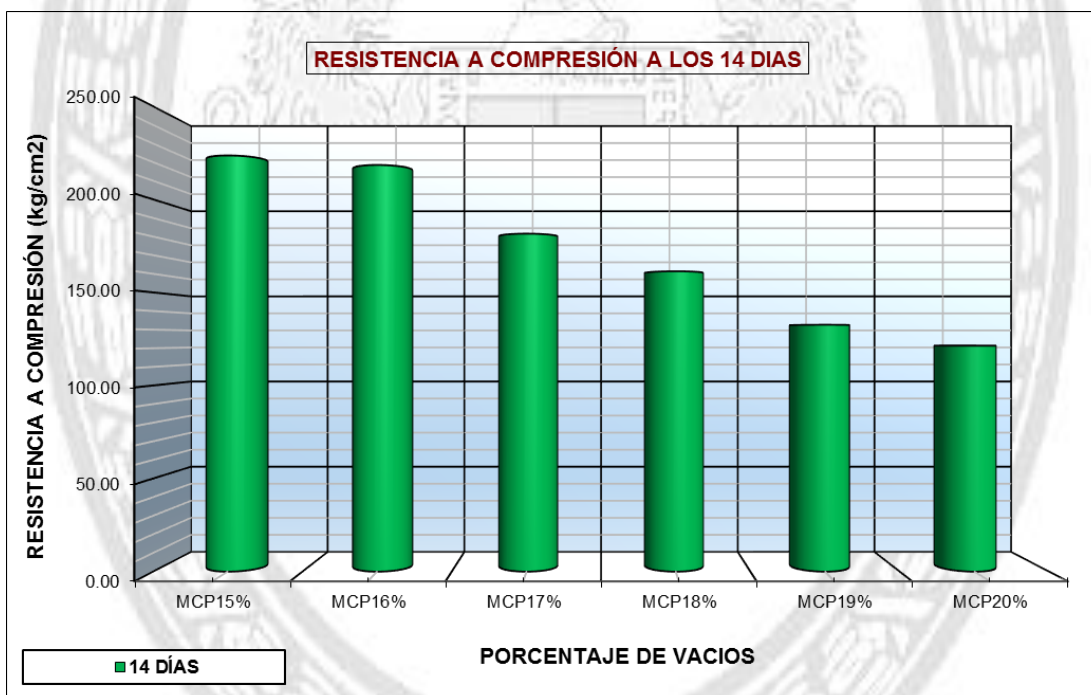


Cuadro N° 27 Análisis estadístico de resistencia a la compresión 14 días.

Muestra	Media Aritmética kg/cm ²	Varianza (kg-f/cm ²) ²	Desviación Estándar kg-f/cm ²	Coficiente de Variación %
MCP15%	223.53	26.70	5.17	2.31%
MCP16%	218.43	340.24	18.45	8.44%
MCP17%	181.53	515.32	22.70	12.50%
MCP18%	161.33	556.26	23.59	14.62%
MCP19%	132.60	80.53	8.97	6.77%
MCP20%	121.30	115.96	10.77	8.88%

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 9 Análisis estadístico de resistencia a la compresión 14 días.



Fuente: Elaboración propio.

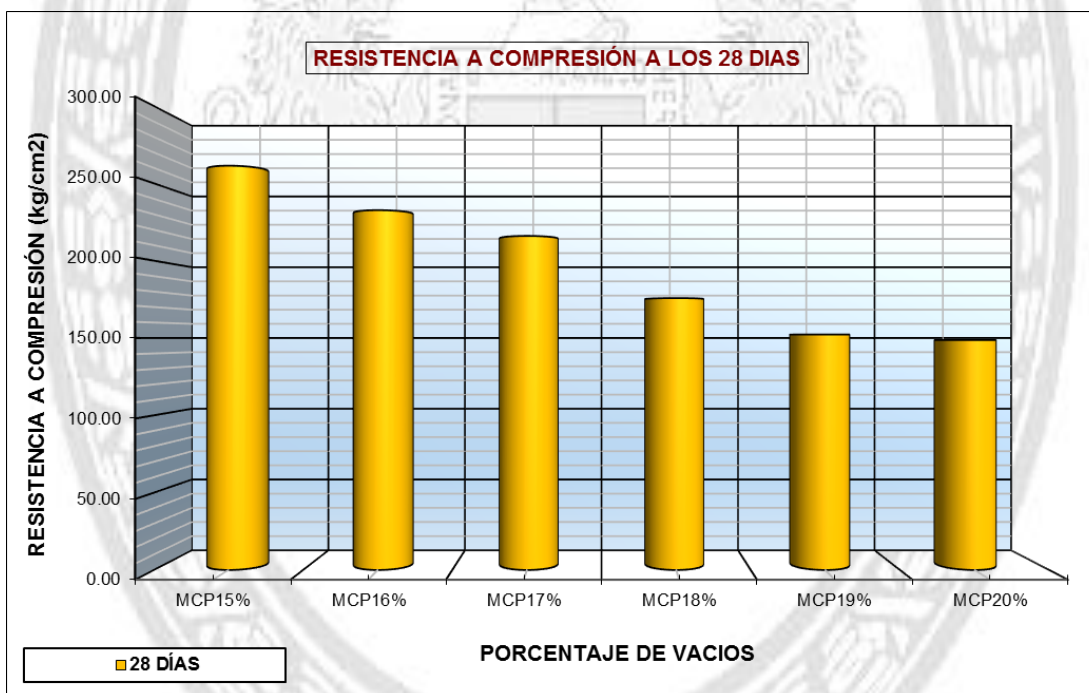


Cuadro N° 28 Análisis estadístico de resistencia a la compresión 28 días.

Muestra	Media Aritmética kg/cm ²	Varianza (kg-f/cm ²) ²	Desviación Estándar kg-f/cm ²	Coficiente de Variación %
MCP15%	261.37	381.90	19.54	7.48%
MCP16%	232.63	263.00	16.22	6.97%
MCP17%	215.97	335.21	18.31	8.48%
MCP18%	175.80	7.32	2.71	1.54%
MCP19%	152.27	3.89	1.97	1.30%
MCP20%	148.63	305.32	17.47	11.76%

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 10 Análisis estadístico de resistencia a la compresión 28 días.



Fuente: Elaboración propio.



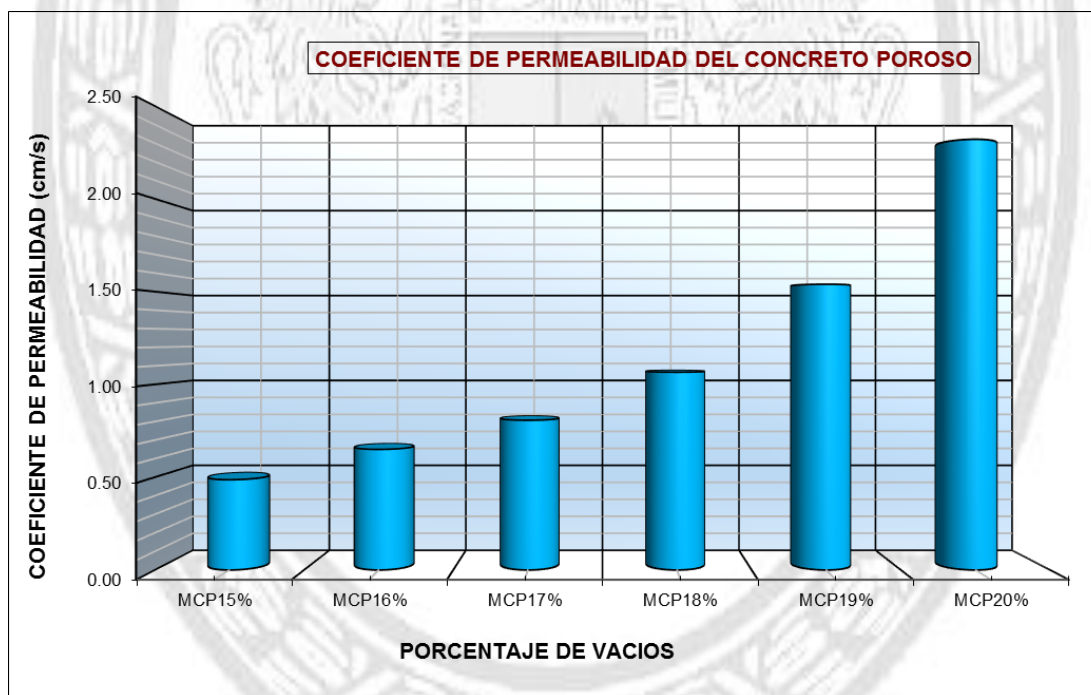
2.11.2.2. Análisis Estadístico: Coeficiente de Permeabilidad.

Cuadro N° 29 Análisis estadístico del coeficiente de permeabilidad.

Muestra	Media Aritmética kg/cm ²	Varianza (kg-f/cm ²) ²	Desviación Estándar kg-f/cm ²	Coeficiente de Variación %
MCP15%	0.49	0.0001	0.01	2.36%
MCP16%	0.65	0.0002	0.02	2.38%
MCP17%	0.81	0.0003	0.02	2.24%
MCP18%	1.07	0.0006	0.02	2.30%
MCP19%	1.54	0.0022	0.05	3.06%
MCP20%	2.32	0.0010	0.03	1.37%

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 11 Análisis estadístico del coeficiente de permeabilidad.



Fuente: Elaboración propio.



2.11.2.3. Análisis Estadístico: Contenido de Vacíos.

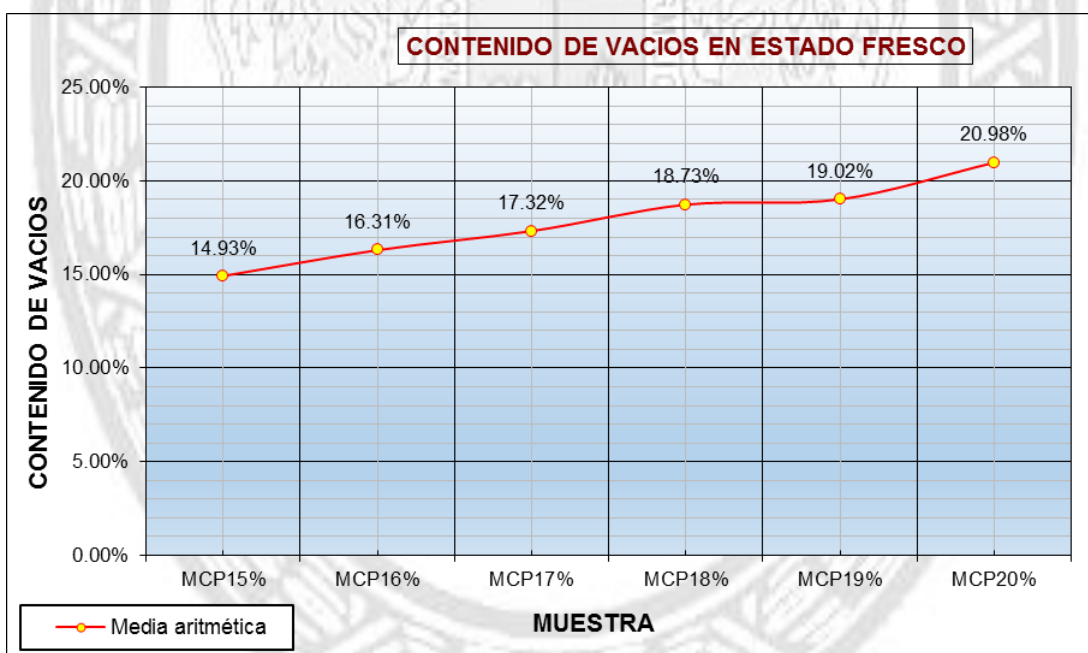
Análisis Estadístico: Contenido de Vacíos en Estado Fresco.

Cuadro N° 30 Análisis estadístico de contenido de vacíos en estado fresco.

Muestra	Media aritmética	Varianza	Desviación Estándar	Coficiente de Variación
MCP15%	14.93%	0.0003	0.02	12.29%
MCP16%	16.31%	0.0000	0.01	3.57%
MCP17%	17.32%	0.0000	0.01	3.51%
MCP18%	18.73%	0.0001	0.01	5.20%
MCP19%	19.02%	0.0000	0.00	2.39%
MCP20%	20.98%	0.0001	0.01	3.40%

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 12 Análisis estadístico de contenido de vacíos en estado fresco.



Fuente: Elaboración propio.



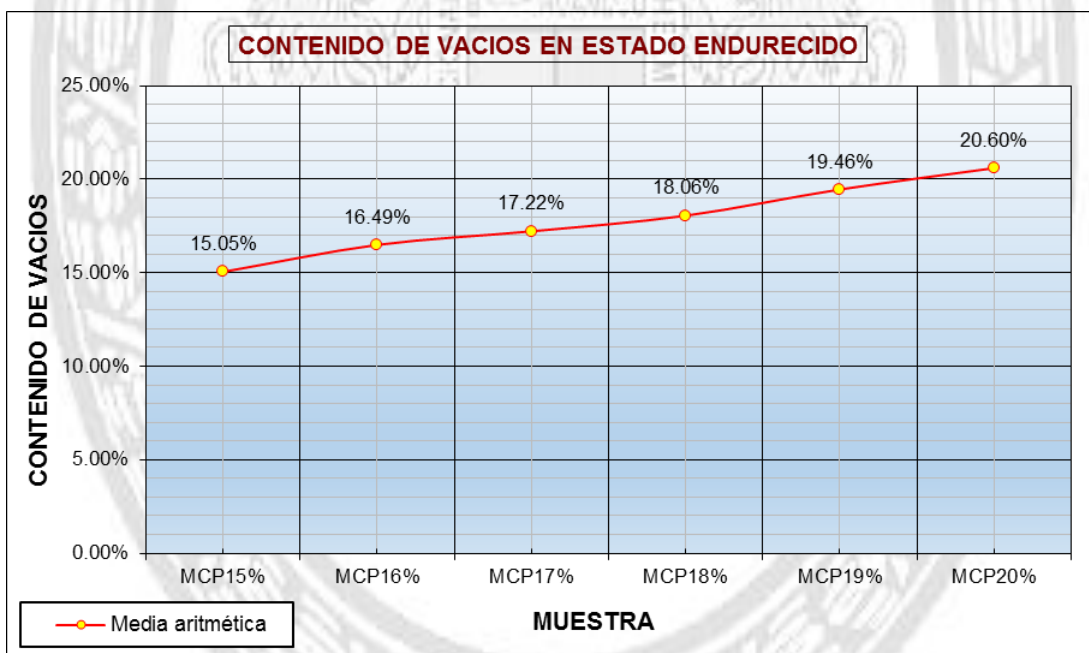
Análisis Estadístico: Contenido de Vacíos en Estado Endurecido.

Cuadro N° 31 Análisis estadístico de contenido de vacíos estado endurecido

Muestra	Media aritmética	Varianza	Desviación Estándar	Coficiente de Variación
MCP15%	15.05%	0.0000	0.01	4.42%
MCP16%	16.49%	0.0000	0.01	3.58%
MCP17%	17.22%	0.0000	0.00	2.25%
MCP18%	18.06%	0.0000	0.00	1.27%
MCP19%	19.46%	0.0000	0.00	1.57%
MCP20%	20.60%	0.0002	0.01	6.23%

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 13 Análisis estadístico de contenido de vacíos estado endurecido



Fuente: Elaboración propio.



2.11.3. Diseño Experimental de la Investigación.

El diseño de experimentos consiste en determinar cuáles pruebas se deben realizar y de qué manera, para obtener datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan responder las interrogantes planteadas, y de esa manera clarificar los aspectos inciertos de un proceso, resolver un problema o lograr mejoras. (Gutiérrez & De la Vara, 2008).

2.11.3.1. Teoría de las Muestras Pequeñas Distribución “t” de Student.

En problemas referentes a prueba de hipótesis, cuando se conoce la desviación típica poblacional no importa que el tamaño de la muestra sea grande o pequeña. Se dice que una muestra es grande, si el número de unidades es mayor a treinta y es pequeña si es menor o igual a treinta.

A pesar de las correcciones que se le puedan hacer a las desviaciones típicas, no es efectiva en todas las muestras; por tal razón la distribución de todas las medias muestrales, no tiene un comportamiento similar a la distribución normal, a pesar de ser una distribución continua. A esta distribución se le conoce como distribución “t” de Student (Martínez, 2012).

Cuadro N° 32 Media muestral del ensayo de resistencia a la compresión.

Contenido de vacíos	Observaciones			Media
	1	2	3	
15%	277.90	266.40	239.80	261.37
16%	233.50	248.40	216.00	232.63
17%	235.90	212.10	199.90	215.97
18%	173.00	176.00	178.40	175.80
19%	153.60	150.00	153.20	152.27
20%	139.10	168.80	138.00	148.63

Fuente: Elaboración Propia.



Cuadro N° 33 Media muestral del ensayo de coeficiente de permeabilidad.

Contenido de vacíos	Observaciones						Promedio
	1	2	3	4	5	6	
15%	0.495	0.492	0.499	0.475	0.486	0.470	0.486
16%	0.626	0.639	0.665	0.661	0.647	0.661	0.650
17%	0.834	0.803	0.809	0.812	0.808	0.777	0.807
18%	1.056	1.027	1.098	1.084	1.065	1.065	1.066
19%	1.510	1.505	1.543	1.515	1.631	1.533	1.540
20%	2.294	2.371	2.310	2.348	2.294	2.306	2.320

Fuente: Elaboración Propia.

Distribución Muestral.

La distribución de la media muestral se realizó de acuerdo a procedimientos basados en la evidencia de la muestra y la teoría de las probabilidades, usadas para determinar si la hipótesis es una declaración razonable y no debe ser rechazada, o es irrazonable y debe ser rechazada.

- El estadístico de la prueba es la distribución t Student.

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{s / \sqrt{n}}$$

- Nuestra hipótesis de investigación:

Hipótesis Alterna:

Si realizamos un diseño de mezcla de concreto poroso con un porcentaje de aire de 17% fabricados con agregados de la cantera Yanag, obtendremos propiedades de permeabilidad de 0.35 cm/s y resistencia a la compresión de 210 Kg/cm².

Hipótesis Nula:

Si realizamos un diseño de mezcla de concreto poroso con un porcentaje de aire de 17% fabricados con agregados de la cantera Yanag, no obtendremos propiedades de permeabilidad de 0.35 cm/s y resistencia a la compresión de 210 Kg/cm².



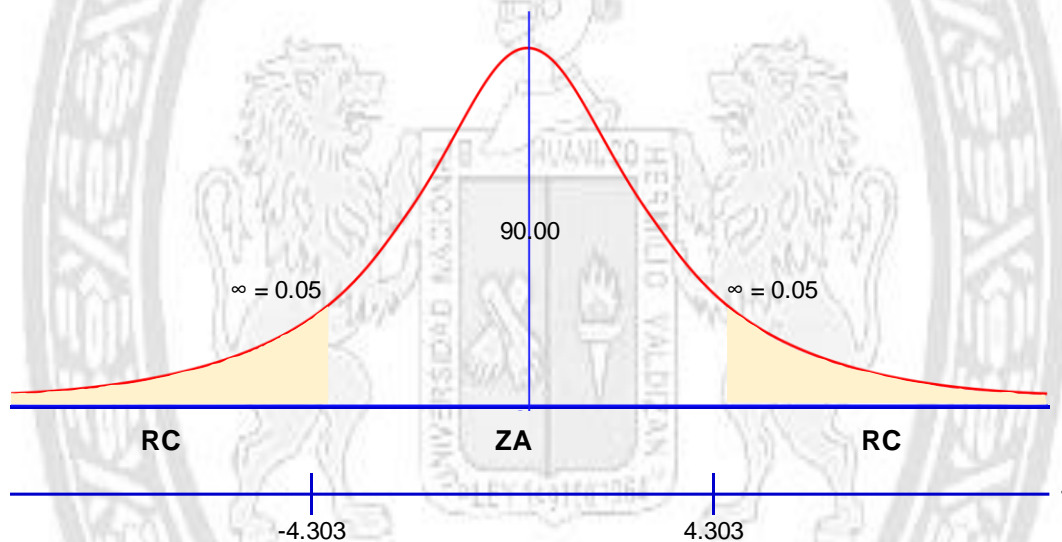
Distribución Muestral: Resistencia a la compresión.

Cuadro N° 34 Característica de distribución muestral de resistencia a la compresión.

Tamaño de muestra	3
Media Aritmética	215.97
Desviación Estándar	18.31
Hipotesis	210.00
Grados de libertad	2
Nivel de significación	5%

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 14 Distribución t Student ($\alpha = 0.05$) para resistencia a la compresión.



Fuente: Elaboración Propia.

➤ Prueba estadístico.

Aceptar H_0 si $-4.303 < t < 4.303$

Rechazar H_0 si $-4.303 \geq t \geq 4.303$



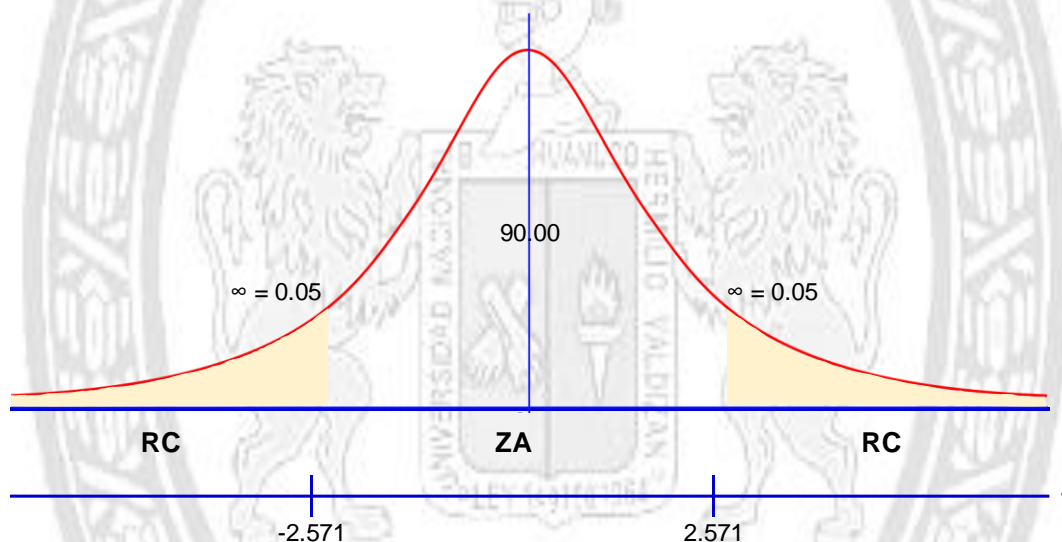
Distribución Muestral: Coeficiente de Permeabilidad.

Cuadro N° 35 Característica de distribución muestral de permeabilidad.

Tamaño de muestra	6
Media Aritmética	0.81
Desviación Estándar	0.02
Hipotesis	0.35
Grados de libertad	5
Nivel de significación	5%

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 15 Distribución t Student ($\alpha = 0.05$) para permeabilidad.



Fuente: Elaboración Propia.

➤ Prueba estadístico.

Aceptar H_0 si $-2.571 < t < 2.571$

Rechazar H_0 si $-2.571 \geq t \geq 2.571$



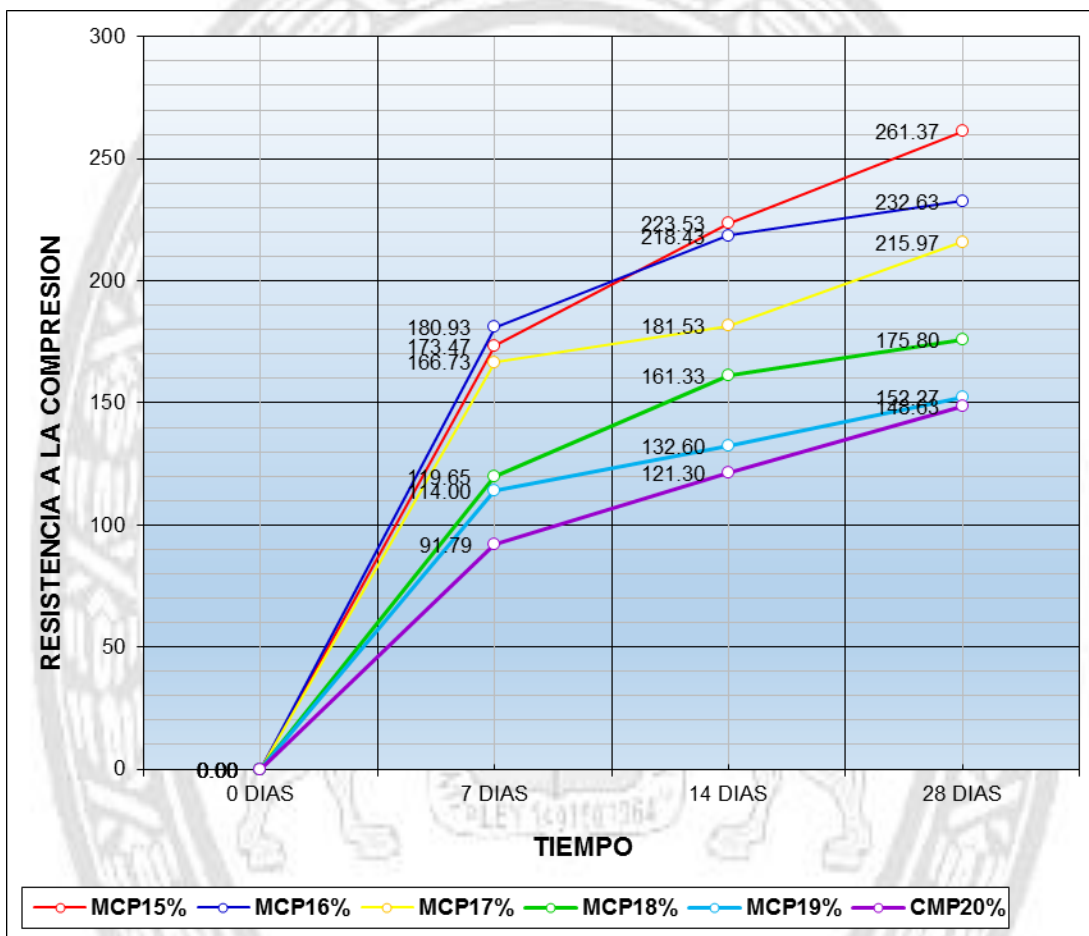
CAPÍTULO III.

Discusión de Resultados.

3.1. Interpretación de Resultados.

Se tiene en la Figura N° 16, la resistencia a la compresión de 7, 14 y 28 días de edad del concreto poroso.

Figura N° 16 Resistencia a la compresión promedio a los 7, 14 y 28 días.

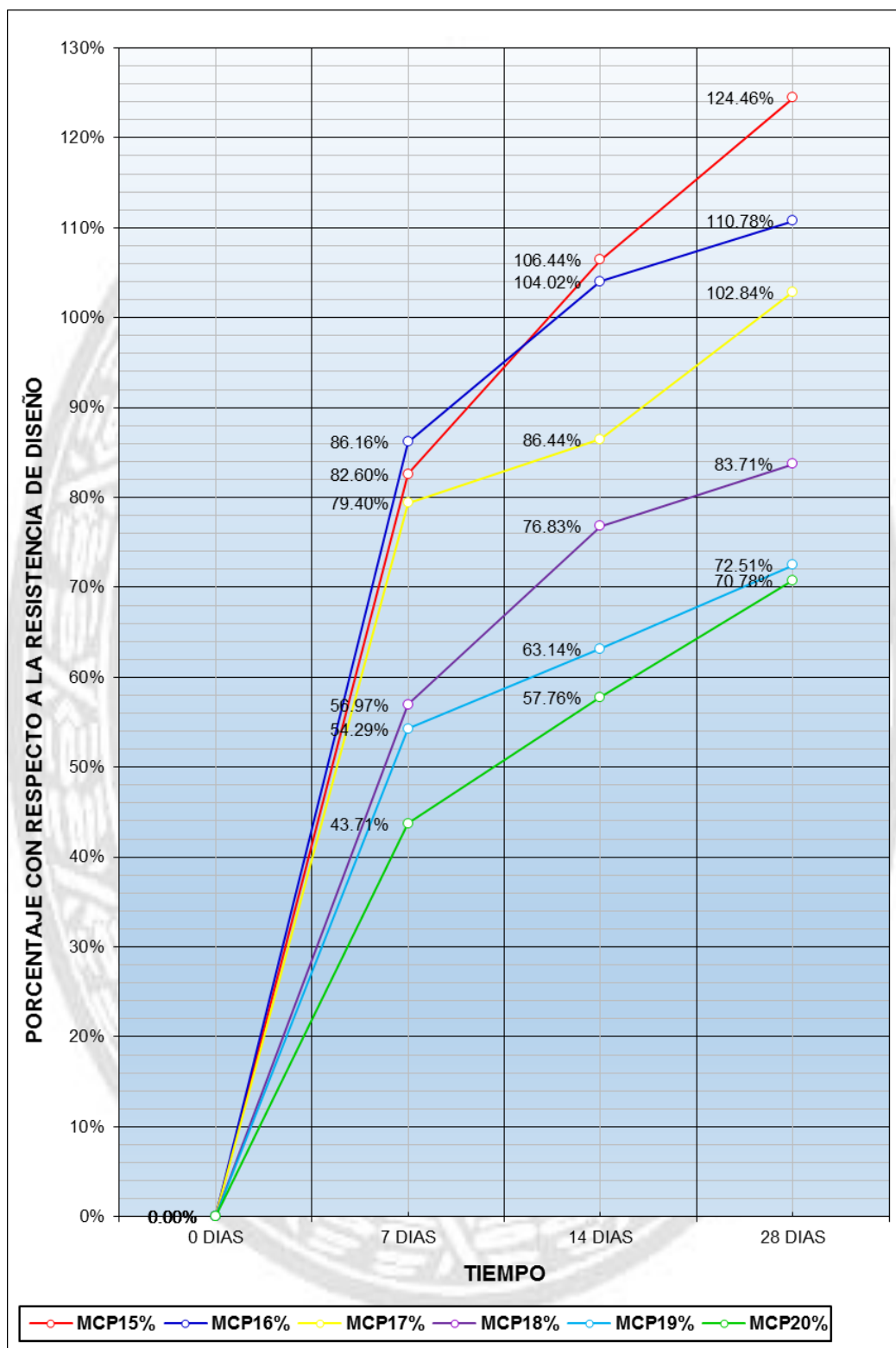


Fuente: Elaboración Propia.

De la figura anterior se puede evidenciar que los valores de la resistencia a la compresión en función a de la variación del tiempo para las diferentes muestras, tienen un tendencia normal en su desarrollo, así mismo se puede observar que a los 7 días la resistencia a la compresión de la muestra MCP16% es superior a MCP15%, esto sucedió por que se ensayó a la muestra sin capping.



Figura N° 17 Curvas de desarrollo de resistencia en el tiempo.



Fuente: Elaboración Propia.



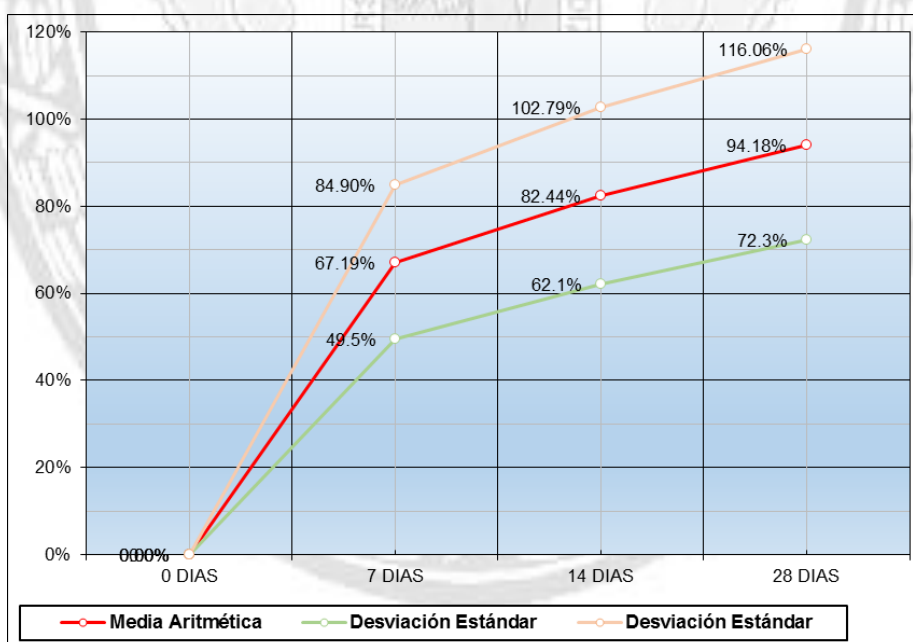
A pesar de que algunas mezclas no alcanzaron la resistencia de diseño, en la Figura N° 17 se observa que en general presentan un comportamiento similar en cuanto al desarrollo de la resistencia en el tiempo. Con los datos de todas las mezclas se obtuvo la curva de desarrollo de resistencia en el tiempo en términos porcentuales, donde puede observarse que, en promedio, las mezclas de concreto poroso alcanzaron una resistencia de un 67.19% a los 7 días, de 82.44% a los 14 días y de 94.18% a los 28 días.

Cuadro N° 36 Porcentaje de resistencia promedio esperado a distintas edades.

Tiempo	Media Aritmética	Desviación Estándar
0 días	0.00%	0.0%
7 días	67.19%	17.7%
14 días	82.44%	20.4%
28 días	94.18%	21.9%

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 18 Curvas de desarrollo de resistencia del concreto poroso.



Fuente: Elaboración Propia.



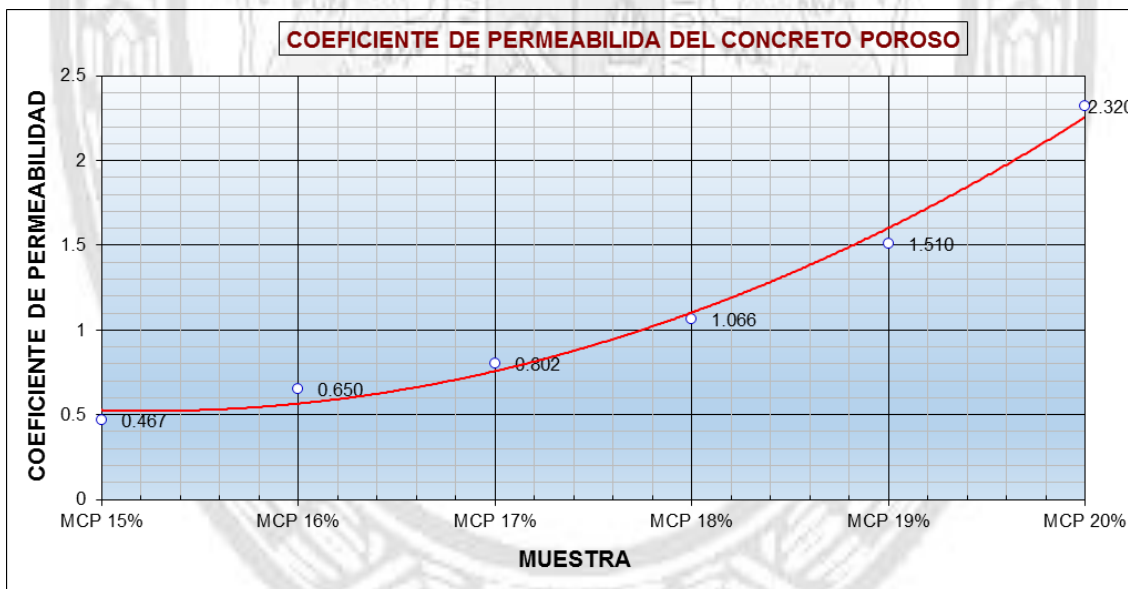
Cuadro N° 37 Coeficiente de Permeabilidad.

Muestra	Coeficiente de permeabilidad
MCP15%	0.486
MCP16%	0.650
MCP17%	0.807
MCP18%	1.066
MCP19%	1.540
MCP20%	2.320

Fuente: Elaboración Propia.

En esta investigación, para el diseño se consideró una permeabilidad de 0.35 cm/s; encontrándose como resultado que oscila entre 0.486 cm/s y 2.32 cm/s, con lo que cumplen con el valor de diseño.

Figura N° 19 Coeficiente de permeabilidad del concreto poroso.



Fuente: Elaboración Propia.

De la figura anterior se observa que a mayor permeabilidad obtenida mayor contenido de aire.

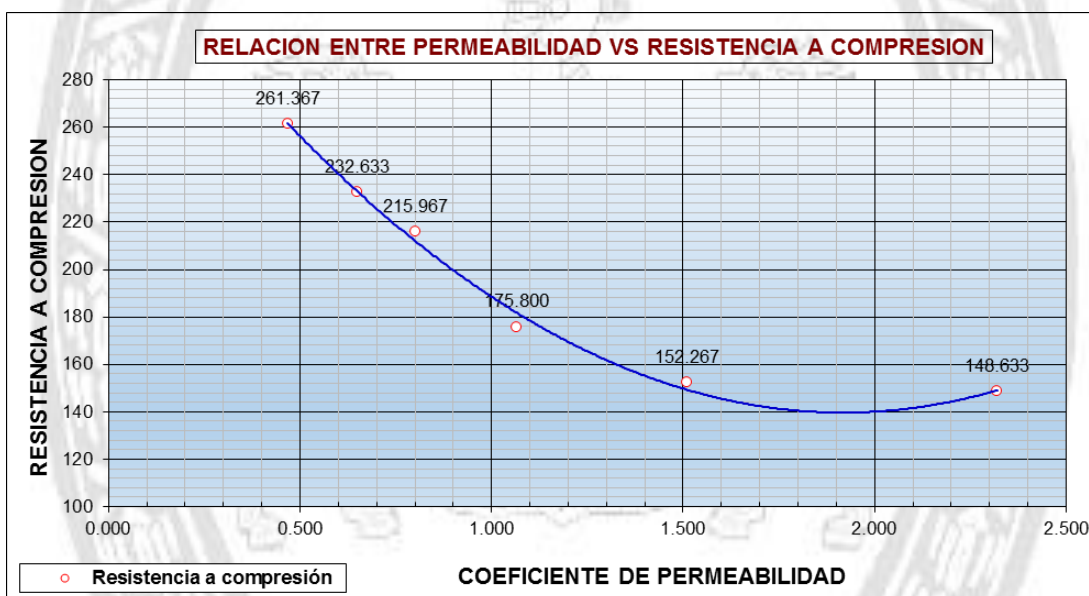


Cuadro N° 38 Relación entre permeabilidad y resistencia a la compresión.

Contenido de vacíos	Coefficiente de permeabilidad	Resistencia a compresión
MCP15%	0.486	261.367
MCP16%	0.650	232.633
MCP17%	0.807	215.967
MCP18%	1.066	175.800
MCP19%	1.540	152.267
MCP20%	2.320	148.633

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 20 Curvas de desarrollo de permeabilidad vs resistencia.



Fuente: Elaboración Propia.

De la figura anterior se observa que a mayor resistencia a la compresión obtenida menor es la permeabilidad. La muestra MCP20% tiene mayor permeabilidad y menos resistencia, y la muestra MCP15% tiene menor permeabilidad y mayor resistencia.



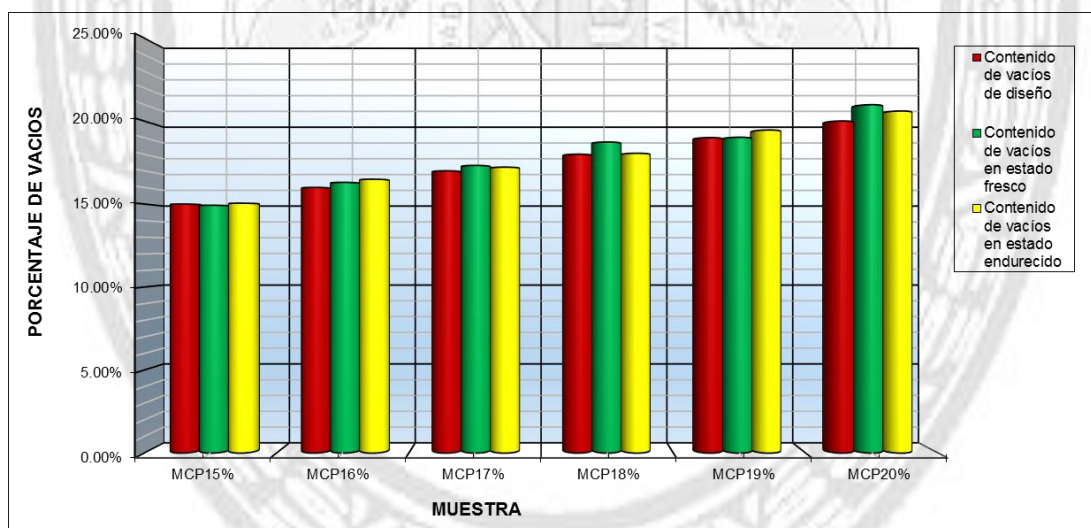
Cuadro N° 39 Relación entre contenido de vacíos.

Diseño	Contenido de vacíos de diseño	Contenido de vacíos en estado fresco	Contenido de vacíos en estado endurecido
MCP15%	15.00%	14.93%	15.05%
MCP16%	16.00%	16.31%	16.49%
MCP17%	17.00%	17.32%	17.22%
MCP18%	18.00%	18.73%	18.06%
MCP19%	19.00%	19.02%	19.46%
MCP20%	20.00%	20.98%	20.60%

Fuente: Elaboración Propia.

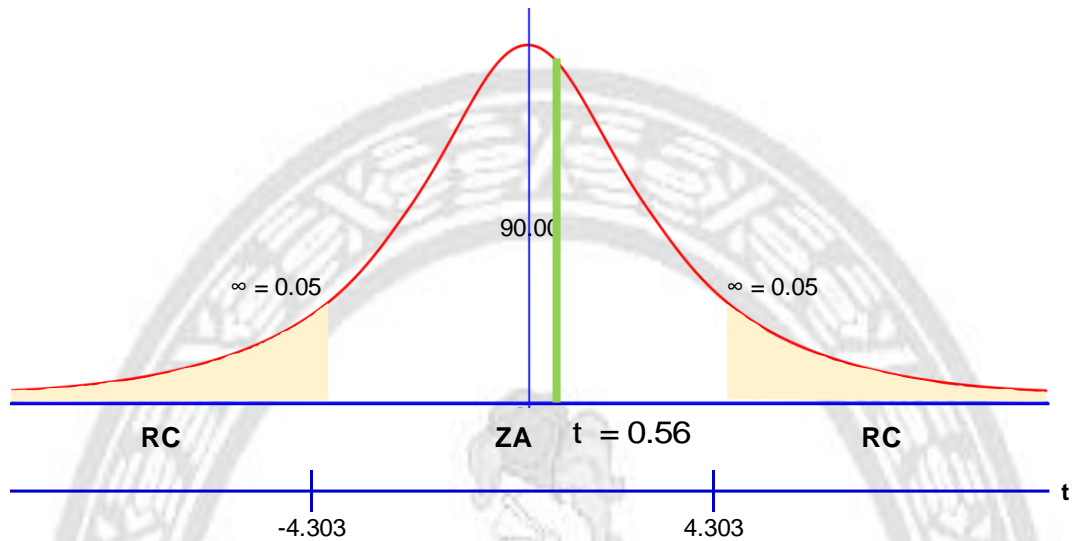
Los resultados obtenidos entre las muestras analizadas de contenido de vacíos en estado fresco y endurecido tienen una variación holgada con un diferencia promedio de 0.36% como se puede ver en la siguiente figura.

Figura N° 21 Desarrollo de contenido de vacíos.



Fuente: Elaboración Propia.

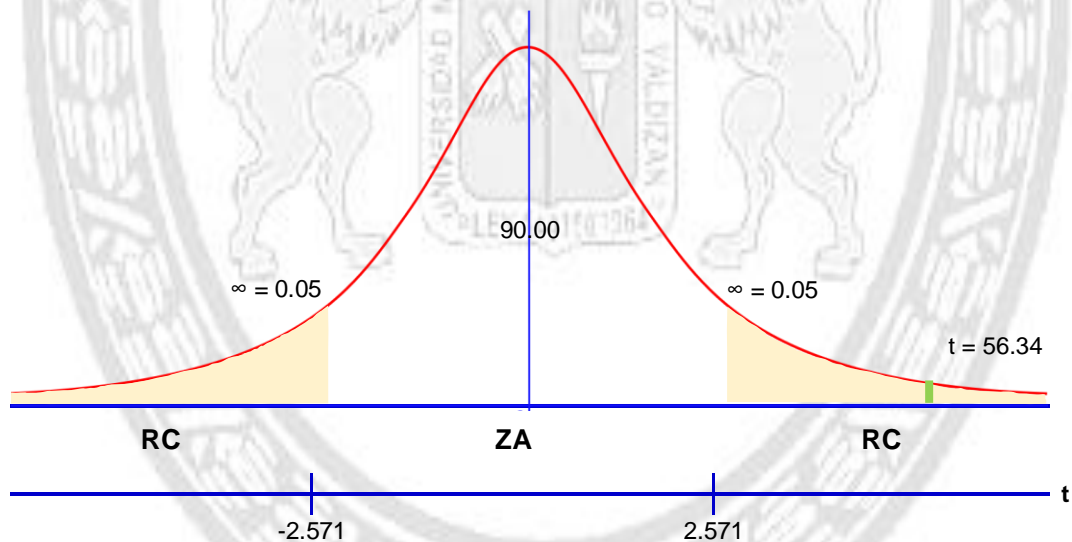
Figura N° 22 Prueba de hipótesis para resistencia a la compresión.



Fuente: Elaboración Propia.

$t = 0.56 < 4.303$, se ubica en la zona de aceptación, en consecuencia se acepta la hipótesis nula (H_0).

Figura N° 23 Prueba de hipótesis para coeficiente de permeabilidad.



Fuente: Elaboración Propia.

$t = 56.34 > 2.571$, se ubica en la zona de rechazo, en consecuencia se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1).



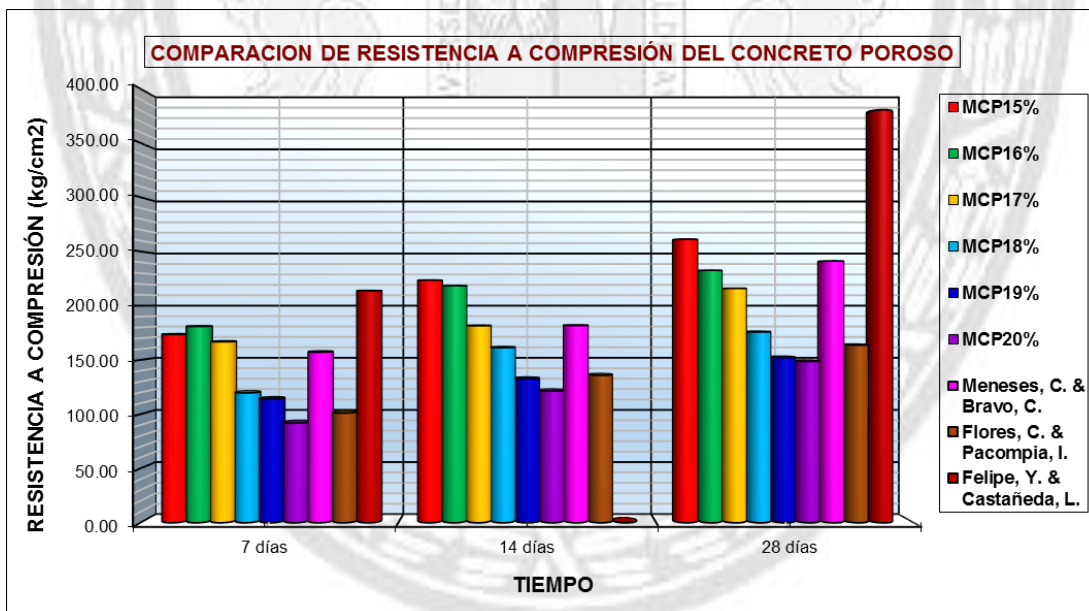
3.2. Comparación de Resultados con otras Investigaciones.

Cuadro N° 40 Comparación de resistencia a la compresión.

Investigaciones en concreto poroso	7 días	14 días	28 días
MCP15%	173.47	223.53	261.37
MCP16%	180.93	218.43	232.63
MCP17%	166.73	181.53	215.97
MCP18%	119.65	161.33	175.80
MCP19%	114.00	132.60	152.27
MCP20%	91.79	121.30	148.63
Meneses, C. & Bravo, C.	157.20	181.80	241.20
Flores, C. & Pacompia, I.	101.06	135.88	163.67
Felipe, Y. & Castañeda, L.	213.90		380.40

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 24 Comparación de resistencia a la compresión.



Fuente: Elaboración Propia.

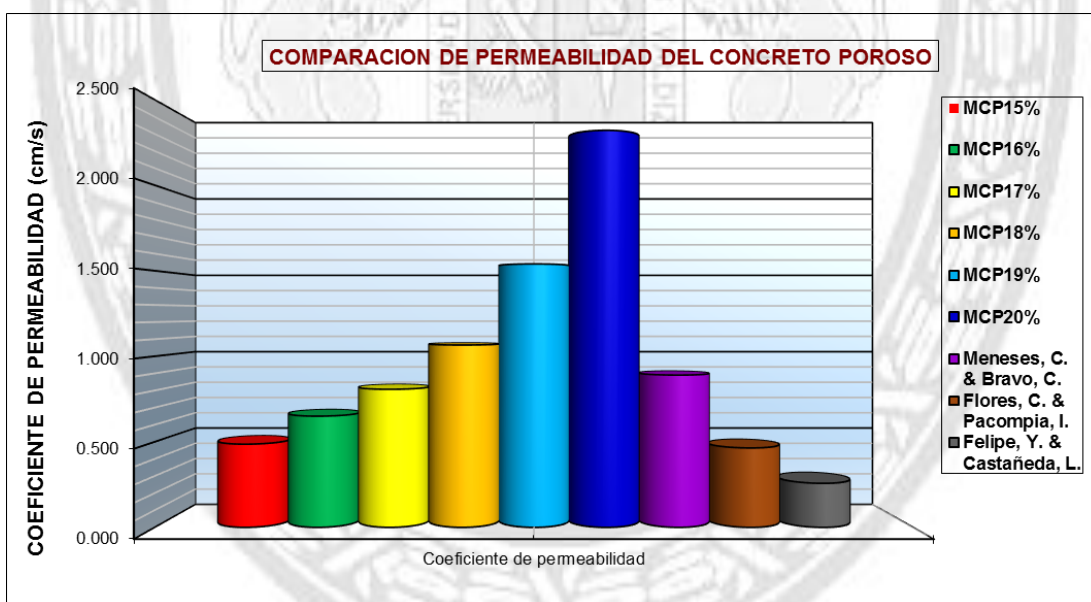


Cuadro N° 41 Comparación de coeficiente de permeabilidad.

Investigaciones en concreto poroso	Coeficiente de permeabilidad
MCP15%	0.486
MCP16%	0.650
MCP17%	0.807
MCP18%	1.066
MCP19%	1.540
MCP20%	2.320
Meneses, C. & Bravo, C.	0.89
Flores, C. & Pacompia, I.	0.46
Felipe, Y. & Castañeda, L.	0.26

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 25 Comparación de coeficiente de permeabilidad.



Fuente: Elaboración Propia.



CONCLUSIONES.

Los resultados obtenidos en esta investigación de los estudios realizados a las muestras de concreto poroso diseñadas con contenido de aire de 15%, 16%, 17%, 18%, 19% y 20% elaborados con agregados de la cantera Yanag, permiten concluir el alto coeficiente de permeabilidad que varía entre 0.49 cm/s y 2.32 cm/s. y la resistencia a la compresión promedio a los 28 días varía entre 261.37 kg/cm² y 148.63 kg/cm² para 15% y 20% de vacíos respectivamente.

Las mezclas de concreto poroso en estado fresco resultaron con una consistencia rígida, es decir, con asentamiento (Slump) 0 cm. El peso unitario promedio de las mezclas varía desde 2036.84 kg/cm³ hasta 1913.91 kg/cm³ para 15% y 20% de vacíos respectivamente.

El contenido de aire es una variable que influye directamente en la porosidad del concreto poroso que resultó ser mucho sensible, puesto que se obtuvieron una diferencia del 373.47% de porosidad, entre las muestras con porcentaje de aire de 15% y 20%.

Según la Norma ACI 522R-10 el rango resistencia a la compresión del concreto poroso es de 28.55 kg/cm² a 285.51 kg/cm², por lo tanto se concluye que la resistencia a la compresión en promedio de las mezclas de concreto poroso alcanzaron una resistencia de un 67.19% a los 7 días, de 82.44% a los 14 días y de 94.18% a los 28 días.

La mezcla de concreto poroso más resistente se obtuvo utilizando un porcentaje de vacíos de 15%, una relación agua-cemento (a/c) de 0.38, utilizando agregado con tamaño máximo nominal de 1/2". Esta dosificación permite obtener resistencias a la compresión en promedio de 261.37 kg/cm² y 0.47 cm/seg en permeabilidad.



Los agregados de la cantera de Yanag, presentan las siguientes propiedades: Tamaño máximo nominal de 1/2", peso específico de 2.60 gr/cm³, peso unitario suelto de 1.27 gr/cm³ y peso unitario compactado de 1.31 gr/cm³, absorción de 0.76%; porcentaje de desgaste de 18.59%.

Para que un concreto sea considerado poroso, debe tener una tasa de infiltración mayor a 0.35 cm/s. Los resultados en esta investigación permiten concluir que las mezclas con porcentajes de vacíos mayores a 15% satisfaciendo dicha condición. Para medir la permeabilidad de estas mezclas, fue necesario la construcción de un permeámetro de carga variable basado en ACI 522R-10.

En base a los resultados obtenidos, se concluye que la relación que existe entre la resistencia a la compresión con el porcentaje de vacíos del concreto poroso son inversamente proporcionales, es decir a medida que el porcentaje de vacíos aumenta, la resistencia a la compresión disminuye; y la relación entre la permeabilidad con el porcentaje de vacíos del concreto poroso son directamente proporcionales, es decir a mayor porcentaje de vacíos, mayor es la permeabilidad. En este contexto el contenido de aire influye de manera significativa en las propiedades físicas y mecánicas del concreto poroso.

El concreto poroso desarrollado en esta investigación presenta resistencias cercanas al del diseño 210 kg/cm², y el coeficiente de permeabilidad superior a 0.35 cm/s; para un contenido de aire de 17% y relación agua cemento (a/c) de 0.38. Se hizo el análisis con la teoría de las muestras pequeñas distribución "t" Student. Se ha demostrado que para un nivel de significancia del 5%. La resistencia a la compresión se ubica en la zona de aceptación, y el coeficiente de permeabilidad se ubica en la zona de rechazo; lo que nos permite rechazar nuestra hipótesis de investigación.



RECOMENDACIONES.

Para conocer con mayor precisión las propiedades físicas y mecánicas del concreto poroso bajo el cumplimiento de las normas significo un reto, pues los equipos dispuestos en el laboratorio son para mezclas convencionales y en algunos casos se presentaron dificultades para poder ensayar estas mezclas de concreto poroso. Por lo tanto se recomienda utilizar equipos calibrados.

El concreto poroso desarrollado en esta investigación presenta unas resistencias a la compresión cercanas a las del diseño $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$, sin embargo debido a la dispersión existente en los resultados obtenidos se recomienda un análisis más minucioso de las variables iniciales de diseño para conseguir mejores resistencias.

A partir de los resultados obtenidos en esta investigación, se recomienda utilizar porcentaje de vacíos entre 16% y 18% para mezclas de concreto poroso. Mezclas con mayor contenido de aire presentan muy baja resistencia, mezclas con menor contenido de aire presentan escurrimiento de la pasta de cemento y disminución notoria del porcentaje de huecos.

Se recomienda dar continuidad la investigación del concreto poroso al usar aditivos como fluidificantes, fibra de polipropileno y verificar como varían sus características ante estos factores que afectan positivamente al aumento de resistencia del concreto.

Finalmente, el efecto del factor de compactación debe analizarse para los rangos de contenidos de aire utilizados en esta investigación, con el fin de determinar el efecto que tenga sobre la resistencia a la compresión y el coeficiente de permeabilidad del concreto poroso, ya que una elevada compactación reduce el contenido de vacíos y una baja compactación ocasiona que la estructura del concreto obtenga un alto contenido de vacíos y reduce considerablemente la resistencia.



LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN.

Se recomienda continuar con el estudio del concreto poroso ampliando el número de muestras debido a la dispersión existente en los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión y permeabilidad.

Se requiere de mayor investigación de las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas del concreto poroso elaborados con agregados de otras canteras de la ciudad de Huánuco.

Se requiere de mayor investigación de las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas del concreto poroso al adicionar un porcentaje de agregado fino en el diseño.

Se sugiere para futuras investigaciones del concreto poroso teniendo como variable independiente el tamaño del agregado: Huso 57 y Huso 89.

Se requiere de mayor investigación del concreto poroso diseñadas con otros porcentajes de contenido de aire.

Se plantea de mayor investigación del concreto poroso teniendo como variable independiente la relación agua - cemento (a/c) y/o el factor de compactación.

Se requiere de mayor investigación del concreto poroso teniendo como variable dependiente la resistencia a flexión y/o la tensión indirecta.

Se propone investigar las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas del concreto poroso al adicionar aditivo y/o polímero en el diseño.



BIBLIOGRAFÍA.

ACI 522R (2010). *Pervious Concrete*. American Concrete Institute. Farmington Hills, Mich.

ACI 211.3R. (2002). *Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete*. American Concrete Institute.

Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación*. Universidad de la Sabana, Colombia. 3ª Edición.

Borja, M. (2012), *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chiclayo.

Calderón, Y. & Charca, J. (2013). *Investigación en Concreto Poroso*. Boletín Informativo ASOCEM - Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú.

Castro, J., De Solminihac, H., Videla, C., & Fernández, B. (2009). *Estudio de dosificaciones en laboratorio para pavimentos porosos de hormigón*. Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile.

De Solminihac, H., Videla, C., Fernández, B. & Castro, J. (2007). *Desarrollo de mezcla de hormigón poroso para pavimentos urbanos permeables*. Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile.

Flores, C. & Pacompia, I. (2015). *Diseño de mezcla de concreto permeable con adición de tiras de plástico para pavimentos f'c 175 kg/cm² en la ciudad de Puno*. Universidad Nacional de Altiplano, Perú.

Gutiérrez, H. & De la Vara, R (2012), *Análisis y diseño de experimentos*. México: 3ª Edición, Editorial McGraw-Hill.

McCormac, J. (2010), *Diseño de concreto reforzado*. México: 5ª Edición, Alfaomega Grupo Editor.



Martínez, C. (2012), *Estadística y muestreo*. Bogotá: 13ª Edición, Editorial Ecoe Ediciones.

Meininger (1988), *No-Fines Pervious Concrete for Paving*. Concrete International. Volumen 10.

Meneses, C. & Bravo, C. (2007). *Resistencia mecánica y condiciones de obra del concreto poroso en los pavimentos, según el tipo de granulometría*. Universidad de Medellín, Colombia.

MTC (2016). *Manual de ensayo de materiales*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Perú.

Murphy, T. & Lau, A. (2008). ASTM STANDARDIZATION NEWS. Obtenido de Magazines & Newsletters:

http://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPND08/datapoints_spnd08.html

Navas, A. & Fernández, R. (2011). *Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad*. Universidad de Costa Rica, Costa Rica.

Pérez, D. (2009). *Estudio experimental de concretos permeables con agregados andesíticos*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Rivva, E. (2014). *Materiales para el concreto*. Lima: 2ª Edición, Editorial ICG.

Rivva, E. (2014). *Diseño de mezcla*. Lima: 3ª Edición, Fondo Editorial ICG.

Sánchez, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Pontificia Universidad Javeriana, Colombia.

Subramanian, N. (2009). *Concreto permeable - un material ecológico que contribuye al ahorro de los recursos hídricos, frente a la escases de agua*.

Recuperado de:

http://www.asocem.org.pe/web/_infor_esp/Informe%20Especial_julio09.pdf



ANEXOS



EVALUACIÓN GEOLÓGICA

“AUTORIZACION PARA EXTRACCION DE MATERIALES NO METALICOS EN EL CAUCE DEL RIO HUALLAGA – CENTRO POBLADO MENOR CORAZON DE JESUS-YANAG”

1. GENERALIDADES

1.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO

El lugar de extracción sobre el río Huallaga se encuentra ubicada físicamente en la sierra central del Perú, en la zona Este del Distrito de Pillco Marca al Sur-Oeste de la provincia de Huánuco del departamento de Huánuco. El lugar de extracción dentro del cauce del río Huallaga se localiza en las coordenadas UTM máxima; Norte 8895569.2980, máxima Este 364178.2740, y a una altitud de 1955 msnm.

La Cantera se ubica catastralmente en las coordenadas UTM, corresponden a la Zona 18-L SUR.

1.2 CLIMA Y METEOROLOGÍA

En la localidad de Pillco Marca, distrito de Pillco Marca, provincia de Huánuco, departamento de Huánuco; los datos meteorológicos nos muestran los siguientes promedios:

- 1.2.1 **Clima:** El clima de Huánuco es templado, árido y con amplitud térmica moderada.
- 1.2.2 **Temperatura (°C):** La media anual de temperatura máxima y mínima es 26.4°C y 12.4°C, respectivamente.
- 1.2.3 **Humedad Relativa (%):** Humedad Relativa Media Mensual : 63%
- 1.2.4 **Precipitación Total Mensual (mm.):** La precipitación media acumulada anual para el periodo 1962-1991 es 369.2 mm.
- 1.2.5 **Velocidad del Viento:** El viento tiene una velocidad de 3 a 4 m/s, y van en dirección de norte a sur. En los meses de invierno predominan calmas, porque la cobertura nubosa es predominante.


 Cesar R. Zalada Rodriguez
 INGENIERO CIVIL
 CIP N° 98469



2. GEOMORFOLOGÍA.

2.1 GENERALIDADES

La morfología del área de estudio es el resultado de los efectos degradatorios causados por los agentes de meteorización que han actuado sobre las unidades litológicas constituidas por calizas y en menor proporción por areniscas. Dentro de los agentes meteorizantes que han tenido un papel preponderante en el modelado actual del área ha sido la temperatura del medio ambiente, las precipitaciones pluviales, la escorrentía superficial y subterránea. En la zona de estudio Mc LAUGHLIN, D.H. (1924) reconoció dos períodos de erosión: Estadío Chacra o Valle, con levantamiento de 500 metros de elevación y Estadío Cañón con una elevación aproximada de 1,500m.

El área de estudio es resultado de dos etapas:

2.1.1 Etapa Cañón

En la zona de estudio estos valles se encuentran en los cuadrángulos de Ambo, Cerro de Pasco y Ondores, ligados a los valles formados por depósitos aluviales los que se suceden a diferentes niveles, a ambos flancos del lecho del río, tal como se ve en el río Pucayacu y Shiriconcha ubicados al extremo Sureste de la represa de Mal Paso, las cuales drenan sus aguas a la cuenca del Mantaro, así también el río Chaupihuaranga ubicado en el extremo Suroeste del cuadrángulo de Ambo discurre sus aguas hacia el valle del Huallaga, siendo uno de los principales tributarios.

2.1.2 Etapa Valle:

Esta unidad geomorfológica se ubica en el cuadrángulo de Ambo, presentando laderas con pendientes moderadas como las formadas en el río Huertas y demás tributarios, los que llevan sus aguas al río Huallaga alcanzando una dirección de Norte a Sur. En su recorrido pasa por las localidades de Huariaca, San Rafael y Ambo cortando una serie de rocas paleozoicas como las del Grupo Mitu y el Neo-proterozoico. El área del


 Sr. R. Zaldívar Rodríguez
 INGENIERO CIVIL
 C. I. P. N° 98429



proyecto por estar en las riveras del río Huallaga, presenta pendientes muy altos a la margen derecha generalmente compuestos por rocas esquistosas, sin embargo, por el margen izquierdo tenemos una formación rocosa de arenisca o granito que por el proceso de intemperismo ha generado un valle con suelo arenoso, de bajas pendientes próximos al río y con pendientes similares a la otra margen en cuanto se aleja del río.

2.2 MORFODINÁMICA ACTUAL.

Las acciones morfogenéticas que se desarrollan en la actualidad en el área de estudio son de características diversas y difieren principalmente según la fisiografía, clima y geología. Se puede notar los siguientes patrones erosivos o morfodinámicos:

2.2.1 METEORIZACIÓN.

Es una acción natural permanente y generalizada, que tiene incidencias posteriores en el desarrollo de procesos erosivos notables. Por su carácter generalizado, las formas de meteorización no se incorporan en el mapeo geomorfológico. Los tipos encontrados en el área de estudio son:

2.2.1.1 Erosión Difusa.

Es la erosión superficial del terreno por el escurrimiento difuso. Afecta, sobre todo, a formaciones superficiales sueltas, en fuertes pendientes y desprovistos de cobertura vegetal. Esta erosión es intensa en lugares dispersos, pero es máxima en las grandes vertientes secas que bordean el proyecto.

2.2.1.2 Erosión Concentrada.

Es la erosión que se concentra en cárcavas y abarrancamientos, que muchas veces devienen de un incremento del escurrimiento difuso. Es una forma severa de erosión, que tiene su máxima representación en las vertientes escarpadas margen izquierdo del río Huallaga.


Cesar R. Zalada Rodríguez
INGENIERO CIVIL
C / P N° 98489



2.2.1.3 Huaycos y Erosión Fluvial.

Estas acciones se producen a lo largo de los ejes fluviales. Los huaycos son los flujos hídricos saturados en sólidos, que descienden por las quebradas tributarias de los principales valles. Forman los conos deyectivos que se ubican sobre las terrazas de fondos de valle, siendo actualmente activos sólo en las zonas semiáridas. La erosión fluvial comprende socavamientos, divagancias e inundabilidad y sólo se produce, en orden de importancia, perpendicular al cruce del río Huallaga.

2.2.2 ESTABILIDAD GEOMORFOLÓGICA.

De acuerdo con las condiciones geográficas dominantes, se presenta una zonificación descriptiva y comparativa de los diferentes medios del sector del proyecto, en cuanto a sus niveles de estabilidad geomorfológica. Dicha estabilidad se establece en función de sus procesos erosivos actuales y de sus condiciones potenciales. Cabe indicar que esta clasificación de estabilidad está basada exclusivamente en criterios geomorfológicos, y es la base principal para el desarrollo del mapeo de estabilidad y riesgo físico. Sin embargo, las unidades no son necesariamente coincidentes, porque la estabilidad y riesgo incorporan algunas otras variables.

3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.

La geología estructural que comprende el área en evaluación es parte del complejo del marañón en el que se presenta el anticlinal del complejo del marañón que es un alto estructural donde se encuentran los afloramientos más antiguos del área de estudio; se observan principalmente en los cuadrángulos de Ambo y NE de Cerro de Pasco, controlados por fallas regionales de dirección NO - SE y N-S; debido a la poca información conocida este complejo se encuentra conformado por rocas metamórficas y algunos cuerpos intrusivos que se hallan en la franja de dirección NO-SE, está constituido por rocas de edad Neoproterozoico, principalmente de esquistos verdes


César R. Zalada Rodríguez
INGENIERO CIVIL
C / P N° 98469



con vetillas de cuarzo lechoso bastante replegados y fracturados, con pliegues tipo "chevron" siendo los mayores plegamientos postmetamórficos que son difíciles de seguir por falta de horizontes guías.

Esta secuencia predominantemente clástica de grosor desconocido fue depositada en la cuenca del Huallaga controlada por fallas longitudinales alineadas paralelamente a la tendencia andina.

DALMAYRAC, B. (1977) sugirió que los plegamientos de tendencia andina se originaron por la deformación incaica, que afectaron a los sedimentos cretáceos; reconociendo que los esquistos pueden haber sido afectados por esta deformación, desarrollada durante las orogenias tempranas; al SO del cuadrángulo de Ambo los esquistos presentan una dirección NO-SE donde se observa, la discordancia entre el Grupo Mitu y el Neo-proterozoico, en la carretera Chacayán - Goyllarisquizga (Ambo).

4. CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS.

El río Huallaga se forma por la confluencia de dos ríos que nacen cerca de la ciudad de Cerro de Pasco (Pucayacu) y el río Huertas ubicado al Noroeste del poblado de Huacar en el cuadrángulo de Ambo, siendo éste uno de los principales tributarios del río Huallaga, se caracteriza por ser uno de los ríos más caudalosos. El río Huallaga discurre en dirección Sur a Norte pasando por las localidades de: la Quinua, Huariaca, San Rafael y Ambo entre otras. Los principales tributarios del Huallaga son: el río Tingo, Condorgaga, Chaupihuaranga, Coquín y Quío cuya dirección va al Norte y Noreste, alcanzando mayor amplitud en Huánuco. La presencia de este rio hace posible el transporte del material particulado de diversas rocas por el cual recorre este io.

5. ESTRATIGRAFÍA Y LITOLOGÍA.

Se tiene algunas ideas acerca de los controles de sedimentación para las formaciones precámbricas y paleozoicas. Con respecto a los esquistos del Neoproterozoico caracterizados por una serie esencialmente derivada, principalmente de la erosión de un zócalo siálico muy antiguo, asociado a episodios volcánicos básicos principalmente


Cesar R. Zalada Rodriguez
INGENIERO CIVIL
C / P N° 98489



transportados (DALMAYRAC B. 1986). Se puede decir que la deposición es continua, alongada y paralela a la cuenca andina y por tanto los controles estructurales que la delinear siguen también la dirección andina.

Similar con los estratos paleozoicos, sus afloramientos están dispersos, por lo que no es posible decir qué controles tuvo la sedimentación. Debido a que el vulcanismo y sedimentación fueron concurrentes hay cambios de fases a lo largo de las fajas alargadas de este cinturón entre los depósitos sedimentarios y volcánicos. La estratigráfica de la cual es parte la zona del proyecto comprende el estudio del complejo del marañón el cual detallamos a continuación.

5.1 COMPLEJO DEL MARAÑÓN

Las rocas metamórficas del Complejo del Marañón, han sido asignadas al Neoproterozoico observándolas principalmente en los cuadrángulos de Ambo y Cerro de Pasco. Sus afloramientos a manera de bloques son controlados por fallas regionales de dirección NO-SE, caracterizadas en las áreas de Paucar (occidental) y del río Huallaga (oriental). Se presentan ventanas geológicas en la parte media de estas áreas, tal como ocurre en Tres Cruces, Huacar y Piruco- Queulacocha (Ambo); habiéndose diferenciado en ellas dos tipos de rocas metamórficas: gneis y esquistos.

6. CONCLUSIONES

De acuerdo a la evaluación geológica realizada se concluye que la zona de estudio no tiene riesgo ante efectos geológicos, que pueden tener incidencias energicas con la actividad de extracción o acopio del material agregado. El área del proyecto está conformada especialmente de suelo granítico que es resultado de la descomposición del afloramiento granítico presente al margen izquierdo del río.

Con respecto a Posibles desbordes del río Huallaga, la geomorfología del terreno no permite ya que el río se abre por un valle con pendientes altos a ambas márgenes.


Cesar A. Zelada Rodríguez
INGENIERO CIVIL
C. / P. N° 58499



Report on Pervious Concrete

Reported by ACI Committee 522



American Concrete Institute®

PERMEABILIDAD

1.0 OBJETO.

1.1 Determinar el coeficiente de permeabilidad de especímenes cilíndricos de concreto.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE.

2.1 Se utiliza para determinar el coeficiente de permeabilidad del concreto mediante el método de carga variable.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS.

3.1 ACI 522R-10 Método de ensayo del coeficiente de permeabilidad del concreto descrito por el Instituto Americano del Concreto.

4.0 EQUIPOS.

4.1 EQUIPOS.

4.1.1 Permeámetro de carga variable. Para la construcción del permeámetro se siguió las recomendaciones de la norma ACI 522R-10, que exponen los parámetros principales para la construcción del permeámetro de carga variable.



Figura N° 1 Características de Permeámetro de Carga Variable.

Fuente: ACI 522R-10.

4.1.1 Depósito de agua. Un depósito de agua.

4.1.1 Cronometro.

5.0 MUESTRA.

5.1 Las muestras a ensayar son especímenes cilíndricos de concreto de 10 cm de diámetro y 15 cm de alto.

6.0 PROCEDIMIENTO.

6.1 Preparación de la muestras – Se impermeabiliza con membrana o cualquier material para evitar que fugue el agua lo largo de los lados de la muestra.

6.2 Colocación de la muestras - Se coloca el espécimen de concreto en el permeámetro de carga variable. Se alinea cuidadosamente el espécimen con el bloque inferior y el cilindro graduado del permeámetro. Antes de ensayar el espécimen se debe verificar la unión de la muestra y el permeámetro ajustado por abrazaderas.

6.3 Adición del agua - Se adicionara agua en el cilindro graduado de entrada del permeámetro hasta una altura h_1 , hasta que la muestra se encuentre totalmente saturada y el flujo del agua este establecido entonces se cierra la válvula.

6.3 Descarga del agua - Se descarga el agua del permeámetro hasta una altura h_2 , abriendo la válvula de control. Se registra el tiempo que la columna de agua demora la descarga desde h_1 hasta h_2 .

7.0 CALCULOS.

7.1 CALCULOS.

7.1.1 Coeficiente de Permeabilidad.

El cálculo del coeficiente permeabilidad se realizara utilizando la ley de Darcy.

$$k = \frac{L}{t} \times \frac{a}{A} \times \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

Dónde:

- k: Coeficiente de permeabilidad (cm/s).
- L: Longitud de la muestra (cm).
- A: Área de la muestra (cm²).
- a: Área de la tubería de carga (cm²).

- t : Tiempo en demora en pasar de h_1 a h_2 (s).
- h_1 : Altura de la columna de agua medida del nivel de referencia (cm).
- h_2 : Altura de tubería de salida del agua con respecto al nivel de referencia (cm).



Figura N° 2 Permeámetro Construido de Carga Variable (Basado en ACI 522R-10).

Fuente: Elaboración Propio – Bach. Ing. Civil Bequer Salis Valverde.



Figura N° 3 Ensayo de Permeabilidad.

Fuente: Elaboración Propio – Bach. Ing. Civil Bequer Salis Valverde.

MTC E 203

PESO UNITARIO Y VACIOS DE LOS AGREGADOS

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar el peso unitario suelto o compactado y el porcentaje de los vacíos de los agregados finos, gruesos o una mezcla de ambos.
- 1.2 El método se aplica a agregados de tamaño máximo nominal de 150 mm (6").

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Se utiliza siempre para determinar el valor del peso unitario utilizado por algunos métodos de diseño de mezclas de concreto.
- 2.2 También se utiliza para determinar la relación masa/volumen para conversiones en acuerdos de compra donde se desconoce la relación entre el grado de compactación del agregado en una unidad de transporte o depósito de almacenamiento (que usualmente contienen humedad superficial absorbida) y los llevados a cabo por este ensayo que determina el peso unitario seco.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 400.017 Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados

4.0 EQUIPOS, MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Balanza: con una exactitud de 0,1% con respecto al peso del material usado.
- 4.1.2 Recipiente de medida, metálico, cilíndrico, preferiblemente provisto de agarraderas, a prueba de agua, con el fondo y borde superior pulido, plano y suficientemente rígido, para no deformarse bajo condiciones duras de trabajo. Los recipientes tendrán una altura aproximadamente igual al diámetro, y en ningún caso la altura será menor del 80% ni mayor que 150% del diámetro. La capacidad del recipiente utilizado en el ensayo, depende del tamaño máximo de las partículas del agregado a ensayar, de acuerdo con los límites establecidos en la Tabla 1.

El espesor del metal se indica en la Tabla 2. El borde superior será pulido y plano dentro de 0,25 mm y paralelo al fondo dentro de 0,5%. La pared interior deberá ser pulida y continua.

- 4.1.3 Equipo de calibración: una plancha de vidrio de por lo menos 6 mm (1/4") de espesor y 25 mm (1") mayor del diámetro del recipiente a calibrar.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Varilla compactadora, de acero, cilíndrica, de 16 mm (5/8") de diámetro, con una longitud aproximada de 600 mm (24"). Un extremo debe ser semiesférico y de 8 mm de radio (5/16").
- 4.2.2 Pala de mano: una pala o cucharón de suficiente capacidad para llenar el recipiente con el agregado.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Obtener la muestra de acuerdo a MTC E 201 y reducir muestra a tamaño de muestra de ensayo por cuarteo.
- 5.2 La muestra de ensayo debe ser aproximadamente 125 a 200% de la cantidad requerida para llenar el recipiente de medida y ser manipulada evitando la segregación. Secar el agregado a peso constante, preferiblemente en un horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Llenar el recipiente de medida con agua a temperatura ambiente y cubrir con la placa de vidrio para eliminar burbujas y exceso de agua.

- 6.2 Determinar el peso del agua en el recipiente de medida.
- 6.3 Medir la temperatura del agua y determinar densidad, de la Tabla 3, interpolando si fuese el caso.
- 6.4 Calcular el volumen (V) del recipiente de medida dividiendo el peso del agua requerida para llenarlo entre la densidad del agua.
- 6.5 La calibración del recipiente de medida se realiza por lo menos una vez al año o cuando exista razón para dudar de la exactitud de la calibración.
- 6.6 DETERMINACION DEL PESO UNITARIO SUELTO
- 6.6.1 Procedimiento con pala: el recipiente de medida se llena con una pala o cuchara, que descarga el agregado desde una altura no mayor de 50 mm (2") hasta que rebose el recipiente.
- Eliminar el agregado sobrante con una regla.
- Determinar el peso del recipiente de medida más el contenido y el peso del recipiente, registrar los pesos con aproximación de 0,05 kg (0,1 lb).
- 6.7 DETERMINACION DEL PESO UNITARIO COMPACTADO
- 6.7.1 Procedimiento de apisonado: para agregados de tamaño máximo nominal de 37,5 mm (1 1/2") o menos.
- Llenar la tercera parte del recipiente con el agregado, y emparejar la superficie con los dedos. Apisonar la capa de agregado con 25 golpes de la varilla distribuidos uniformemente, utilizando el extremo semiesférico de la varilla. Llenar las 2/3 partes del recipiente, volviendo a emparejar la superficie y apisonar como anteriormente se describe. Finalmente llenar el recipiente hasta colmarlo y apisonar otra vez de la manera antes mencionada.
- Al apisonar la primera capa, evitar que la varilla golpee el fondo del recipiente. Al apisonar las capas superiores, aplicar la fuerza necesaria para que la varilla atravesase solamente la respectiva capa.
- Una vez colmado el recipiente, enrasar la superficie con la varilla, usándola como regla, determinar el peso del recipiente lleno y peso del recipiente solo, y registrar pesos con aproximación de 0,05 kg (0,1 lb).
- 6.7.2 Procedimiento de percusión: para agregados de tamaño máximo nominal entre 37,5 mm (1 1/2") y 150 mm (6").
- Llenar el recipiente con el agregado en tres capas de igual volumen aproximadamente. Cada una de las capas se compacta colocando el recipiente con el agregado sobre una base firme y se inclina, hasta que el borde opuesto al punto de apoyo, diste unos 50 mm (2") de la base. Luego dejar caer, lo que produce un golpe seco y repetir la operación inclinando el recipiente por el borde opuesto. Cada capa se compacta dejando caer el recipiente 50 veces de la manera descrita, 25 veces cada extremo.
- Compactada la última capa, enrasar la superficie del agregado con una regla, de modo que las partes salientes se compensen con las depresiones en relación con el plano de enrase. Determinar el peso del recipiente de medida lleno y peso del recipiente, registrar los pesos con aproximación de 0,05 kg (0,1lb).

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Peso unitario.- calcular el peso unitario compactado o suelto, como sigue:

$$M = \frac{(G - T)}{V} \quad (1)$$

$$M = (G - T) \times F \quad (2)$$

Donde:

- M = Peso unitario del agregado en kg/m³ (lb/pie³)
G = Peso del recipiente de medida más el agregado en kg (lb)
T = Peso del recipiente de medida en kg (lb)
V = Volumen del recipiente de medida en m³ (pie³), y
F = Factor del recipiente de medida en m⁻³ (pie⁻³)

El peso unitario determinado por este ensayo es para agregado en la condición seco. Si desea calcular el peso unitario en la condición saturado con superficie seca (SS), utilizar el procedimiento descrito en este método y en este caso calcular el peso unitario SSS utilizando la expresión:

$$M_{SSS} = M \cdot [1 + (G - T) \times F] \quad (3)$$

Donde:

- M_{SSS} = Peso unitario en la condición saturado
A = Porcentaje de absorción del agregado determinado de acuerdo con MTC E 205 o MTC E 206

- 7.1.2 Contenido de vacíos en los agregados.- calcular el contenido de vacíos en el agregado utilizando el peso unitario calculado según 10.1, como sigue:

$$\% \text{Vacíos} = \frac{(A \times W) - B}{A \times W} \quad (4)$$

Donde:

- A = Peso específico aparente según los procedimientos MTC E205.
B = Peso unitario de los agregados en kg/m³ (lb/pie³).
W = Densidad del agua, 998 kg/m³ (62,4 lb/pie³)

7.2 INFORME

- 7.2.1 Reportar los resultados del peso unitario con aproximación de 10 kg/m³ (1 lb/pie³), como sigue:

- Peso unitario compactado por apisonado, o
- Peso unitario compactado por percusión, o
- Peso unitario suelto

- 7.2.2 Reportar los resultados del contenido de vacíos con aproximación de 1%, como sigue:

- % Vacíos en el agregados compactado por apisonado, o
- Vacíos en el agregados compactado por percusión, o
- % Vacíos en el agregado suelto.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

- 8.1.1 Agregado grueso (Peso Unitario):

8.1.1.1 Precisión para un sólo operador.- la desviación estándar ha sido establecida en 14 kg/m³ (0,88 lb/pie³). Los resultados de dos ensayos realizados por un sólo operador con el mismo material no deben diferir en más de 40 kg/m³ (2,5 lb/pie³).

8.1.1.2 Precisión multilaboratorio.- la desviación estándar ha sido establecida en 30 kg/m³ (1,87 lb/pie³) por lo que dos resultados realizados en dos diferentes laboratorios con el mismo material no deben diferir en más de 85 kg/m³ (5,3 lb/pie³).

8.1.1.3 Estos valores de precisión, desviación estándar y máxima diferencia han sido establecidos para peso unitario por apisonado de agregados de peso normal y tamaño máximo nominal de 25 mm (1") utilizando un recipiente de medida de 14 L(1/2 pie³) de capacidad.

- 8.1.2 Agregado fino (Peso Unitario)

- 8.1.2.1 Precisión para un sólo operador.- la desviación estándar ha sido establecida en 14 kg/m³ (0,88 lb/pie³). Los resultados de dos ensayos realizados por un sólo operador con el mismo material no deben diferir en más de 40 kg/m³ (2,5 lb/pie³).
- 8.1.2.2 Precisión multilaboratorio.- la desviación estándar ha sido establecida en 44 kg/m³ (2,76 lb/pie³) por lo que dos resultados realizados en dos diferentes laboratorios con el mismo material no deben diferir en más de 125 kg/m³ (7,8 lb/pie³).
- 8.1.2.3 Estos valores de precisión, desviación estándar y máxima diferencia han sido establecidos para peso unitario suelto utilizando un recipiente de medida de 2,8 L (1/10 pie³) de capacidad.
- 8.2 Dispersión

El procedimiento en este método de ensayo para medición de la densidad bulk y contenido de vacíos no tiene dispersión porque los valores pueden ser definidos sólo en términos de método de ensayo.

Tabla 1
Capacidad de recipientes de medida

Tamaño Máximo Nominal del Agregado		Capacidad de recipiente de medida ^D	
Mm	pulgadas	L(m ³)	Pie ³
12,5	½	2,8 (0,0028)	1/10
25,0	1	9,3 (0,0093)	1/3
37,5	1 ½	14,0 (0,014)	½
75,0	3	28,0 (0,028)	1
112,0	4 ½	70,0 (0,070)	2 ½
150,0	6	100,0 (0,100)	3 ½

Tabla 2
Requisitos para los recipientes de medida

Espesor del metal, mínimo			
Capacidad de recipiente de medida	Fondo	Sobre 1 ½ pulg ó 38 mm de pared ^{AE}	Espesor Adicional
Menos de 0,4 pie ³	0,20 pulg	0,10 pulg	0,10 pulg
De 0,4 pie ³ a 1,5 pie ³ , incluido	0,20 pulg	0,20 pulg	0,12 pulg
Sobre 1,5 a 2,8 pie ³ , incluido	0,40 pulg	0,25 pulg	0,15 pulg
Sobre 2,8 a 4,0 pie ³ , incluido	0,50 pulg	0,30 pulg	0,20 pulg
Menos de 11 L	5,0 mm	2,5 mm	2,5 mm
11 a 42 L, incluido	5,0 mm	5,0 mm	3,0 mm
Sobre 42 a 80 L, incluido	10,0 mm	6,4 mm	3,8 mm
Sobre 80 a 113 L, incluido	13,0 mm	7,6 mm	5,0 mm

^D La medida indicada será utilizada para ensayar agregados con Tamaño Máximo Nominal igual o menor.

^E El espesor adicional en la parte superior de la pared se puede obtener al colocar una banda de refuerzo alrededor de la parte superior del recipiente de medida.

Tabla 3
Densidad del agua

Temperatura		Kg/m ³	lb/pie ³
°C	°F		
15,6	60	999,01	62,366
18,3	65	998,54	62,336
21,1	70	997,97	62,301
23,0	73,4	997,54	62,274
23,9	75	997,32	62,261
26,7	80	996,59	62,216
29,4	85	995,83	62,166

Tabla 4
Datos de precisión para muestras de ensayo de 300 g y 500 g

Muestra aprovechable de agregado fino				En cada laboratorio		Interlaboratorio	
Resultado de ensayo	Tamaño de muestra	Nº de laboratorios	Promedio	1s	d2s	1s	d2s
AASHTO T-11/ASTM C-117	500 g	270	1,23	0,08	0,24	0,23	0,66
Material total que pasa el tamiz N° 200 por vía húmeda (%)	300 g	264	1,20	0,10	0,29	0,24	0,68

MTC E 204

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar por medio de una serie de tamices de abertura cuadrada la distribución de partículas de agregados grueso y fino en una muestra seca de peso conocido.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

Se aplica para determinar la gradación de materiales propuestos para uso como agregados o los que están siendo usados como tales. Los resultados serán usados para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de partículas con los requisitos exigidos en la especificación técnica de la obra y proporcionar datos necesarios para el control de producción de agregados.

La determinación del material que pasa el tamiz de 75 μm (Nº 200) no se obtiene por este ensayo. El método de ensayo a emplear será: "Cantidad de material fino que pasa el tamiz de 75 μm (Nº 200) por lavado" (MTC E 202).

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 400.012: Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Balanzas: las balanzas usadas en el ensayo de agregados fino y grueso deben tener las siguientes características:

4.1.1.1 Para agregado fino, con aproximación de 0,1 g y sensibilidad a 0,1% del peso de la muestra que va a ser ensayada.

4.1.1.2 Para agregado grueso, con aproximación a 0,5 g y exactitud a 0,1% del peso de la muestra a ser ensayada.

4.1.2 Estufa: de tamaño adecuado y capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Tamices: tamices seleccionados de acuerdo con las especificaciones del material que va a ser ensayado.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Obtener la muestra de agregado de acuerdo a MTC E 201. El tamaño de la muestra de campo debe ser la cantidad indicada en este método.

5.2 Mezclar completamente la muestra y reducir para ensayo por cuarteo manual o mecánico. El agregado debe estar completamente mezclado y tener suficiente humedad para evitar la segregación y pérdida de finos. La muestra para ensayo debe tener la cantidad deseada cuando este seca y ser resultado final de reducción. No está permitido reducir a un peso exacto determinado.

5.3 Agregado fino: La cantidad de muestra de agregado fino, después de secado, debe ser de 300 g mínimo.

5.4 Agregado grueso. La cantidad de muestra de agregado grueso, después de secado, debe ser de acuerdo a lo establecido en la tabla 1.

Tabla 1
Cantidad mínima de muestra de agregado grueso

Tamaño Máximo Nominal Abertura Cuadrada		Cantidad mínima de muestra de ensayo
mm	(pulg)	Kg
9,5	(3/8)	1
12,5	(1/2)	2
19,0	(3/4)	5
25,0	(1)	10
37,5	(1 1/2)	15
50,0	(2)	20
63,0	(2 1/2)	35
75,0	(3)	60
90,0	(3 1/2)	100
100,0	(4)	150
125,0	(5)	300

- 5.5 Mezclas de agregados grueso y fino: la muestra será separada en dos tamaños, por el tamiz de 4,75 mm (Nº 4) y preparada de acuerdo con los numerales 5.3 y 5.4 respectivamente.
- 5.6 En caso se requiera determinar la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 µm (Nº 200), por el método de ensayo MTC E 202 se procede como sigue:
- 5.6.1 En agregados con tamaño máximo nominal de 12,5 mm (1/2") o menores utilizar la misma muestra de ensayo para MTC E 202 y este ensayo. Primero, ensayar la muestra de acuerdo con MTC E 202 completando operación de secado final y luego tamizar la muestra en seco como indica los numerales 6.2 hasta 6.8 del presente ensayo.
- 5.6.2 En agregados con tamaño máximo nominal mayor que 12,5 mm (1/2") se puede utilizar la misma muestra de ensayo como se describe en 6.1 o utilizar muestras por separado para MTC E 202 y este ensayo.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Secar la muestra a temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$, hasta obtener peso constante.

Nota 1. Cuando se desea resultados rápidos, no es necesario secar el agregado grueso para el ensayo debido que el resultado es poco afectado por el contenido de humedad a menos que:

- El Tamaño Máximo nominal sea menor de 12 mm (1/2")
 - El agregado grueso tenga una cantidad apreciable de finos menos que el tamiz Nº 4,75 mm (Nº4).
 - El agregado grueso se a latamente absorbente (por ejemplo los agregados ligeros.)
 - Las muestra también se pueden secar a temperaturas altas usando planchas calientes sin que afecten resultados, si se mantienen los escapes de vapor sin generar presiones suficientes para fracturar las partículas y temperaturas que no sean mayores para causar rompimiento químico del agregado.
- 6.2 Seleccionar la serie de tamices de tamaños adecuados para cumplir con las especificaciones del material a ensayar. Encajar los tamices en orden decreciente, por tamaño de abertura, y colocar la muestra sobre el tamiz superior. Efectuar el tamizado de forma manual o por medio de un tamizador mecánico, durante un período adecuado.
- 6.3 Limitar la cantidad de material en un tamiz determinado, de forma que todas las partículas tengan la oportunidad de alcanzar las aberturas del tamiz varias veces durante la operación del tamizado.

La cantidad retenida en tamices menores que 4,75 mm (Nº 4) cuando se complete la operación de tamizado, no debe ser mayor de 7 kg/m² de superficie tamizada.

Para tamices de 4,75 mm (Nº 4) y mayores, la cantidad retenida en kg por superficie tamizada no excederá el producto de 2,5 x abertura del tamiz (mm).

En ningún caso, la cantidad retenida debe ser mayor de modo que cause deformación permanente en la malla del tamiz.

Nota 2. La Cantidad de 7 kg/m² a 200g para el diámetro usual de 203 mm (8") con superficie efectiva de tamizado de 190,5 mm (7 1/2) de diámetro.

- 6.4 Prevenir sobrecarga de material sobre tamiz individual colocando un tamiz adicional con abertura intermedia entre el tamiz que va a ser sobrecargado y el tamiz inmediatamente superior en la disposición original de tamices; separando la muestra en dos o más porciones y tamizando cada porción; o utilizar tamices de mayor diámetro que provean mayor área de tamizado.
- 6.5 Continuar el tamizado por un período suficiente, de tal forma que después de terminado, no pase más del 1% de la cantidad en peso retenida en cada tamiz, durante un (1) minuto de tamizado manual como sigue: sostener individualmente cada tamiz, con su tapa y un fondo bien ajustado, con la mano en una posición ligeramente inclinada. Golpear el filo del tamiz, con un movimiento hacia arriba contra la palma de la otra mano, a razón de 150 veces por minuto, girando el tamiz aproximadamente 1/6 de vuelta en cada intervalo de 25 golpes. Se considera satisfactorio el tamizado para tamaños mayores al tamiz de 4,75 mm (Nº 4), cuando el total de las partículas del material sobre la malla forme una capa simple de partículas. Si el tamaño de los tamices hace impracticable el movimiento de tamizado recomendado, utilizar el tamiz de 203 mm (8") de diámetro para comprobar la eficiencia del tamizado.
- 6.6 En el caso de mezclas de agregados grueso y fino, la porción de muestra más fina que el tamiz de 4,75 mm (Nº 4) puede distribuirse entre dos o más juegos de tamices para prevenir sobrecarga de los tamices individuales.
- 6.7 Para partículas mayores de 75 mm (3"), el tamizado debe realizarse a mano, determinando la abertura del tamiz más pequeño por el que pasa la partícula.

Comenzar el ensayo con el tamiz de menor abertura a ser usado. Rotar las partículas si es necesario, con el fin de determinar si pasan a través de dicho tamiz; sin forzar para que pasen a través de éste.
- 6.8 Determinar el peso de la muestra retenido en cada tamiz, con una balanza que cumpla lo exigido en el numeral 5.1

El peso total del material después del tamizado, debe ser verificado con el peso original de la muestra ensayada. Si la cantidad difiere en más del 0.3% del peso seco original de la muestra, el resultado no debe ser usado con fines de aceptación.
- 6.9 Si la muestra fue ensayada previamente por el método descrito en MTC E 202, adicionar el peso del material más fino que la malla de 75 µm (Nº 200) determinado por método de tamizado seco.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Calcular el porcentaje que pasa, porcentaje total retenido, o porcentaje sobre cada tamiz con aproximación de 0,1% sobre la base del peso total de la muestra inicial seca. Si la muestra fue primero ensayada por el método MTC E 202, incluir el peso del material más fino que el tamiz de 75 µm (No. 200) por lavado en los cálculos de tamizado, y usar el total del peso de la muestra seca previamente lavada en el método mencionado, como base para calcular todos los porcentajes.

7.1.2 Cuando sea requerido, calcular el módulo de fineza, sumando los porcentajes retenidos, acumulados de cada una de los siguientes tamices y dividiendo la suma entre 100: 150 μm (Nº 100); 300 μm (Nº 50); 600 μm (Nº 30); 1,18 mm (Nº 16); 2,36 mm (Nº 8); 4,75 mm (Nº 4); 9,5 mm (3/8"); 19,0 mm (3/4"); 37,5 mm (1 1/2"); y mayores, incrementando en la relación de 2 a 1.

7.2 INFORME

7.2.1 Dependiendo de las especificaciones para uso del material que está siendo ensayado, el informe debe incluir:

7.2.1.1 Porcentaje total de material que pasa cada tamiz.

7.2.1.2 Porcentaje total de material retenido en cada tamiz, o

7.2.1.3 Porcentaje de material retenido entre dos tamices consecutivos.

7.2.2 Reportar los porcentajes en números enteros, excepto si el porcentaje que pasa tamiz de 75 μm (Nº 200) es menor del 10%, que se aproximará al 0,1% más cercano.

7.2.3 Cuando sea requerido, reportar el módulo de fineza con aproximación al 0,01.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 La estimación de precisión para este ensayo se muestra en la Tabla 2. Están basados sobre resultados del AASHTO Materials Reference Laboratory Proficiency Sample Program con ensayos realizados los métodos ASTM C- 136 y AASHTO T- 27.

Los datos se basan en resultados de 65 a 233 laboratorios que ensayaron 18 pares de muestras de referencia de agregado grueso y de 74 a 222 laboratorios que ensayaron 17 pares de muestras de referencia de agregado fino (muestras 21 al 90), los valores de la tabla se dan para diferentes rangos del porcentaje total del agregado que pasa un tamiz.

8.1.2 Los valores de precisión para el agregado fino de la Tabla 2 se realizaron con 500 g de muestra de ensayo. La revisión del método en 1994 permitió reducir la muestra a un mínimo de 300 g. El análisis de los resultados de muestras de referencia con 300 g y 500 g, las muestras 99 y 100 produjeron los valores de precisión de la Tabla 3 que indican solo diferencias menores debido al tamaño de la muestra.

8.2 DISPERSION

8.2.1 En tanto no haya un material de referencia adecuado aceptado para determinar la dispersión en este ensayo, no se establecerá la dispersión.

Tabla 2
Precisión

	% total de material que pasa	Desviación estándar (1s), %^F	Rango aceptable de dos resultados (d2s), %^A
Agregado grueso^G			
Precisión de un operador	< 100 ≥ 95	0,32	0,9
	< 95 ≥ 85	0,81	2,3
	< 85 ≥ 80	1,34	3,8
	< 80 ≥ 60	2,35	6,4
	< 60 ≥ 20	1,32	3,7
	< 20 ≥ 15	0,96	2,7
	< 15 ≥ 10	1,00	2,8
	< 10 ≥ 5	0,75	2,1
	< 5 ≥ 2	0,33	1,5
< 2 > 0	0,27	0,8	
Precisión multilaboratorio	< 100 ≥ 95	0,35	1,0
	< 95 ≥ 85	1,37	3,9
	< 85 ≥ 80	1,92	5,4
	< 80 ≥ 60	2,82	8,0
	< 60 ≥ 20	1,97	5,6
	< 20 ≥ 15	1,60	4,5
	< 15 ≥ 10	1,48	4,2
	< 10 ≥ 5	1,22	3,4
	< 5 ≥ 2	1,04	3,0
< 2 > 0	0,45	1,3	
Agregado fino			
Precisión de un operador	< 100 ≥ 95	0,26	0,7
	< 95 ≥ 60	0,55	1,6
	< 60 ≥ 20	0,83	2,4
	< 20 ≥ 15	0,54	1,5
	< 15 ≥ 10	0,36	1,0
	< 10 ≥ 2	0,37	1,1
	< 2 > 0	0,14	0,4
Precisión multilaboratorio	< 100 ≥ 95	0,23	0,6
	< 95 ≥ 60	0,77	2,2
	< 60 ≥ 20	1,41	4,0
	< 20 ≥ 15	1,10	3,1
	< 15 ≥ 10	0,73	2,1
	< 10 ≥ 2	0,65	1,8
< 2 > 0	0,31	0,9	

^F Estos números representan, respectivamente los límites (1s) y (d2s) descritos en la norma ASTM C 670.

^G La estimación de la precisión se basa en agregados de tamaño máximo nominal de 19,0 mm (3/4").

Tabla 3
Precisión para muestras de ensayo de 300 g y 500 g

Muestra de referencia de agregado fino				En el laboratorio		Entre laboratorios	
Resultados de los ensayos	Cantidad de muestra	Número de laboratorios	Promedio	1s	d2s	1s	d2s
ASTM C - 136/ AASHTO T 27							
Material total que pasa tamiz N° 4 (%)	500 g	285	99,922	0,027	0,066	0,037	0,104
	300 g	276	99,990	0,021	0,060	0,042	0,117
Material total que pasa tamiz N° 8 (%)	500 g	281	84,10	0,43	1,21	0,63	1,76
	300 g	274	84,32	0,39	1,09	0,69	1,92
Material total que pasa tamiz N° 16 (%)	500 g	286	70,11	0,53	1,49	0,75	2,10
	300 g	272	70,00	0,62	1,74	0,76	2,12
Material total que pasa tamiz N° 30 (%)	500 g	287	48,54	0,75	2,10	1,33	3,73
	300 g	276	48,44	0,87	2,44	1,36	3,79
Material total que pasa tamiz N° 50 (%)	500 g	286	13,52	0,42	1,17	0,98	2,73
	300 g	275	13,51	0,45	1,25	0,99	2,76
Material total que pasa tamiz N° 100 (%)	500 g	287	2,55	0,15	0,42	0,37	1,03
	300 g	270	2,52	0,18	0,52	0,32	0,89
Material total que pasa tamiz N° 200 (%)	500 g	278	1,32	0,11	0,32	0,31	0,85
	300 g	266	1,30	0,14	0,39	0,31	0,85

MTC E 206

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS GRUESOS

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer un procedimiento para determinar el peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción (después de 24 horas) del agregado grueso. El peso específico saturado con superficie seca y la absorción están basadas en agregados remojados en agua después de 24 horas. Este modo operativo no es aplicable para agregados ligeros.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Una muestra de agregado se sumerge en agua por 24 horas aproximadamente para llenar los poros esencialmente. Luego se retira del agua, se seca el agua de la superficie de las partículas, y se pesa. La muestra se pesa posteriormente mientras es sumergida en agua. Finalmente la muestra es secada al horno y se pesa una tercera vez. Usando los pesos así obtenidos y fórmulas en este modo operativo, es posible calcular tres tipos de peso específico y de absorción.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 400.021: Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso.

4.0 EQUIPOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Balanza: Sensible a 0,5 g y con capacidad de 5 000 g ó más. La balanza estará equipada con un dispositivo capaz de suspender la muestra en la cesta con malla de alambre en el recipiente con agua desde el centro de la plataforma de pesado.
- 4.1.2 Cesta con malla de alambre: Con abertura correspondiente al tamiz N° 6 o abertura menor, también se puede utilizar un recipiente de aproximadamente igual ancho y altura con capacidad de 4 a 7 L para tamaños máximos nominales de 37,5 mm (1 ½ pulg) o menores, y un cesto más grande como sea necesario para ensayar agregados con tamaños máximos mayores. El cesto deberá ser construido de tal forma de prevenir el aire atrapado cuando esté sumergido.
- 4.1.3 Depósito de agua: Un depósito estanco adecuado para sumergir la cesta de alambre en el agua y un dispositivo para suspenderla del centro de la escala de la balanza.
- 4.1.4 Tamices: Un tamiz normalizado de 4,75 mm (N° 4) o de otros tamaños como sean necesarios, de acuerdo a la N.T.P. 350.001.
- 4.1.5 Estufa: Una estufa capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C

5.0 MUESTRA

- 5.1 Se seleccionará la muestra siguiendo el modo operativo MTC E 201.
- 5.2 Mezclar la muestra y reducirla aproximadamente a la cantidad necesaria usando el procedimiento descrito en la ASTM C 702. Descartar todo el material que pase el tamiz 4,75 mm (N° 4) por tamizado seco y luego lavar el material para remover polvo u otras impurezas superficiales. Si el agregado grueso contiene cantidades importantes de material más fino que el tamiz 4,75 mm (N° 4) (tales como tamaños N° 8 y 9 considerados en la Clasificación de la ASTM D 448), usar el tamiz 2,36 mm (N° 8) en vez del tamiz 4,75 mm (N° 4). Alternativamente, separar el material más fino que el tamiz 4,75 mm y ensayarlo de acuerdo al Modo Operativo E 205.
- 5.3 El peso mínimo de la muestra de ensayo que será usado se presenta en la Tabla 1.

TABLA 1
Peso mínimo de la muestra de ensayo

Tamaño Máximo Nominal mm (pulg)	Peso Mínimo de la Muestra de Ensayo Kg (lb)
12,5 (1/2) o menos	2 (4,4)
19,0 (3/4)	3 (6,6)
25,0 (1)	4 (8,8)
37,5 (1 ½)	5 (11)
50,0 (2)	8 (18)
63,0 (2 ½)	12 (26)
75,0 (3)	18 (40)
90,0 (3 ½)	25 (55)
100,0 (4)	40 (88)
112,0 (4 ½)	50 (110)
125,0 (5)	75 (165)
150,0 (6)	125 (276)

- 5.4 Si la muestra es ensayada en dos o más fracciones de tamaños, determinar la gradación de la muestra de acuerdo con lo indicado en el Modo Operativo MTC E 204.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Secar la muestra a peso constante, a una temperatura de $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$, ventilar en lugar fresco a temperatura ambiente de 1 a 3 horas para muestras de ensayo de tamaños máximos nominales de 37,5 mm (1 ½ pulg) o mayores para tamaños más grandes hasta que el agregado haya enfriado a una temperatura que sea cómoda al tacto (aproximadamente 50 °C). Inmediatamente sumergir el agregado en agua a una temperatura ambiente por un período de $24\text{ h} \pm 4\text{ h}$.

Nota 1. Cuando se ensaya agregado grueso de tamaños máximos nominales mayores, sería conveniente realizar el ensayo en dos o más sub muestras, y los valores obtenidos combinarlos por cómputo.

- 6.2 Cuando los valores de peso específico y la absorción van a ser usados en proporcionamiento de mezclas de hormigón (concreto) en los cuales los agregados van a ser usados en su condición natural de humedad, el requerimiento inicial de secado a peso constante puede ser eliminada y, si las superficies de las partículas de la muestra van a ser mantenidas continuamente húmedas antes de ensayo, el remojo de 24 h puede ser eliminado.
- 6.3 Remover la muestra del agua y hacerla rodar sobre un paño grande y absorbente, hasta hacer desaparecer toda película de agua visible, aunque la superficie de las partículas aún parezca húmeda. Secar separadamente en fragmentos más grandes. Se debe tener cuidado en evitar la evaporación durante la operación del secado de la superficie. Se obtiene el peso de la muestra bajo la condición de saturación con superficie seca. Se determina éste y todos los demás pesos con aproximación de 0,5 g o al 0,05% del peso de la muestra, la que sea mayor.
- 6.4 Después de pesar, se coloca de inmediato la muestra saturada con superficie seca en la cesta de alambre y se determina su peso en agua a una temperatura entre $23\text{ °C} \pm 1,7\text{ °C}$, densidad $997 \pm 2\text{ kg/m}^3$. Tener cuidado de remover todo el aire atrapado antes del pesado sacudiendo el recipiente mientras se sumerge.
- 6.5 Secar la muestra hasta peso constante, a una temperatura entre $100\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ y se deja enfriar hasta la temperatura ambiente, durante 1 a 3 h o hasta que el agregado haya enfriado a una temperatura que sea cómoda al tacto (aproximadamente 50 °C) y se pesa.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Peso Específico:

a) Peso Específico de masa (P_{em})

$$P_{em} = \frac{A}{(B - C)} \times 100$$

Donde:

- A = Peso de la muestra seca en el aire, gramos;
B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire, gramos;
C = Peso en el agua de la muestra saturada.

b) Peso específico de masa saturada con superficie seca (P_{eSSS})

$$P_{eSSS} = \frac{B}{(B - C)} \times 100$$

c) Peso específico aparente (P_{ea})

$$P_{ea} = \frac{A}{(A - C)} \times 100$$

7.1.1 Absorción (A_b)

$$A_b(\%) = \frac{(B - A)}{A} \times 100$$

7.2 INFORME

7.2.1 Informar el resultado del peso específico con aproximación a 0,01, e indicar el tipo de peso específico, ya sea de masa, saturado superficialmente seco o aparente.

7.2.2 Informar el resultado de absorción con aproximación a 0,1 %.

7.2.3 Si los valores de peso específico y absorción fueron determinados sin el primer secado del agregado, como se permite en el apartado 6.2, será notificado en el reporte.

MTC E 207.

ABRASION LOS ANGELES (L.A.) AL DESGASTE DE LOS GREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37,5 mm (1 ½")

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer el procedimiento para ensayar agregados gruesos de tamaños menores que 37,5 mm (1 ½") para determinar la resistencia a la degradación utilizando la Máquina de Los Ángeles.

Nota 1. En el Anexo se presenta un procedimiento para ensayar agregados gruesos de tamaños mayores que 19,0 mm (3/4 pulg).

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este Modo Operativo es una medida de la degradación de agregados minerales de gradaciones normalizadas resultantes de una combinación de acciones, las cuales incluyen abrasión o desgaste, impacto y trituración, en un tambor de acero en rotación que contiene un número especificado de esferas de acero, dependiendo de la gradación de la muestra de ensayo. Al rotar el tambor, la muestra y las bolas de acero son recogidas por una pestaña de acero transportándolas hasta que son arrojadas al lado opuesto del tambor, creando un efecto de trituración por impacto. Este ciclo es repetido mientras el tambor gira con su contenido. Luego de un número de revoluciones establecido, el agregado es retirado del tambor y tamizado para medir su degradación como porcentaje de pérdida.
- 2.2 Los valores están establecidos en unidades del Sistema Internacional y serán considerados como estándar.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 400.019: Agregados. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por Abrasión e Impacto en la Máquina de Los Ángeles.

4.0 EQUIPOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Máquina de Los Ángeles: La Máquina de Los Ángeles tendrá las características esenciales que se muestran en la Figura 1 (Anexo A). La máquina consistirá en un cilindro hueco de acero, cerrado en ambos extremos, de dimensiones mostradas en la Figura 1, con un diámetro interior de 711 mm \pm 5 mm (28 pulg \pm 0,2 pulg) y una longitud interior de 508 mm \pm 5 mm (20 pulg \pm 0,2 pulg). El cilindro será montado sobre ejes salientes de sus costados, no pasantes, de tal manera que pueda rotar con el eje en posición horizontal, con una tolerancia en la inclinación de 1 en 100. El cilindro debe tener una abertura para la introducción de la muestra de ensayo. Tiene una cubierta hermética al polvo y provista de medios para atornillarla en su lugar. El cobertor también será diseñado para mantener el contorno cilíndrico de la superficie interior. Una pestaña removible de acero, que abarque toda la longitud del cilindro y se proyecte radialmente hacia adentro 89 mm \pm 2 mm (3,5 pulg \pm 0,1 pulg), será montada en el interior de la superficie cilíndrica del cilindro, de tal manera que un plano centrado en la cara mayor coincida con un plano axial. La pestaña deberá ser de 25,4 mm de espesor y montada por tornillos u otros medios de tal modo que quede firme y rígida. La localización de la pestaña se hará de tal manera que la muestra y las esferas de acero no impacten en las cercanías de la abertura y su cubierta; y, la distancia desde la pestaña hasta la abertura, medida a lo largo de la circunferencia del exterior del cilindro en la dirección de rotación, no será menor de 1 270 mm (50 pulg). Inspeccionar periódicamente la pestaña para determinar que no está inclinada a lo largo o desde su posición normal radial con respecto al cilindro. Si se encuentra una de estas condiciones, repare o reemplace la pestaña antes de realizar futuros ensayos.

Nota 2. Es preferible el uso de una pestaña de acero resistente al desgaste de sección rectangular y montada independientemente de la cubierta. No obstante se puede utilizar una pestaña que consiste en una sección de perfil angular laminado, apropiadamente montada en el interior del plato cobertor, provisto que la dirección de rotación es tal que la carga sea recogida sobre la cara exterior del ángulo.

4.1.1.1 La máquina deberá ser impulsada y equilibrada como para mantener una velocidad periférica uniforme (Nota 3). Si se utiliza un ángulo como pestaña, la dirección de rotación deberá ser tal que la carga sea recogida sobre la cara exterior del ángulo.

Nota 3. Una pérdida de carrera en el mecanismo de impulsión puede arrojar resultados que no sean reproducidos por otra Máquina de Los Ángeles con velocidad periférica constante.

4.1.2 Tamices: Conforme con la NTP 350.001.

4.1.3 Balanza: Una balanza o báscula con exactitud al 0,1 % de la carga de ensayo sobre el rango requerido para este ensayo.

4.1.4 Carga: La carga consistirá en esferas de acero de aproximadamente 46,8 mm (1 27/32 pulg) de diámetro y cada una tendrá una masa entre 390 g y 445 g.

4.1.4.1 La carga, dependiendo de la gradación de la muestra de ensayo como se describe en el Item 5, será como sigue:

Gradación	Número de Esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2 500 ± 15

Nota 4. Podrá utilizarse cojinetes de bola de 46,00 mm (1 13/16 pulg) y 47,6 mm (1 7/8 pulg) de diámetro, cada una con una masa de aproximadamente de 400 g y 440 g, respectivamente. Podrán utilizarse también esferas de acero de 46,8 mm (1 27/32 pulg) de diámetro con una masa de aproximadamente 420 g. La carga podrá consistir en una mezcla de estas medidas conforme a las tolerancias de masa indicadas en los apartados 4.1.4 y 4.1.4.1.

5.0 MUESTRA

5.1 Lavar y secar al horno la muestra reducida a peso constante, a 110 ± 5 °C (véase apartado 6.2), separar cada fracción individual y recombinar a la gradación de la Tabla 1, lo más cercano correspondiendo al rango de medidas en el agregado como conforme para el trabajo. Registrar la masa de la muestra previamente al ensayo con aproximación a 1 g.

Tabla 1
Gradación de las muestras de ensayo

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado, g			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37,5 mm (1 1/2")	25,0 mm (1")	1 250 ± 25	-.-	-.-	-.-
25,0 mm (1")	19,0 mm (3/4")	1 250 ± 25	-.-	-.-	-.-
19,0 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	1 250 ± 10	2 500 ± 10	-.-	-.-
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	1 250 ± 10	2 500 ± 10	-.-	-.-
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (1/4")	-.-	-.-	2 500 ± 10	-.-
6,3 mm (1/4")	4,75 mm (Nº 4)	-.-	-.-	2 500 ± 10	-.-
4,75 mm (Nº 4)	2,36 mm (Nº 8)	-.-	-.-		5 000
TOTAL		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

- 5.2 Se obtendrá una muestra de campo de acuerdo con MTC E 201 y se reducirá a un tamaño adecuado de acuerdo con la ASTM C 702.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Colocar la muestra de ensayo y la carga en la máquina de Los Ángeles y rotarla a una velocidad entre 30 rpm a 33rpm, por 500 revoluciones. Luego del número prescrito de revoluciones, descargar el material de la máquina y realizar una separación preliminar de la muestra, sobre el tamiz normalizado de 1,70 mm (Nº 12). Tamizar la porción más fina que 1,70 mm conforme al Modo Operativo MTC E 204. Lavar el material más grueso que la malla de 1,70 mm y secar al horno a 110 ± 5 °C, hasta peso constante (véase el apartado 6.2) y determinar la masa con una aproximación a 1 g (Nota 6).

- 6.2 Si el agregado está esencialmente libre de revestimiento y polvo el requerimiento de lavado puede ser obviado, pero siempre se requiere secar antes del ensayo. Por lo tanto, en el caso del ensayo de arbitraje se efectuará el lavado.

Nota 5. La eliminación del lavado después del ensayo raramente reducirá las pérdidas de medida en más de 0,2 % de la masa original de la muestra.

Nota 6. Información válida sobre la uniformidad de la muestra de ensayo podrá obtenerse por la determinación de la pérdida luego de 100 revoluciones. Esta pérdida podría ser determinada sin lavado del material más grueso que el tamiz normalizado de 1,70 mm (Nº 12). La relación de la pérdida después de 100 revoluciones frente a la pérdida luego de 500 revoluciones no excedería mayormente 0,20 para material de dureza uniforme. Cuando se realiza esta determinación, tener cuidado de evitar pérdida de alguna parte de la muestra, retornar la muestra entera incluyendo el polvo de la fractura, a la máquina de ensayo para las 400 revoluciones finales requeridas para completar el ensayo.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.2 Calcular la pérdida (diferencia entre la masa inicial y final de la muestra) como un porcentaje de la masa original de la muestra de ensayo. Informar este valor como el porcentaje de pérdida.

Nota 7. El porcentaje de pérdida determinado por éste método no tiene una relación consistente conocida con el porcentaje de pérdida del mismo material cuando se determina por el Modo Operativo MTC E 207: Anexo.

7.2 INFORME

- 7.2.1 Proporcionar la siguiente información:

- Identificación del agregado como fuente, tipo y tamaño nominal máximo.
- Gradación de acuerdo con la Tabla 1, utilizada para el ensayo; y
- Pérdida por abrasión e impacto de la muestra, expresada con aproximación al 1 % por masa.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION.

Para tamaño máximo nominal de agregado grueso de 19,0 mm (3/4 pulg), con porcentajes de pérdida en el rango de 10 % a 45 %, el coeficiente de variación multilaboratorio ha sido establecido en 4,5 %. Luego, los resultados de dos ensayos efectuados por dos laboratorios diferentes con muestra del mismo agregado grueso, no diferirán en más de 12,7 % de su promedio. El coeficiente de variación para un mismo operador ha sido establecido en 2%. Luego, los resultados de dos ensayos efectuados por el mismo operador con muestras del mismo agregado grueso, no diferirán en más de 5,7 % de su promedio.

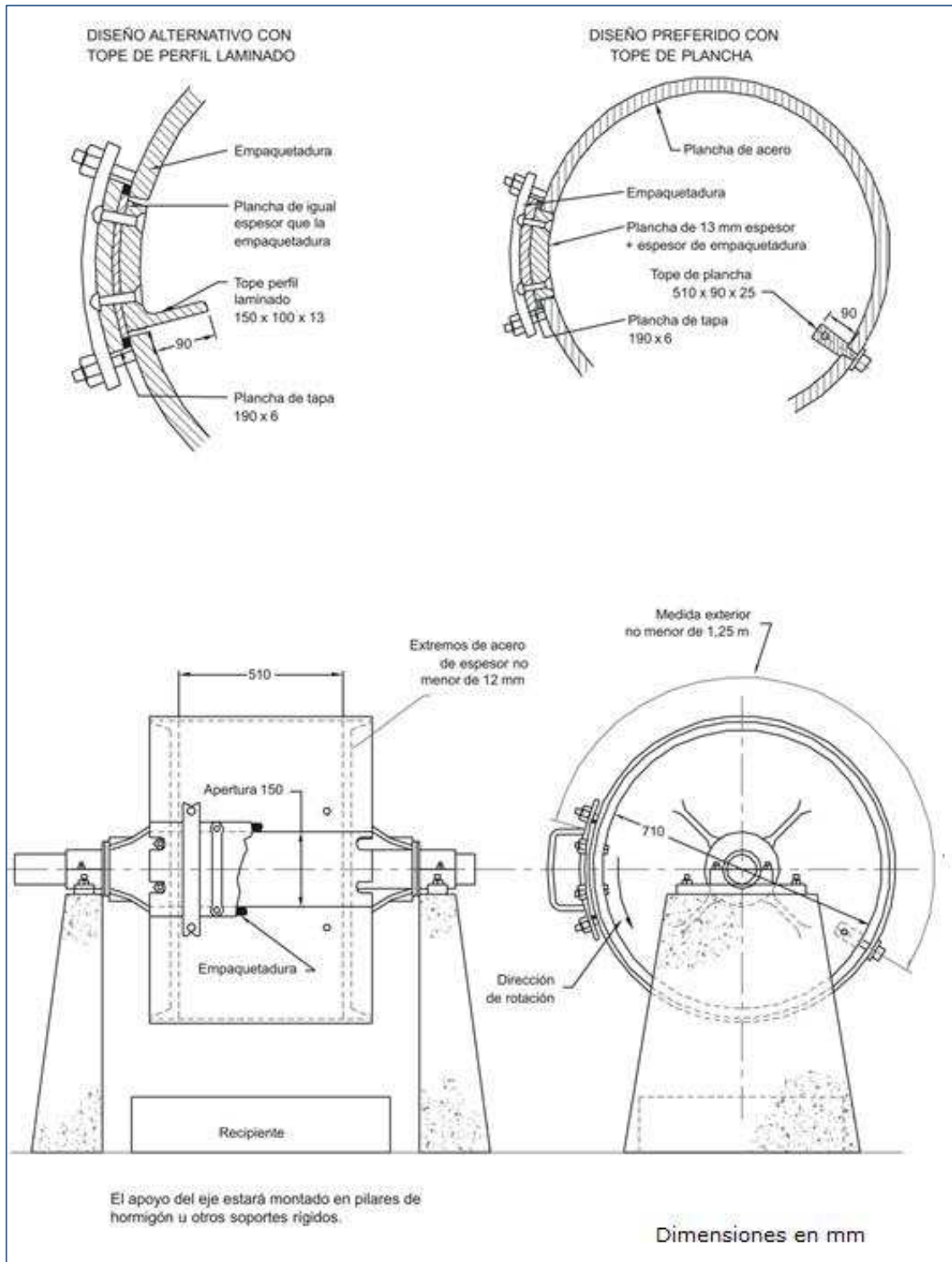


Figura 1. Máquina de ensayo de abrasión Los Ángeles

MTC E 702

ELABORACION Y CURADO DE ESPECIMENES DE HORMIGON (CONCRETO) EN EL LABORATORIO

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer el procedimiento para la elaboración y curado de muestras de concreto en el laboratorio bajo estricto control de materiales y condiciones de ensayo, usando concreto compactado por apisonado o vibración.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Esta práctica proporciona requisitos normalizados para la preparación de materiales, mezclas de concreto y la elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayo bajo condiciones controladas.
- 2.2 Si la preparación de los especímenes se controla como lo indica esta norma, ellos se pueden emplear para obtener información útil en:
- 2.2.1 Dosificación de mezclas de concreto.
- 2.2.2 Evaluación de diferentes mezclas y materiales.
- 2.2.3 Correlaciones con resultados de pruebas no destructivas, y
- 2.2.4 Elaboración de especímenes con fines de investigación.
- 2.3 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados como la norma.
- 2.4 Esta norma no pretende considerar los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien emplee esta norma, establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y determinar la aplicación de limitaciones regulatorias antes de su empleo.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 339.183 CONCRETO. Practica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio.
- 3.2 ASTM C 192 Standard Practices for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory.

4.0 EQUIPO Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Moldes en general – Los moldes para las muestras y los sujetadores de dichos moldes que deben estar en contacto con el concreto deben ser de acero, hierro forjado, o de otro material no absorbente y que no reaccione con el concreto utilizado en los ensayos. Los moldes deben estar hechos conforme a las dimensiones y tolerancias especificadas en el método para el cual van a ser usados. Los moldes deben ser herméticos de tal forma que no se escape el agua de la mezcla contenida. Un sellante apropiado como arcilla, parafina, grasa o cera microcristalina, puede ser utilizado para impedir filtraciones por las uniones. Para fijar el molde a la base del mismo, éste debe tener medios adecuados para ello. Los moldes reutilizables se deben cubrir ligeramente con aceite mineral o un material apropiado de desprendimiento, antes de su uso.
- 4.1.2 Moldes cilíndricos reutilizables
- 4.1.2.1 Moldes para fabricación de muestras para pruebas verticales – Deben estar hechos de un metal de alta resistencia o de otro material rígido no absorbente.
- El plano transversal del cilindro debe ser perpendicular al eje del cilindro.
- La tolerancia en la medida del diámetro exigido debe ser de $\pm 2,0$ mm y en la altura la tolerancia será de $\pm 6,0$ mm
- Los moldes de 150 mm de diámetro por 300 mm de altura, deben estar de acuerdo con la especificación ASTM C-470 "Molds For Forming Concrete Test Cylinders Vertically".

4.1.2.2 Moldes para fabricación de muestras para pruebas de flujo plástico (Creep)

El uso de moldes horizontales está proyectado solamente para especímenes de flujo plástico (creep) que contienen medidores de deformación embebidos axialmente. Los moldes para cilindros de flujo plástico (creep) que van a ser llenados mientras se sostienen en posición horizontal deben tener un canal alimentador paralelo al eje del molde que se extienda a todo lo largo para recibir el concreto. El ancho del canal debe ser de la mitad del diámetro del espécimen. Si es necesario, los bordes del canal pueden ser reforzados para mantener la estabilidad dimensional. A menos que los especímenes vayan a ser refrendados para obtener extremos planos, los moldes deberán estar equipados con dos placas maquinadas de metal para las bases. Estas placas deben ser de, por lo menos, 1" (25 mm) de espesor y las superficies de trabajo deben cumplir con los requerimientos de ser planas y regulares superficialmente como se indica en la norma ASTM C 617. Se deben tomar las medidas necesarias para fijar las placas firmemente al molde. La superficie interna de cada placa de base debe estar provista de, por lo menos, tres uñas o pernos de aproximadamente 1" (25 mm) de largo, sujetos firmemente a la placa para empotrarse en el concreto. Una placa base debe perforarse desde adentro en un ángulo que permita al alambre del medidor de deformación salir del espécimen a través del borde de la placa. Se deben tomar las medidas necesarias para colocar con precisión el medidor de deformación. Todos los orificios necesarios deben ser lo más pequeños que sea posible, para minimizar alteraciones en las subsecuentes medidas de deformación y deben ser sellados para prevenir escapes.

4.1.3 Vigas y moldes prismáticos – Deben ser de forma rectangular (salvo que se especifique de otro modo) y de las dimensiones requeridas para producir especímenes del tamaño deseado. La superficie interior del molde debe ser lisa, y las caras interiores deben ser perpendiculares entre sí y libres de torceduras u ondulaciones.

La tolerancia en las dimensiones nominales de la sección transversal será de $\pm 3,2$ mm (1/16") para dimensiones mayores o iguales a 152 mm (6") y de $\pm 1,6$ mm (1/16") para dimensiones menores de 152 mm (6").

Excepto para muestras destinadas a ensayos de flexión, la longitud nominal de los moldes debe tener una tolerancia de 1,6 mm (1/16"). Los moldes para ensayos de flexión no deberán tener una longitud inferior en más de 1,6 mm (1/16") con respecto a la longitud especificada, pero puede excederse dicha longitud en más del valor mencionado.

4.1.4 Varilla compactadora – Debe ser de acero, cilíndrica y su extremo compactador debe ser hemisférico con radio igual al radio de la varilla. Según el diámetro y longitud, la varilla compactadora puede ser de dos tipos:

4.1.4.1 Varilla compactadora larga – De diámetro igual a 16 mm (5/8"), y aproximadamente 600 mm (24") de longitud.

4.1.4.2 Varilla compactadora corta – De diámetro igual a 10 mm (3/8") y aproximadamente 300 mm (12") de longitud.

4.1.5 Martillo – Debe ser de caucho, que pese $0,57 \pm 0,23$ kg ($1,25 \pm 0,5$ lb).

4.1.6 Vibradores:

4.1.6.1 Vibradores Internos – Pueden ser de eje rígido o flexible, preferiblemente accionados por motores eléctricos. La frecuencia de vibración debe ser de 7000 rpm o mayor. El diámetro de un vibrador redondo no debe ser mayor de la cuarta parte del diámetro del cilindro ni de la cuarta parte del ancho de la viga o del molde prismático. Vibradores de otras formas deberán tener un perímetro equivalente a la circunferencia de un vibrador redondo apropiado.

La longitud total de vibrador y brazo deberá exceder a la profundidad de la sección que está siendo vibrada en 76,0 mm (3"), como mínimo.

- 4.1.6.2 Vibradores externos – Pueden ser de mesa o de plancha. La frecuencia de vibración debe ser de 3600 rpm o mayor y su construcción debe ser tal, que el molde quede firme y asegurado sobre la mesa. Se debe usar un tacómetro para controlar la frecuencia de vibración.
- 4.1.7 Cono para medir el asentamiento – Debe cumplir con los requisitos indicados en la norma MTC E 705.
- 4.1.8 Recipientes para muestreo y mezcla – Deben ser de fondo plano, metálico, de alto calibre, impermeable, de profundidad adecuada y de suficiente capacidad para permitir una mezcla fácil de toda la bachada con una pala o palustre o, si la mezcla se hace de manera mecánica, para recibir toda la bachada de la descarga del mezclador y permitir la remezcla en el recipiente con la pala o palustre.
- 4.1.9 Aparatos para medir el contenido de aire – El aparato para medir el contenido de aire debe cumplir con lo establecido en la norma MTC E 706.
- 4.1.10 Balanzas – Las balanzas para determinar la masa de las muestras deben tener una precisión de 0,30%.
- 4.1.11 Mezcladora de concreto – La mezcladora puede ser mecánica o manual. Para concretos con asentamiento inferior a 25 mm (1"), es más apropiado utilizar un recipiente mezclador (mezcla manual) que una mezcladora de tambor reclinable. Es aconsejable, cuando en tal caso tenga que utilizarse esta última, reducir la rata de rotación y el ángulo de inclinación del tambor y trabajarla a una capacidad inferior a la especificada por el fabricante.
- 4.1.12 Equipo Misceláneo – Tamices, palas, palustres, reglas, guantes de caucho, calibrador de espesores, etc.
- 4.1.13 Termómetro – Debe cumplir los requisitos de la norma ASTM C 1064.
- 4.1.14 Equipo para tamizado por vía húmeda – Si se requiere este tipo de tamizado, el equipo deberá satisfacer los requisitos de la norma MTC E 701.

4.2 MATERIALES

Temperatura: Los materiales deben ser llevados a una temperatura uniforme, preferiblemente entre 20° a 30°C, antes de ser mezclados excepto cuando se estipule otra temperatura.

- 4.2.1 Cemento - El cemento se debe almacenar en recipientes impermeables (preferiblemente metálicos) y colocados en un lugar seco. Debe ser mezclado perfectamente para proveer un suministro uniforme durante todo el ensayo.

Debe ser pasado por el tamiz de 850 μm (N° 20) para retirar cualquier grumo, ser mezclado de nuevo sobre un plástico y retornado al recipiente.

- 4.2.2 Agregados - Para evitar la segregación del agregado grueso, el agregado se debe separar en fracciones de tamaño individual y recombinar luego, para cada bachada, con las proporciones necesarias para producir la gradación deseada.

Cuando una fracción de tamaño está presente en cantidad superior al 10%, el cociente entre el tamaño del tamiz superior y el del inferior no debe exceder de 2,0. Grupos aún más cercanos de tamaño resultan aconsejables.

A menos que el agregado fino se separe en fracciones de tamaño individual, se debe mantener en condición húmeda, o devolver a su condición húmeda hasta que sea usado, para prevenir la segregación, a menos que el material uniformemente grado se subdivida en lotes de tamaño de bachada usando un cuarteador con aberturas de tamaño adecuado. Si se están estudiando gradaciones inusuales, se puede necesitar secar y separar el agregado fino en fracciones de tamaño individual. En este caso, si la cantidad total requerida de agregado fino es mayor que la que se puede mezclar de forma eficiente como una sola unidad, las fracciones de tamaño individual deben ser pesadas en las cantidades requeridas para cada bachada individual. Si la cantidad total de agregado fino requerida es tal que se puede mezclar perfectamente y mantener en una condición

húmeda, entonces se deberá manejar de esta manera. El peso específico y la absorción de los agregados se deberán determinar de acuerdo con las normas MTC E 205 e MTC E 206.

Antes de incorporarse en el concreto, el agregado se debe preparar a una condición definida y uniforme de humedad. El peso del agregado que va a ser usado en la bachada se debe determinar por uno de los siguientes procedimientos:

- Los agregados de baja absorción (absorción inferior al 1,0%) pueden ser pesados en un ambiente seco, teniendo en cuenta la cantidad de agua que será absorbida por el concreto sin fraguar. Este procedimiento es particularmente útil para el agregado grueso, el cual puede ser reducido a bachadas como tamaños individuales; debido al peligro de la segregación, este procedimiento puede ser usado con el agregado fino únicamente cuando tal agregado se ha separado en tamaños individuales.
- Las fracciones de tamaños individuales de agregado pueden ser pesadas separadamente, recombinadas en un recipiente tapado en las cantidades requeridas para la bachada y sumergidas en agua por 24 horas, antes de su uso. Después de la inmersión, se deja decantar el exceso de agua y se determina el peso del agregado combinado junto con el agua de mezcla. Se debe tener en cuenta la cantidad de agua absorbida por el agregado.
- El agregado se puede llevar hasta una condición saturada y mantenerse en ella, con una humedad superficial suficiente para evitar pérdidas por drenaje, al menos 24 horas antes de su uso. Cuando se utiliza este método, la humedad del agregado debe ser determinada para poder calcular las cantidades de agregado saturado que se van a utilizar. La humedad superficial debe considerarse como parte del agua de mezcla. Este método descrito (humedad un poco por encima de la cantidad de absorción), es particularmente útil para agregados finos. Es menos usado para agregados gruesos, debido a la dificultad para encontrar con precisión la humedad, pero si se usa, cada fracción de tamaño individual debe manejarse separadamente para asegurar la obtención de la gradación apropiada.
- Los agregados fino y grueso pueden ser llevados hasta una condición saturada y superficialmente seca y mantenidos en ella, hasta que sean formadas las bachadas para su uso. Este método se usa principalmente para preparar material para bachadas que no excedan de $0,007 \text{ m}^3$ ($\frac{1}{4} \text{ pie}^3$) en volumen. Se debe tener mucho cuidado en evitar el secado durante su pesaje y su uso.

Agregados livianos – Estos agregados tienen generalmente un grado de absorción tal que ninguno de los procedimientos descritos es aplicable para ellos. La humedad de estos agregados en el momento del mezclado puede tener efectos importantes sobre las propiedades de los concretos, frescos y endurecidos, tales como pérdida de asentamiento, resistencia a la compresión, y al congelamiento y deshielo.

- 4.2.3 Aditivos – Los aditivos en polvo que son enteramente o en parte insolubles, que no contengan sales higroscópicas y que tengan que ser agregados en cantidades pequeñas, deben ser mezclados con una porción de cemento antes de introducir la mezcla en la mezcladora, de manera de asegurar su perfecta distribución en el concreto.

Los aditivos insolubles que son usados en cantidades excedentes al 10% en masa del cemento, como las puzolanas, deben ser manejados y adicionados a la mezcla en la misma forma como se maneja el cemento.

Los aditivos en polvo altamente insolubles, pero que contienen sales higroscópicas, pueden causar la aglomeración del cemento y deben ser mezclados con la arena antes de introducirlos a la mezcladora.

Los aditivos que son solubles en agua y los aditivos líquidos, deben ser adicionados a la mezcladora en solución con el agua de la mezcla. La cantidad de tal solución usada debe ser incluida en el cálculo del agua de la mezcla.

Los aditivos que son incompatibles en su forma concentrada, tales como las soluciones de cloruro de calcio y algunos aditivos incluso de aire y retardantes de fraguado, no deben ser entremezclados antes de ser adicionados al concreto.

El tiempo, la secuencia y el método utilizados para adicionar algunos aditivos a la mezcla de concreto, pueden tener efectos importantes sobre propiedades tales como el tiempo de fraguado y el contenido de aire.

El método seleccionado para la adición de aditivos se debe mantener inalterable de una mezclada a otra.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Muestras cilíndricas – Puede ser de varios tamaños, siendo el mínimo de 50,0 mm (2") de diámetro por 100 mm (4") de longitud.

Si se desea establecer correlaciones o comparaciones con cilindros elaborados en el campo, los cilindros deberán ser de 150 mm x 300 mm (6" x 12"). De lo contrario, las dimensiones dependerán de lo indicado en la Sección 4.4 de esta norma y del método específico de ensayo.

Las muestras cilíndricas para los ensayos, exceptuando las destinadas al flujo plástico bajo carga (creep), deben ser moldeadas con el eje del cilindro vertical y dejándolo en esta posición durante el fraguado.

Los especímenes cilíndricos para flujo plástico bajo carga (creep), deben ser moldeados con el eje cilíndrico, ya sea vertical u horizontal y puede permitirse su endurecimiento en la posición en la cual fueron moldeados.

- 5.2 Muestras prismáticas – Las vigas para ensayos de flexión, prismas para congelamiento y deshielo, compresión, adherencia, cambios de longitud o de volumen, deben ser elaboradas con el eje longitudinal en posición horizontal, a menos que el ensayo en cuestión lo exija de otra manera, y sus dimensiones se deberán ajustar a los requisitos especificados de cada ensayo.

- 5.3 Otras muestras – Otras formas y tamaños de muestras para ensayos específicos pueden ser elaboradas de acuerdo con las condiciones generales especificadas en esta norma.

- 5.4 Tamaño de la muestra de acuerdo con el tamaño del agregado – El diámetro de una muestra cilíndrica o la mínima dimensión de una sección transversal rectangular debe ser, por lo menos, 3 veces mayor que el tamaño máximo nominal del agregado grueso utilizado en la elaboración de la mezcla.

Partículas superiores al tamaño máximo nominal, que presenten de manera ocasional, deben ser retiradas de la mezcla, durante el moldeo. Cuando el concreto contenga partículas de tamaño mayor que el apropiado para el tamaño del molde o de los equipos a ser usados, la muestra deberá someterse a tamizado húmedo, conforme se describe en la norma MTC E 701.

- 5.5 Número de muestras – El número de especímenes y el número de bachadas de ensayo dependen de la práctica local y de la naturaleza del programa de ensayos. Los métodos de ensayo o las especificaciones para los cuales se elaboran los especímenes suelen dar orientaciones sobre el particular.

Usualmente, se deben elaborar tres o más especímenes para cada edad y condición del ensayo, a menos que se especifique otra cosa. Los especímenes de ensayo que tienen en cuenta el análisis de una variable, deben ser elaborados a partir de tres bachadas separadas, mezcladas en días diferentes.

En todas las bachadas se debe elaborar un número igual de especímenes.

Cuando sea imposible moldear al menos un espécimen para cada variable en un día determinado, la mezcla para completar la serie entera de especímenes se debe efectuar tan pronto como sea posible (cuestión de pocos días) y una de las mezclas deberá ser repetida cada día, como un estándar de comparación.

Generalmente, los ensayos se hacen a edades de 7 y 28 días para compresión y a edades de 14 y 28 días para flexión. Los especímenes que contienen cemento tipo III son ensayados frecuentemente a 1, 3, 7 y 28 días. Tanto para el ensayo de compresión como el de flexión, se pueden hacer ensayos a 3 meses, 6 meses y un año. Para otras edades de ensayo se pueden requerir otros tipos de especímenes.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Mezcla de concreto – La mezcla de concreto debe ser tal, que deje un 10% de residuo después de haber moldeado el espécimen de ensayo.

Los procedimientos de mezclado manual no son aplicables a concretos con aire incluido o a concretos con asentamiento no medible. El mezclado manual se debe limitar a bachadas de 0,007 m³ (¼ pie³) de volumen o menos.

- 6.1.1 Mezcla con máquina – Antes que empiece la rotación de la mezcladora se debe introducir el agregado grueso con algo del agua que se use en la mezcla y la solución del aditivo, cuando ésta se requiera, según se indica en la Sección 5.4. Siempre que sea posible, el aditivo se debe dispersar en el agua antes de su adición a la mezcla. Se pone en funcionamiento la mezcladora, al cabo de unos cuantas revoluciones se adicionan el agregado fino, el cemento y el agua, con la mezcladora en funcionamiento.

Si para una mezcla particular o para un determinado ensayo no resulta práctico incorporar al agregado fino, el cemento y el agua con la mezcladora funcionando, ellos se incluirán con la máquina detenida, luego de haberse permitido algunas revoluciones.

Seguidamente se debe mezclar el concreto durante 3 minutos a partir del momento en que todos los ingredientes estén en la mezcladora. Se apaga la mezcladora durante 3 minutos y se pone en funcionamiento durante 2 minutos de agitación final.

Se debe cubrir el extremo abierto de la mezcladora para evitar la evaporación durante el período de reposo.

Se debe restituir todo mortero que se pierda por adhesión a la mezcladora, para conservar las proporciones (Nota 1).

El concreto se debe recibir en el recipiente limpio y seco y se debe remezclar con un palustre o pala, hasta hacerlo uniforme y evitar la segregación.

Nota 1. Es difícil recobrar todo el mortero impregnado en las partes de las mezcladoras. Para compensar esta dificultad, se puede seguir uno de los procedimientos siguientes para asegurar las proporciones finales correctas en la mezcla:

1) "Embadurnando la mezcladora" – Justo antes de mezclar la bachada, la mezcladora es "embadurnada" mezclando una bachada proporcionada de tal forma que simule cercanamente la bachada del ensayo. El mortero que se adhiera a la mezcladora después de descargar la bachada intenta compensar la pérdida de mortero de la bachada del ensayo.

2) "Sobre proporción de la mezcla" – La mezcla de ensayo se proporciona con una cantidad de mortero en exceso, cantidad estimada de antemano, que pretende compensar en promedio, aquella que se queda adherida a la mezcladora. En este caso, el tambor es limpiado antes de mezclar la bachada de ensayo

- 6.1.2 Mezcla manual – Se debe hacer la mezcla en una bandeja o vasija metálica, impermeable, limpia y húmeda, con un palustre despuntado de albañil, utilizando el siguiente procedimiento:

Se debe mezclar el cemento, aditivo en polvo insoluble, si se va a utilizar, y el agregado fino sin adición de agua hasta que se logre una mezcla homogénea.

Seguidamente, se adiciona el agregado grueso mezclándolo sin adición de agua, hasta que se distribuya uniformemente en la mezcla.

Se adicionan el agua y el aditivo soluble si se va a utilizar, y se mezcla la masa lo suficiente para obtener una mezcla de concreto homogénea y de consistencia deseada. Si se necesita mezclado prolongado debido que el agua se añade por incrementos para ajustar la consistencia, se debe descartar la bachada y efectuar otra en la cual el mezclado no sea interrumpido para hacer tanteos con la consistencia.

- 6.2 Determinación del asentamiento – Se debe medir el asentamiento de cada bachada de acuerdo con la norma MTC E 705.
- 6.3 Determinación del contenido de aire – Se debe determinar el contenido del aire de acuerdo con la norma MTC E 706. El concreto usado para determinar el contenido de aire se debe decantar.
- 6.4 Rendimiento – Si se requiere se determina el rendimiento de cada bachada de concreto, de acuerdo con la norma MTC E 704, El concreto utilizado en los ensayos de asentamiento y de rendimiento se puede devolver al recipiente de la mezcla y remezclarse con la bachada.
- 6.5 Temperatura – Se determina la temperatura de cada bachada de concreto, en acuerdo con la norma ASTM C 1064.
- 6.6 Vaciado del concreto
 - 6.6.1 Lugar del moldeo – Se deben moldear los especímenes lo más cerca posible al lugar donde se van a guardar para su fraguado en las siguientes 24 horas. Los moldes se llevarán al depósito inmediatamente después de su elaboración y se colocarán sobre una superficie rígida y libre de vibraciones, evitando inclinaciones y movimientos bruscos. Durante el transporte, se deben evitar sacudidas, golpes, inclinaciones o raspaduras de la superficie.
 - 6.6.2 Colocación – El concreto se debe colocar en los moldes utilizando un palustre o utensilio similar. Se debe seleccionar cada palada de concreto de tal manera que sea representativa de la bachada; además, la mezcla de concreto en el recipiente se debe remezclar continuamente durante el moldeo de los especímenes, con el objeto de prevenir la segregación. El palustre se debe mover alrededor del borde superior del molde a medida que se descarga el concreto, con el fin de asegurar una distribución simétrica de éste y minimizar la segregación del agregado grueso dentro del molde. Posteriormente se distribuye el concreto con la varilla compactadora, antes del inicio de la consolidación.

En la colocación de la capa final se debe intentar colocar una capa de concreto que complete exactamente el relleno del molde. No se permite la adición de muestras que no sean representativas del concreto dentro de un molde insuficientemente llenado.
- 6.6.3 Número de capas – El número de capas con el cual se fabrica el espécimen debe ser el especificado en la Tabla 1.
- 6.7 Compactación. La selección del método de compactación debe hacerse con base en el asentamiento, a menos que el método sea establecido en las especificaciones bajo las cuales se trabaja (Tabla I). Los dos métodos de compactación son: apisonado (por varillado) y vibración (externa o interna). Si el concreto tiene un asentamiento mayor de 75 mm (3") debe usarse el método de apisonado. Si el asentamiento es de 25 a 75 mm (1 a 3") debe usarse el método de apisonado o el de vibración, prefiriéndose el método usado en la ejecución de la obra. Si el asentamiento es inferior a 25 mm (1") debe usarse el método de vibración. No se debe usar vibración interna para cilindros con diámetro inferior a 100 mm y para prismas de 100 mm de profundidad o menos. Los concretos con contenido de agua tal que no pueden ser compactados por los ensayos aquí descritos no estarán contemplados por la presente norma.

Tabla 1

Número de capas requeridas en la elaboración de las muestras

Tipo de tamaño de la muestra en mm (pulgadas)	Método de compactación	Número de capas	Altura aproximada De la capa en mm (pulgadas)
CILINDROS Hasta 300(12) Mayor que 300(12) Hasta 460(18) Mayor que 460(18)	Apisonado(varillado)	3 iguales	100(4)
	Apisonado(varillado)	Las requeridas	
	Vibración	2 iguales	200(4)
	Vibración	3 ó más	
PRISMAS Hasta 200(8) Mayor que 200(8) Hasta 200(8) Mayor que 200(8)	Apisonado(varillado)	2 iguales	100(4)
	Apisonado(varillado)	3 o más	
	Vibración	1	200(8) C 172
	Vibración	2 o más	

- a) Apisonado por varillado. Se coloca el concreto en el molde con el número de capas requeridas (Tabla 1) aproximadamente del mismo volumen.

Se apisona cada capa con la parte redonda de la varilla, utilizando el número de golpes y el tamaño de la varilla especificado en la Tabla 2. La capa inicial se apisona introduciendo la varilla hasta el fondo del molde. La distribución de golpes para cada capa debe ser uniforme sobre toda la sección transversal del molde.

Para cada capa superior a la inicial se debe atravesar aproximadamente en 12 mm (1/2") la capa anterior cuando la profundidad de la capa sea menor de 100 mm (4"); aproximadamente en 25 mm (1") cuando la profundidad de la capa sea mayor de 100 mm (4"). En caso de dejar algunos huecos por la varilla se deben golpear ligeramente los lados del molde para cerrar dichos huecos. En los elementos prismáticos, introdúzcase el badilejo (o similar) por los costados y extremos después de apisonar cada capa.

- b) Vibración. Manténgase un mismo tiempo de vibración para un conjunto particular de concreto, vibrador y molde que se esté utilizando. La vibración se debe transmitir al cilindro durante el tiempo suficiente para lograr la adecuada compactación del concreto, pues un exceso de vibrado puede causar segregación. El molde se debe llenar y vibrar en capas iguales aproximadamente. Todo el concreto para cada capa se debe colocar en el molde antes de iniciar el vibrado. La duración del vibrado depende de la manejabilidad del concreto y la efectividad del vibrador. Se considera suficiente el vibrado, cuando el concreto presente una superficie relativamente lisa.

Vibración interna. El diámetro del eje o dimensión lateral de un vibrador interno no debe ser mayor de 1/3 del ancho del molde en el caso de vigas o prismas. Para cilindros, la relación del diámetro del cilindro al diámetro del vibrador debe ser igual o mayor de 4,0. Al compactar la muestra el vibrador no debe tocar el fondo, las paredes del molde u objetos embebidos en el concreto. El vibrador se debe extraer cuidadosamente de tal manera que no queden bolsas de aire dentro de las muestras. Se deben golpear ligeramente los lados del molde para asegurarse que no queden aprisionadas burbujas de aire en su superficie.

Vibración interna para cilindros. En cada capa se debe introducir el vibrador en tres sitios diferentes. En cada capa el vibrador debe penetrar en la capa anterior aproximadamente 25 mm.

Vibración interna para vigas y prismas. Se debe introducir el vibrador en puntos separados por una distancia no mayor de 150 mm (6") a lo largo de la línea central de la mayor dimensión de la

muestra. Para moldes de ancho mayor de 150 mm (6") se debe introducir el vibrador en dos líneas alternando las inserciones. Se debe permitir penetrar el eje del vibrador en la capa del fondo aproximadamente 25 mm (1").

Vibración externa. Cuando se use un vibrador externo debe tenerse el cuidado de que el molde este rígidamente unido a la superficie o elemento vibrante.

Tabla 2

Diámetro de varilla y número de golpes por capa

CILINDROS		
Diámetro del cilindro en mm (pulgadas)	Diámetro de varilla en mm (pulgadas)	Número de golpes por cada
50 (2) a 150 (6)	10 (3/8)	25
150 (6)	16 (5/8)	25
200(8)	16 (5/8)	50
250(10)	16 (5/8)	75
VIGAS Y PRISMAS		
Área de la superficie superior De la muestra en cm ² (pulg ²)	Diámetro de varilla en mm (pulgada)	Número de golpes por capa
160(25)	10(3/8)	25
165(26) a 310 (49)	10(3/8)	1 por cada 7 cm ² (1 pulg ²) de área
320(50) o más	16(5/8)	1 por cada 14m ² (2pulg ²) de área

- 6.8 Acabado. Después de la compactación, se debe efectuar el acabado con las manipulaciones mínimas, de tal manera que la superficie quede plana y pareja a nivel del borde del cilindro o lado del molde, y no debe tener depresiones o protuberancias mayores de 3,2 mm (1/8").
- 6.9 Acabados de cilindros. Después de la compactación, se debe efectuar el acabado de la superficie por medio de golpes con la varilla apisonadora cuando la consistencia del concreto lo permita o con un badilejo o llana de madera. Si se desea, puede colocarse una capa de pasta de cemento sobre el espécimen a manera de refrentado (capping) (véase norma MTC E 703).
- 6.10 CURADO
- 6.10.1 Cubrimiento después del acabado. Para evitar la evaporación de agua del concreto sin endurecer, los testigos deben ser cubiertos inmediatamente después del acabado, preferiblemente con una platina no reactiva con el concreto, o con una lámina de plástico dura e impermeable. Se permite el uso de lona húmeda para el cubrimiento de la muestra, pero se evitará el contacto directo de la muestra con la lona, la cual debe permanecer húmeda durante las 24 horas contadas a partir del acabado de la muestra.
- 6.10.2 Extracción de la muestra. Las muestras deben ser removidas de sus moldes en un tiempo no menor de 20 horas ni mayor de 48 horas después de su elaboración cuando no se empleen aditivos; en caso contrario, se podrán emplear tiempos diferentes.
- 6.10.3 Ambiente de curado – A menos que se especifique otra cosa, las muestras se deben mantener en condiciones de humedad con temperatura de 23,0° ± 2,0°C desde el momento del moldeo hasta el momento de ensayo.

El almacenamiento durante las primeras 48 horas de curado debe hacerse en un medio libre de vibraciones.

La condición de humedad debe lograrse por inmersión de la muestra sin el molde en agua. Se permite lograr la condición de humedad por el almacenamiento en un cuarto húmedo.

No deben exponerse los especímenes a condiciones de goteo o de corrientes de agua.

Debe evitarse que se sequen las paredes de la muestra luego del periodo de curado.

7.0 PRECISION Y DISPERSION

7.1 PRECISION

- 7.1.1 Los datos para el establecimiento de los índices de precisión de varios ensayos realizados requeridos por esta norma fueron obtenidos en Estados Unidos en el Programa "The Concrete Proficiency Sample Program of de Cement and Concrete Reference Laboratory".
- 7.1.2 Las desviaciones normales para un operador en los ensayos de asentamiento, peso unitario, contenido de aire y resistencia a la compresión a 7 días de tandas de prueba han sido establecidos en: 18 mm (0,7 pulg), 14 kg/m³ (0,9 lb/p³), 0,3 % y 14 kg/cm² (203 lb/p²), respectivamente; luego los resultados de dos tandas de prueba realizadas en el mismo laboratorio no diferirán en más de 50 mm (2,0 pulg), 40 kg/m³ (2,5 lb/pie³), 0,8 % y 40 kg/cm² (574 lb/pulg²), respectivamente. Esta precisión es considerada aplicable para tandas de prueba del laboratorio dosificadas para cantidades específicas de materiales y una relación agua/cemento constante. Los valores deberán ser usados con precaución para concreto con aire incorporado, concreto con asentamiento menor a 50 mm (2 pulg) o sobre 150 mm (6 pulg) u concreto elaborado con agregado de peso diferente del normal o agregado de tamaño máximo nominal mayor a 25 mm (1 pulg).
- 7.1.3 Las desviaciones normales multi-laboratorios en los ensayos de asentamiento, peso unitario, contenido de aire y resistencia a la compresión a 7 días de tandas de prueba han sido establecidas en: 25 mm (1,0 pulg), 22 kg/m³ (1,4 lb/pie³), 0,4 % y 25 kg/cm² (347 lb/pulg²), respectivamente; luego los resultados de un ensayo realizado de tandas de pruebas realizadas en dos laboratorios diferentes no deberían diferir en más de 70 mm (2,8 pulg), 62 kg/m³ (4,0 lb/pie³), 1,1 % y 70 kg/cm² (981 lb/pulg²), respectivamente. Esta precisión es considerada aplicable para tandas de pruebas de laboratorio dosificadas para cantidades específicas de materiales y una relación agua/cemento constante. Los valores deberán ser usados con precaución para hormigón (concreto) con aire incorporado, hormigón (concreto) con asentamiento menor a 50 mm (2 pulg) o sobre 150 mm (6 pulg) u hormigón (concreto) elaborado con agregado de peso diferente del normal o agregado de tamaño máximo nominal mayor a 25 mm (1 pulg).

MTC E 703

REFRENTADO DE CILINDROS DE CONCRETO (CAPPING)

1.0 OBJETO

- 1.1 Especificar los aparatos, materiales y procedimientos necesarios para llevar a cabo el refrentado de cilindros de concreto, frescos o endurecidos, y de núcleos de concreto extraídos mediante rotación.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Los cilindros de concreto frescos son refrentados con cemento puro, mientras que los cilindros endurecidos y los núcleos de concreto se refrentan con yeso de alta resistencia o con mortero de azufre.
- 2.2 Una capa para el refrentado debe ser al menos tan fuerte como el concreto. La superficie de los especímenes ya refrentados deberá ser plana, con una tolerancia de 0,05 mm (0,002"), a lo largo de cualquier diámetro. Durante las operaciones de refrentado, deberá verificarse que las superficies sean realmente planas, escogiendo un espécimen de cada diez (10), mediante el uso de una regla y un medidor, haciendo un número mínimo de tres (3) mediadas, sobre diámetros diferentes, para asegurar que las superficies de las capas no se aparten del plano en más de 0,05 mm (0,002").
- 2.3 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados como la norma.
- 2.4 Esta norma no pretende considerar los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y determinar la aplicación de limitaciones regulatorias antes de su empleo.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 339.037 HORMIGÓN (CONCRETO). Práctica normalizada para el refrentado de testigos cilíndricos de hormigón (concreto).
- 3.2 ASTM C 617 Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens
- 3.3 AASHTO T 231 Standard Practices for Capping Cylindrical Concrete Specimens.

4.0 EQUIPO Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Placas para refrentado: Placas planas de vidrio de por lo menos 6 mm de espesor se utilizarán para el refrentado con pasta de cemento y yeso de alta resistencia, o un plato de metal mecanizado de por lo menos 11 mm de espesor, o un plato pulido de granito o diabasa de por lo menos 76 mm de espesor. Para el refrentado con mortero de azufre se utilizarán placas de metal similar al anterior o placas de piedra, sólo que el área de llenado que recibe el azufre fundido no será más profunda que 12 mm. En todos los casos, el diámetro de los platos será por lo menos 25 mm mayor que el diámetro del espécimen en ensayo y las superficies de refrentado no se apartarán de un plano por más de 0,05 mm en 152 mm. La rugosidad de la superficie de platos de metal recientemente acabados no excederá de los valores dados en la Tabla 4 de la norma ANSI B46.1 o 3,2 μm para cualquier tipo de superficie y dirección de disposición. La superficie de los platos cuando están nuevos, estará libre de estrías, ranuras, o indentaciones más allá de aquellas causadas por la operación de acabado. Platos de metal que han estado en uso estarán libres de estrías, ranuras e indentaciones mayores que 0,25 mm de profundidad o mayor que 32 mm² en área de la superficie.

Nota 1. Se sugiere una dureza de Rockwell de 48 HRC para las placas y dispositivos utilizados para el refrentado con mortero de azufre.

- 4.1.2 Dispositivos de alineación – En conjunto con las placas de refrentado deberán usarse dispositivos de alineación apropiados, como barras-guía o niveles de ojo, para asegurar la

perpendicularidad del eje del espécimen cilíndrico, con tolerancia de 0,5° [Aproximadamente equivalente a 3,2 mm en 305 mm (0,125" en 12")]. El mismo requisito se aplica a la relación entre el eje del dispositivo de alineación y la superficie de la placa para refrentado, en caso de barras guía. Además, la localización de cada barra con respecto a su placa debe ser tal que ninguna capa de refrentado quedará descentrada sobre un espécimen de ensayo por más de 2 mm. Para refrentado de cilindros de concreto endurecido, puede usarse un aparato igual o equivalente al de la Figura 1.

4.1.3 Ollas de fundición para el mortero de azufre: Las ollas de fundición usadas para los morteros de azufre contarán con dispositivos automáticos de control de temperatura y serán de un metal o revestidos con un material que no sea reactivo con el azufre fundido.

4.1.3.1 Precaución: Las ollas de fundición equipadas con calentadores periféricos, proporcionaran seguridad contra posibles accidentes durante el recalentamiento de mezclas de azufre frías que tienen costras superficiales. Cuando se usen ollas de fundición no equipadas como lo indicado, se tendrá el cuidado de mover la mezcla con una varilla de metal, introduciéndola hasta el fondo de esta mientras se enfría, para evitar la presión bajo las costras superficiales endurecidas. La varilla debe ser de tamaño suficiente para que conduzca suficiente calor hacia la superficie y funda el anillo de mezcla que lo rodea evitando de esa manera la presión.

Las ollas de fundición se deben usar con campanas extractoras para eliminar los humos al exterior. El calentamiento sobre una llama directa es peligroso porque el punto de inflamación del azufre es aproximadamente 227 °C y la mezcla puede causar ignición debido al sobrecalentamiento. Si la mezcla causa ignición, se debe cubrir la olla para cortar o apagar las llamas. La olla debe recargarse con el material fresco después de que la llama se ha extinguido.

4.2 MATERIALES

La resistencia del material de refrentado y el espesor de la capa deberá estar de acuerdo a los requerimientos de la Tabla 1.

Tabla 1

Esfuerzo de compresión y máximo espesor de la capa de refrentado

Esfuerzo de compresión del cilindro	Esfuerzo mínimo del material de refrentado	Máximo espesor promedio del refrentado	Máximo espesor de cualquier parte del refrentado
3,5 – 50 Mpa(500 – 7000psi)	35 Mpa (5000 psi)	6mm (0,25")	8 mm (0,31")
> 50 Mpa (7000 psi)	Resistencia a la compresión no menor que la del cilindro	3mm (0,125")	5 mm (0,20")

4.2.1 Si el mortero de azufre, yeso de alta resistencia y otros materiales, excepto la pasta de cemento, serán utilizados para ensayar hormigón (concreto) con una resistencia mayor que 50 MPa, el fabricante o el usuario del material deberán proporcionar la documentación siguiente.

4.2.1.1 Que el promedio de la resistencia de 15 cilindros refrentados con estos materiales no sea menor que el 98 % del promedio de la resistencia de 15 cilindros compañeros refrentados con pasta de cemento o 15 cilindros alisados con una planitud dentro de 0,05 mm.

- 4.2.1.2 La desviación normal de las resistencias de los cilindros refrentados no sea mayor a 1,57 veces la desviación normal de los cilindros de referencia.
- 4.2.1.3 Que los requisitos de espesor de las capas de refrentado cumplieron con los ensayos de calificación, y
- 4.2.1.4 El tiempo de endurecimiento de las capas de refrentado usadas en los ensayos de calificación.
- 4.2.2 Adicionalmente, el informe del ensayo de calificación debe incluir la resistencia a la compresión de cubos de 50 mm de lado del material calificado y de cubos de pasta de cemento, si se utilizó. Los materiales de refrentado que cumplan con los requisitos se permiten usar en cilindros con resistencias 20 % mayor que el hormigón (concreto) ensayado en éstas pruebas de calificación. El fabricante deberá recalificar anualmente los lotes de materiales manufacturados, o siempre que haya un cambio en la formulación o en las materias primas. El usuario del material debe retener una copia de los resultados de calificación y las fechas de fabricación del material calificado y del material que corrientemente se está utilizando. Véase la Tabla 2.
- 4.2.3 La resistencia a la compresión de los materiales de refrentado será determinada de acuerdo con los procedimientos indicados en la NTP 334.051. Excepto para los morteros de azufre, el procedimiento de moldeado debe ser de acuerdo con la NTP 334.051, a menos que se especifiquen otros procedimientos para eliminar el aire atrapado en los poros. Véase la ASTM C 472 para los procedimientos de compactación alternativos. Los cubos se deben curar en el mismo ambiente para el mismo periodo de tiempo como el requerido para refrentar los cilindros de hormigón (concreto) en ensayo.
- 4.2.4 La resistencia del material de refrentado será determinada cada vez que se reciba un nuevo lote, o a intervalos que no exceden tres meses. Si algún lote falla en el cumplimiento de los requisitos de resistencia, no deberá ser utilizado y los ensayos de resistencia del material de reemplazo se realizarán semanalmente hasta que cuatro determinaciones consecutivas cumplan con los requisitos de la especificación.
- 4.2.5 Pasta de cemento
- 4.2.5.1 Realizar el ensayo de calificación de la pasta de cemento hidráulico, antes de usar para el refrentado, para establecer los efectos de relación de agua/cemento y la edad sobre la resistencia a la compresión en cubos de 50 mm de lado.

Nota 2. Los cementos usados generalmente son los Tipos I, II o III que cumplen con la NTP 334.009, sin embargo, los cementos adicionados de la NTP 334.090, los cementos de aluminato de calcio u otros cementos hidráulicos que producen resistencias aceptables pueden usarse.



TABLA 2 - Ejemplo de informe de calificación de material de refrentado

NOTA: Fabricante: Testing Supplies Co.

Material de refrentado: Mortero de Azufre Super Strong AAA

Lote: 12 a 45

Fecha ensayos: 11/3/98

Firmado por: _____ (Responsable oficial de la agencia de ensayos)

Ítem	Material de refrentado	Control de cilindros	Relación	Criterio	Cumple/ no cumple
Cilindros de hormigón – Información de ensayos					
Tipo de material de refrentado	Azufre	Ground			
Resistencia promedio del hormigón (concreto) MPa (lb/pulg ²)	76,2 (11 061)	75,9 (11008)	1,005	>0,98Xc	Pasa
Desviación estándar MPa (lb/pulg ²)	2,59 (376)	1,72 (250)	1,504	≤1,57C	Pasa
Número de cilindros ensayados	15	15			
Edad de la capa al momento del ensayo	7 días	NA			
Material de refrentado – Información de ensayos					
Espesor promedio de la capa mm (pulg)	2,8 (0,11)	NA			
Resistencia a la compresión de cubos de 50 mm, MPa (lb/pulg ²)	91 (12 195)				
Edad de los cubos al momento del ensayo	7 días				
Resistencia máxima calificada del hormigón MPa (lb/pulg ²)				1,2 Resist. 91,5 ^A (13 273)	Prom.=

^A Resistencia nominal especificada de 75 MPa (11 000 lb/pulg²) y quizás algo mayor

4.2.5.2 Mezclar la pasta de cemento a la consistencia deseada para una relación agua/cemento igual o menor que la especificada para producir la resistencia requerida, generalmente 2 a 4 h antes de que la pasta se use (Nota 3). Remezclar las veces que sea necesario para mantener la consistencia aceptable (Nota 4). Se acepta algún reajuste de la pasta, si la relación agua/cemento requerida no es excedida. La consistencia óptima generalmente se produce a relaciones agua/cemento de 0,32 a 0,36 en masa para los cementos Tipo I y Tipo II y 0,35 a 0,39 en masa para cementos Tipo III.

Nota 3. Las pastas frescas tienden a exudar y contraerse resultando en capas inaceptables. Generalmente, para cementos Portland, el periodo apropiado es de 2 h a 4 h.

Nota 4. La consistencia requerida de la pasta se determinará por la apariencia de la capa cuando es desmoldado. La pasta fluida resulta en trazas en la capa. Las pastas densas resultan en capas gruesas.

4.2.6 Pasta de yeso - cemento de alta resistencia

4.2.6.1 No se adicionará ningún filler ni extendedores a la pasta pura de yeso - cemento de alta resistencia, subsecuentemente a la fabricación del cemento (Nota 5). Se realizarán los ensayos de calificación para determinar los efectos de la relación agua/cemento y edad sobre la resistencia a la compresión de cubos de 50 mm de lado. Podrán utilizarse retardadores para extender el tiempo de trabajo, pero debe determinarse sus efectos sobre la relación agua/cemento requerida y la resistencia. (Nota 6).

Nota 5. El yeso de baja resistencia, el yeso de Paris, o las mezclas de yeso de paris y cemento Portland no son adecuados para el refrentado.

Nota 6. La relación agua/yeso-cemento, debe estar entre 0,26 y 0,30. El uso de una relación agua/cemento baja y un vigoroso mezclado normalmente permitirá desarrollar 35 MPa a las edades de 1 h o 2 h. Las relaciones agua/yeso-cemento altas extienden el tiempo de trabajo, pero reduce la resistencia.

4.2.6.2 Mezclar la pasta pura de yeso-cemento a la relación agua/cemento deseada y utilizarla prontamente mientras fragua rápidamente.

4.2.7 Mortero de azufre

4.2.7.1 Se verificará que los morteros de azufre comerciales o preparados en laboratorio desarrollen en 2 h una resistencia mínima de 35 MPa, cuando la resistencia esperada de los cilindros de hormigón (concreto) es menor de 35 MPa. Para resistencias superiores a 35 MPa, deben permitirse un periodo mínimo de endurecimiento del mortero de azufre de 16 h antes del ensayo, pudiendo reducirse el tiempo si el material cumple con lo especificado en 4.2.1.

4.2.7.2 Determinación de la resistencia a la compresión: Preparar especímenes de ensayo usando un molde cúbico y una placa de base conforme los requisitos de la NTP 334.051 y una placa de cubierta de metal conforme el diseño mostrado en la Figura 1 (Nota 7). Calentar las partes del aparato a una temperatura de 20 °C a 30 °C, y cubrir ligeramente con aceite mineral las superficies que estarán en contacto con el mortero de azufre y colocarlas cerca de la olla de fundición. Llevar la temperatura del mortero fundido en la olla dentro de un rango de 129 °C a 143 °C, agitar completamente con la barra y empezar a llenar los cubos. Usando un cucharón, u otro dispositivo similar para verter, llenar rápidamente cada uno de los tres compartimientos hasta que el material fundido llegue hasta el tope del agujero de llenado. Dejar el tiempo suficiente para que se produzca la máxima contracción, debido al enfriamiento y solidificación, (aproximadamente 15 min) y rellenar cada agujero con el material fundido (Nota 8). Después que la solidificación se ha completado, se retiran los cubos del molde sin romper la colada formada por el agujero de llenado en la placa de cubierta. Se limpia el aceite, y se retiran los bordes afilados y aristas de los cubos y se verifica la planitud de las superficies de contacto productivas de la manera descrita en la NTP 334.051. Después de almacenar los cubos a la temperatura ambiente del cuarto hasta la edad deseada, pero no menos de 2 h, los cubos se ensayan conforme el procedimiento descrito en la NTP 334.051 y se calcula la resistencia a la compresión.

NOTA 7. Si se desea, una placa plana de fenol formaldehído (baquelita) 3 mm de espesor, con tres agujero apropiadamente espaciados para permitir el llenado del molde, puede insertarse entre la placa de cubierta y el molde para retardar el enfriamiento de los especímenes de ensayo.

NOTA 8. El segundo llenado ayuda a prevenir la formación de huecos o tubos de contracción en el cuerpo del cubo. Sin embargo, tales defectos pueden ocurrir a pesar del cuidado que se ejerza, por consiguiente es aconsejable inspeccionar el interior de los cubos de mortero de azufre ensayados para verificar su homogeneidad, siempre que los valores de resistencia obtenidos sean significativamente bajos que los esperados

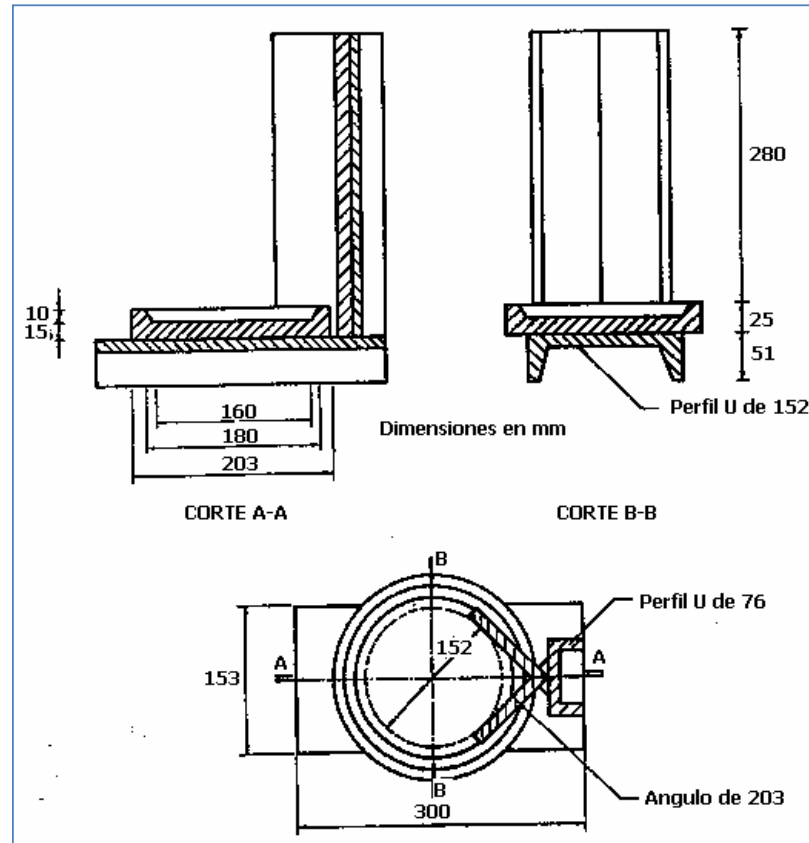


Figura 1. Aparato para refrentado de cilindros de concreto endurecido

5.0 MUESTRA

5.1 Refrentado de cilindros de hormigón (concreto) fresco con pasta de cemento

6.0 PROCEDIMIENTOS

6.1 Se debe usar solamente pastas de cemento portland (Nota 9) para refrentar cilindros de hormigón (concreto) fresco. Las capas de refrentado de cemento deben ser lo más delgadas como sea factible. No se debe aplicar la pasta de cemento al extremo expuesto del cilindro hasta que el hormigón haya fraguado en los moldes, generalmente esto ocurre de 2 h a 4 h después del moldeo. Durante el moldeo del cilindro, se debe golpear suavemente las paredes del cilindro bajo la superficie plana superior de hormigón (concreto) del molde. Eliminar el agua libre y lechada de cemento, inmediatamente antes de realizar el refrentado con pasta de cemento de la superficie superior del cilindro moldeado. Se forma la capa de refrentado, poniendo una porción cónica de pasta de cemento sobre el cilindro, y presionando suavemente una placa de refrentado, ligeramente aceitada, hasta que quede en contacto con la corona del molde. Un movimiento de rotación muy ligero de la placa puede ser necesario para eliminar excesos de pasta y minimizar la formación de vacíos en la capa. La placa de refrentado no debe moverse, de otra forma, durante esta operación. Cuidadosamente se cubre la placa y el molde con una capa doble de arpillera húmeda y una hoja del polietileno para prevenir el secado. Después del endurecimiento de la pasta, se retira

la placa de refrentado, golpeando suavemente uno de sus bordes con un martillo de goma en una dirección paralela al plano de refrentado.

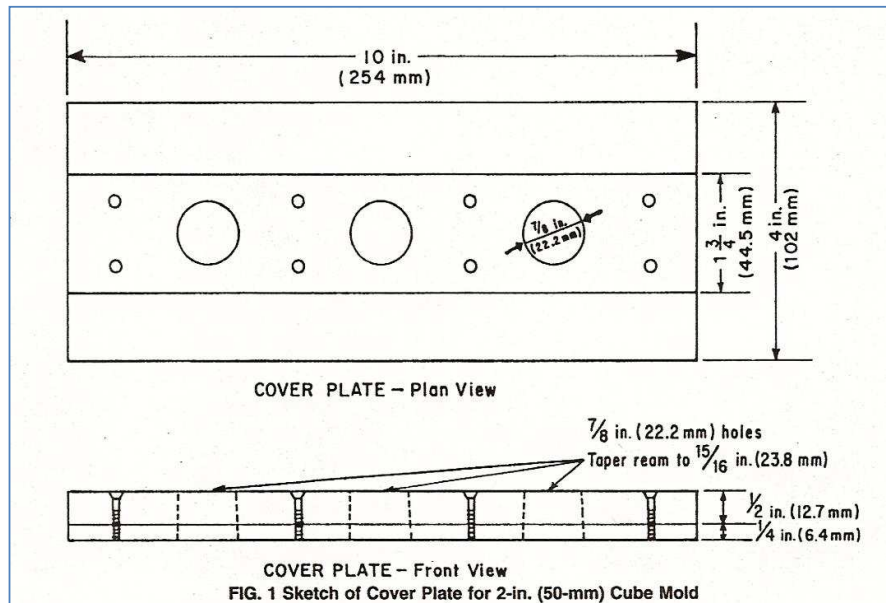


Figura 2. Placa de cubierta para moldes cúbicos de 50 mm

Nota 9. La pasta de cemento portland Tipo I generalmente requieren por lo menos a 6 días para desarrollar una resistencia aceptable y la pasta de cemento portland Tipo por lo menos 2 días. Los cilindros de hormigón (concreto) seco absorberán el agua de mezcla de la pasta frescas de cemento y producirán capas de refrentado poco satisfactorias. Las capas de pasta de cemento presentaran contracción y agrietamiento durante el proceso de secado y, por consiguiente, sólo deben usarse para especímenes que estarán continuamente curados con humedad hasta el momento del ensayo.

Nota 10. Las capas de yeso de alta resistencia en contacto con el agua, pierden su consistencia y se deterioran y no pueden usarse para el refrentado de cilindros de hormigón (concreto) fresco o almacenados en un cuarto húmedo por períodos muy cortos.

- 6.2 Refrentado de cilindros de hormigón (concreto) endurecido
- 6.2.1 Generalidades: Si los extremos del cilindro presentan una capa o depósito de materiales aceitosos o cerosos que puedan interferir con la adherencia de la capa, se debe proceder a eliminarlos. Si es necesario, se puede someter a un cepillado ligero, con cepillo de acero o cepillo del alambre, los extremos del cilindro para ponerlos ásperos con el fin de producir una adherencia apropiada de la capa de refrentado. Si se desea, la placa de refrentado se puede untar con una capa delgada de aceite mineral o puede engrasarse para evitar que el material de refrentado se adhiera a la superficie de la placa.
- 6.2.2 Condición final: Las bases del cilindro sin refrentar deberán estar lisas, planas y perpendiculares a su eje con una tolerancia máxima de 3 mm en cualquier punto con respecto de un plano que pase por el punto más alto y que sea perpendicular al eje del cilindro (Nota 11). Si se excede este límite, las irregularidades de la superficie deberán ser pulidas, cortadas o rectificadas antes de proceder al refrentado.

Nota 11. Este requisito controla la diferencia entre las partes más gruesas y las más delgadas de la capa de refrentado. La distancia puede inspeccionarse usando una escuadra, la cual ubica uno de sus bordes paralelo al eje del cilindro y el otro borde tocando el punto más alto del extremo del cilindro. Se mide la distancia entre el borde de apoyo de la escuadra y el punto más bajo en el extremo del cilindro.

- 6.2.3 Refrentado con yeso de alta resistencia o pasta de cemento: Mezclar la pasta como se ha descrito en la Sección 2. No se debe exceder la relación agua-cemento determinada en los ensayos de calificación. Formar las capas de refrentado como se ha descrito en 6.1, usando las placas de refrentado descritas en 4.1.1 para lograr la alineación requerida en 4.1.2 (Nota 12). Generalmente, las placas de refrentado pueden ser removidas dentro de los 45 minutos con las pastas de yeso cemento y después de 12 h con la pasta de cemento puro, sin dañar la capa.

Nota 12. Diversos métodos se han usado para obtener la perpendicularidad deseada de la capa de refrentado respecto del eje del cilindro. Una cantidad de pasta puede colocarse sobre la placa de refrentado y el espécimen en su parte más baja. Con un nivel visual colocado sobre el cilindro ayuda a obtener la alineación. Una cantidad de pasta puede colocarse encima del cilindro y con la placa de refrentado ejercer una presión contra él, mientras se usa nuevamente el nivel visual. Un buen sistema es hacer un molde o anillo cilíndrico que tenga la mitad de la altura y guías para que pueda deslizarse a lo largo del cilindro endurecido. Para nivelar y posicionar el molde y asegurar el espesor de la capa de refrentado requerida, se usa abrazaderas de modo que el molde o anillo sobresalga lo necesario por encima de la superficie del cilindro. La pasta de refrentado puede colocarse entonces o en una placa de refrentado o distribuirla encima del cilindro para luego proceder a presionar con la placa y suaves movimientos de giro hasta lograr contacto con los bordes del molde. Como se ha explicado, la pasta de yeso muy rígida puede requerir la presión excesiva y puede producir espesores o capas defectuosas.

- 6.2.4 Refrentado con mortero de azufre: Preparar el mortero de azufre calentándolo a una temperatura aproximada de 130 °C, controlada con un termómetro de metal que se inserta cerca del centro de la masa. Verificar la temperatura a intervalos de una hora durante el refrentado. Vaciar la olla y recargar con material fresco, a intervalos que aseguren que el material más viejo en la olla no se use más de cinco veces. Cuando se refrenta cilindros de hormigón (concreto) que tiene una resistencia a la compresión de 35 MPa o mayor, no se permitirá usar compuesto recuperado de la operación de refrentado, o de capas viejas. El mortero de azufre fresco debe estar seco en el momento que se pone en la olla, ya que la humedad puede causar espuma. Por esta misma razón, se deberá evitar que el material fundido entre en contacto con el agua. La placa o el dispositivo de refrentado, debe calentarse ligeramente antes de su uso para reducir la velocidad de endurecimiento y la formación de capas delgadas. Antes de hacer cada refrentado, se aplica una capa delgada de aceite en las placas y se agita el mortero de azufre fundido a verter en cada capa. Las bases de los cilindros curados en húmedo, deberán estar lo suficientemente secas para evitar la formación de bolsas de vapor o espuma de 6 mm de diámetro o más, en la capa o bajo la misma. Reemplazar las capas con las bolsas de vapor o poros de más de 6 mm (Nota 13). Para asegurar la adherencia de la capa de mortero de azufre a la superficie del cilindro, no se debe aplicar aceite a dichas superficies antes de realizar la operación de refrentado. Cuando se use un equipo vertical para el refrentado, se vierte el mortero sobre la superficie del plato de refrentado y se coloca el cilindro en el dispositivo vertical de tal forma que sus generatrices contacten con las guías de alineación. Se hace descender, con cuidado, el cilindro hacia el material de refrentado, controlando constantemente el contacto de las paredes del cilindro, con las guías de alineación, hasta que el cilindro presione el material. El cilindro debe continuar descansando en el plato de refrentado, verificando el contacto de sus paredes con la alineación guía hasta que el mortero haya endurecido. Se debe usar suficiente material para cubrir el extremo del cilindro después de que el mortero de azufre solidifica.

Nota 13. Periódicamente la capa de mortero de azufre debe ser examinada después del ensayo para determinar la presencia de poros o bolsas de vapor. Antes del ensayo, la capa de refrentado puede golpearse con una moneda o frotarse con un instrumento de metal ligero, para ver si se emite un sonido hueco. Las capas que tienen sonido hueco deben ser removidas y reemplazarse.

6.2.4.1 Precaución: Se pueden producir gases de sulfuro de hidrogeno durante el proceso de refrentado, cuando el mortero de azufre se contamina con materiales orgánicos tales como, parafina y aceite. El gas es incoloro y tiene notoriamente un mal olor de huevo podrido; sin embargo, el olor no debería ser tomado como una señal de advertencia, porque la sensibilidad al olor desaparece rápidamente. Altas concentraciones son letales y concentraciones menores pueden producir náuseas, dolor de estómago, disnea, dolor de cabeza o irritación de los ojos. Por esto y otras razones, la olla de fundición debe ser colocada bajo una campana en un espacio abierto con extractores y el área de refrentado debe estar bien ventilada.

6.2.5 Control diario

6.2.5.1 Durante cada día de refrentado se debe verificar la planitud de las capas antes del ensayo de compresión por lo menos en tres especímenes, seleccionados al azar, representando el inicio, la mitad y el final de la faena. Verificar la planitud con una regla y un calibre, realizando un mínimo de tres medidas en diámetros diferentes para asegurar que la superficie de las capas no se desvíe más allá de 0,05 mm respecto del plano. También se debe verificar las áreas con vacíos (Nota 13). Registrar los resultados de estas determinaciones en la documentación de control de calidad del laboratorio. Si las capas no satisfacen los requerimientos de planitud o tienen áreas con vacíos se deben remover y reaplicar las capas.

6.2.5.2 Durante cada día de operación de ensayo de resistencia a la compresión, se debe verificar el espesor de las capas por lo menos en tres especímenes, seleccionados al azar que correspondan al inicio, intermedio y final del día de operación. Después de completar el ensayo de compresión, recupere por lo menos seis piezas del material de refrentado del extremo del cilindro seleccionado (Nota 14). Las piezas se seleccionarán al azar y se distribuirán encima del área entera de la capa. Las piezas seleccionadas serán separadas completamente del hormigón (concreto). Se mide y registra el espesor de las piezas con aproximación al 0,2 mm utilizando, un micrómetro, calibrador u otro dispositivo de medida del espesor. Comparar el espesor promedio y máximo con los valores de la Tabla 1. Registrar los resultados de las determinaciones de espesor en la documentación de control de calidad del laboratorio.

Nota 14. Las capas pueden ser removidas usando un martillo y cincel afilado. Colocar la punta del cincel en la línea de unión paralela con el plano de la capa de refrentado, para generar una acción de cuña cuando el cincel se golpea con el martillo. La recuperación de la capa entera puede simplificarse colocando una cinta adhesiva encima de la capa antes de intentar su levantamiento. La cinta mantendrá las piezas de material de refrentado antes de que se dispersen durante el levantamiento, y simplificará su selección según su distribución uniforme en el área de la capa de refrentado.

6.3 Protección de los especímenes después del refrentado

6.3.1 Se mantienen los cilindros curados en humedad, entre la realización del refrentado y el tiempo del ensayo, para lo cual se les almacena en un cuarto húmedo o envolviéndolos con una capa doble de arpillera mojada. No guarde los cilindros con capas de refrentado de yeso, sumergidos en agua o por más de 4 h en un cuarto húmedo. Proteja las capas de yeso del goteo de agua.

6.3.2 No se debe ensayar los cilindros refrentados antes de que el material del refrentado tenga el tiempo suficiente para desarrollar la resistencia requerida en 4.2.

MTC E 704**RESISTENCIA A LA COMPRESION TESTIGOS CILINDRICOS****1.0 OBJETO**

- 1.1 Determinar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tanto cilindros moldeados como núcleos extraídos, y se limita a concretos con un peso unitario superior a 800 kg/m^3 (50 lb/pe^3).

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados o a núcleos, a una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla. La resistencia a la compresión del espécimen se determina dividiendo la carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal de éste.
- 2.2 Los resultados de este ensayo se pueden usar como base para el control de calidad de las operaciones de dosificación, mezclado y colocación del concreto; para el cumplimiento de especificaciones y como control para evaluar la efectividad de aditivos y otros usos similares.
- 2.3 Se debe tener cuidado en la interpretación del significado de las determinaciones de la resistencia a la compresión mediante este método de ensayo, por cuanto la resistencia no es una propiedad intrínseca fundamental del concreto elaborado con determinados materiales. Los valores obtenidos dependen del tamaño y forma del espécimen, de la tanda, de los procedimientos de mezclado, de los métodos de muestreo, moldes y fabricación, así como de la edad, temperatura y condiciones de humedad durante el curado.
- 2.4 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados como la norma.
- 2.5 Esta norma no pretende considerar los problemas de seguridad asociados con su uso, si los hay, es responsabilidad de quien la emplee establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y determinar la aplicación de limitaciones regulatorias antes de su empleo.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 339.034 HORMIGON (CONCRETO), Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas.
- 3.2 ASTM C 39- 39M-2005e2 Standard Test Method compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- 3.3 AASHTO T 22-2005 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete.

4.0 EQUIPO Y MATERIALES**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Máquina de Ensayo – La máquina de ensayo debe ser de un tipo tal, que tenga suficiente capacidad de carga y que reúna las condiciones de velocidad descritas en la Sección 6.5.
- 4.1.1.1 Se hará una verificación de la calibración de la máquina de ensayo de acuerdo con la norma ASTM E-4. "Práctica para la verificación de la carga de las máquinas de Ensayo"; en las siguientes situaciones:
- Al menos anualmente y nunca excedido de trece (13) meses.
 - En la instalación original o en la relocalización de la máquina.
 - Inmediatamente después de hacer reparaciones o ajustes que puedan afectar de cualquier modo la operación del sistema de pesas o los valores mostrados, excepto para el ajuste a cero que compensa el peso propio del equipo o del espécimen, o ambos.
 - Cuando quiera que haya una razón para dudar de la exactitud de los resultados, sin tener en cuenta el intervalo de tiempo desde la última verificación.

4.1.1.2 Diseño – La máquina debe operar eléctricamente y aplicar la carga de una manera continua y no en forma intermitente, y sin choques. Si sólo tiene una velocidad de carga (que cumpla los requisitos de la Sección 6.5), deberá estar provista de medios suplementarios para cargar a una velocidad apropiada para la verificación. Estos medios suplementarios de carga se pueden operar manualmente o por medio de motor.

El espacio disponible para los especímenes debe ser lo suficientemente grande para acomodar, en posición legible, un aparato de calibración elástica de suficiente capacidad para cubrir el intervalo potencial de carga de la máquina de ensayo y que cumpla con los requisitos de la norma ASTM E 74. Los aparatos de calibración elástica generalmente disponibles y más comúnmente usados para este propósito, son el anillo de carga circular de ensayo y las celdas de carga.

4.1.1.3 Precisión – La precisión de la máquina de ensayo debe cumplir con los siguientes requisitos:

- a) El porcentaje de error de las cargas dentro del rango propuesto para la máquina, no debe exceder del $\pm 1,0\%$ de la carga indicada.
- b) La precisión de la máquina de ensayo se debe verificar aplicando cinco (5) cargas de ensayo en cuatro (4) incrementos aproximadamente iguales en orden ascendente. La diferencia entre dos cargas de ensayo sucesivas cualesquiera no debe exceder en más de un tercio de la diferencia entre la máxima y la mínima carga de ensayo.
- c) La carga del ensayo tal y como se indica por la máquina de ensayo y la carga aplicada calculada a partir de las lecturas de los elementos de verificación, se deben registrar en cada punto de ensayo. Se debe calcular el error, E , y el porcentaje de error, Ep , para cada punto de estos datos como sigue:

$$E = A - B$$

$$Ep = 100 \frac{A - B}{B}$$

Donde:

A = carga, kN (o lbf) indicada por la máquina que está siendo verificada, y

B = carga aplicada, kN (o lbf) determinada por el elemento de calibración.

En el informe sobre la verificación de una máquina de ensayo, se debe consignar dentro de qué intervalo de carga se encontró que se ajustaba a los requisitos de la especificación, en lugar de informar una aceptación o rechazo general. En ningún caso el intervalo de carga deberá incluir cargas por debajo del valor que sea 100 veces el cambio más pequeño de carga que pueda estimar el mecanismo indicador de carga de la máquina de ensayo o cargas dentro de aquella porción del intervalo por debajo del 10% de la máxima capacidad del mismo.

- d) En ningún caso se debe consignar el intervalo de carga incluyendo cargas por fuera del rango de las cargas aplicadas durante el ensayo verificación.
- e) La carga indicada por la máquina de ensayo no se debe corregir ni mediante cálculos, ni mediante el uso de diagramas de calibración para obtener valores dentro de la variación permisible requerida.

4.1.2 La máquina de ensayo debe estar equipada con dos bloques de carga, de acero con caras endurecidas (Nota 1), uno de los cuales es un bloque con rótula el cual descansa sobre la superficie superior de la muestra, y el otro un bloque sólido sobre el cual se colocará el espécimen.

Las superficies de los bloques que estarán en contacto con el espécimen deben tener una dimensión al menos 3% mayor que el diámetro del espécimen a ensayar. Excepto para los círculos concéntricos descritos a continuación, las caras de carga no se deben separar del

plano en más de 0,02 mm (0,001") en cualquiera de los 150 mm (6") de los bloques de 150 mm (6") de diámetro o mayores, o en más de 0,02 mm (0,001") de cualquier bloque con diámetro más pequeño; los bloques nuevos se deben fabricar con la mitad de estas tolerancias.

Cuando el diámetro de la cara de carga con rótula exceda el diámetro del espécimen en más de 13 mm (0,5"), se deben inscribir círculos concéntricos con una profundidad no mayor de 0,8 mm (0,03") y un ancho no mayor a 1,0 mm (0,04") para facilitar el centrado.

Nota 1. La dureza "Rockwell" de las caras de los bloques de carga utilizados para este ensayo no debe ser menor de 55 HRC

4.1.2.1 El bloque inferior de carga debe cumplir los siguientes requisitos:

- Debe ser adecuado para proveer una superficie maquinada que cumpla con los requerimientos anteriormente indicados (Nota 2). Las superficies superiores e inferiores deben ser paralelas una a la otra. El bloque se debe poder asegurar a la platina de la máquina de ensayo. Su dimensión horizontal menor debe ser al menos 3% mayor que el diámetro del espécimen ensayado. Los círculos concéntricos que se describen en la Sección 4.1.2 son opcionales.
- Se hará un centrado final con respecto al bloque superior cuando se use el bloque inferior para ayudar al centrado del espécimen. El centro de los anillos concéntricos, cuando éstos existan, o el centro del bloque mismo debe estar directamente debajo del centro de la rótula.
- El bloque de carga inferior debe tener al menos 25 mm (1") de espesor cuando sea nuevo, y al menos 22,5 mm (0,9") después de cualquier operación de afinado de la superficie, excepto cuando esté en completo e íntimo contacto con la platina interior de la máquina de ensayo, caso en el cual el espesor podrá ser de sólo 10 mm (0,38").

Nota 2. Si la máquina de ensayo está diseñada de tal forma que la plataforma sola se pueda mantener con su superficie en las condiciones especificadas, no se requerirá un bloque inferior

4.1.2.2 El bloque de carga con rótula debe cumplir los siguientes requisitos:

- El diámetro máximo de la cara de carga del bloque con rótula no debe exceder los valores que se dan a continuación:

Tabla 1

Especificaciones de diámetro de la cara de carga

Diámetro del espécimen de ensayo, mm (pulg)	Diámetro máximo de la cara de carga, mm (pulg)
50 (2)	105 (4)
75 (3)	130 (4)
100 (4)	165 (6,5)
150 (6)	255 (10)
200 (8)	280 (11)

Nota 3. Se aceptan las superficies cuadradas, siempre y cuando el diámetro máximo del círculo inscrito más grande no exceda el diámetro indicado en la tabla.

- b) El centro de la rótula debe coincidir con el de la superficie de la cara de carga dentro de una tolerancia de $\pm 5\%$ del radio de la rótula. El diámetro de la rótula debe ser, al menos, el 75% del diámetro de la muestra que se va a ensayar.
 - c) La rótula debe ser diseñada de tal forma que el acero en el área de contacto no sufra deformaciones permanentes debido al uso, con cargas de hasta 82,7 MPa (12,000 psi) sobre el espécimen de prueba.
 - d) Las superficies de la rótula se deben mantener limpias y lubricadas con aceite de motor convencional. Después de entrar en contacto con el espécimen y de aplicar una pequeña carga inicial, se debe evitar cualquier movimiento adicional del bloque con rótula.
 - e) Si el radio de la rótula es más pequeño que el radio del espécimen más grande a ser ensayado, la porción de la superficie de carga que se extiende más allá de la rótula debe tener un espesor no menor que la diferencia entre el radio de la esfera y el radio del espécimen. La menor dimensión de la superficie de carga debe ser al menos igual que el diámetro de la rótula (Ver Figura 1).
 - f) La porción móvil del bloque de carga se debe sostener lo más segura que sea posible, pero el diseño debe ser tal que la cara de carga pueda girar libremente e inclinarse al menos 4° en cualquier dirección.
- 4.1.3 Indicador de Carga – Si la carga de una máquina de compresión usada en el ensayo de concreto se registra en un dial, éste debe tener una escala graduada que permita leer con una precisión del 0,1% de la carga total de la escala.

(Nota 4). El dial debe ser legible dentro del 1% de la carga indicada a cualquier nivel de carga dado dentro del intervalo de carga. En ningún caso se debe considerar el intervalo de carga de un dial que incluya cargas por debajo del valor que sea 100 veces el más pequeño cambio de carga que se pueda leer sobre la escala. La escala debe tener una línea y un número que indique el cero (0). El puntero debe tener una longitud tal, que alcance las marcas indicadoras.

El espesor del extremo del puntero no debe exceder la distancia libre entre las graduaciones más pequeñas. Cada dial debe estar equipado con un dispositivo de ajuste al cero, accesible desde afuera, y con un indicador apropiado para que en todo momento y hasta cuando sea reiniciado indique, con una exactitud del 1%, la carga máxima aplicada al espécimen.

Nota 4. La distancia más cercana, razonablemente legible se considera que es 0,5 mm (0,02”) a lo largo del arco descrito por el extremo del puntero.

Si la máquina de ensayos indica la carga en forma digital, el número debe ser suficientemente grande para que sea legible, con un incremento numérico igual o menor al 0,05% de la carga total de la escala y dentro del 1,0% de la carga indicada en cualquier nivel dentro del rango de valores de carga dados.

Se deben realizar los ajustes para que la aguja señale el cero verdadero cuando se encuentre con carga cero (0). Se debe proveer un indicador de carga máxima que, en todo momento, hasta cuando la máquina sea reiniciada, indique con una precisión del 1%, la carga máxima que fue aplicada al espécimen.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Las muestras no se deben ensayar si cualquier diámetro individual de un cilindro difiere de cualquier otro diámetro del mismo cilindro en más de 2% (Nota 5).

Nota 5. Esto puede ocurrir cuando uno de los moldes sea dañado o deformado durante su transporte, cuando se usen moldes flexibles y éstos se deformen durante el moldeo, o cuando una muestra proveniente del núcleo se deflece o tuerza durante el proceso de perforación.

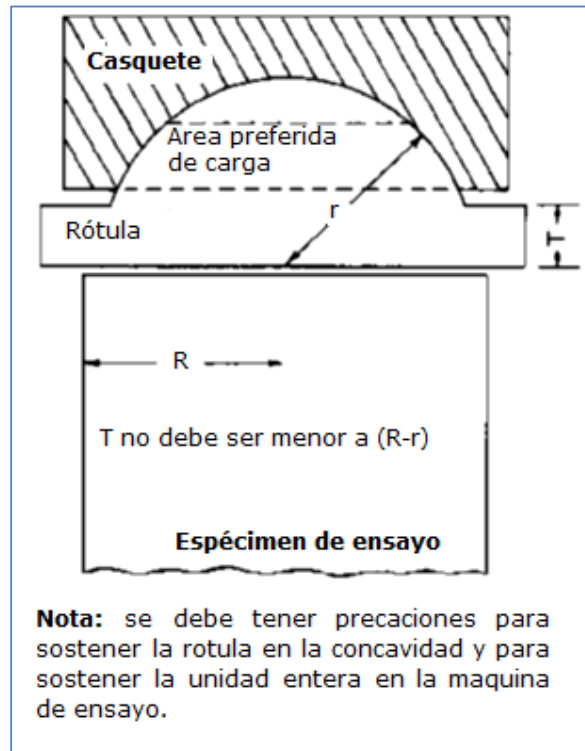


Figura 1 Dibujo esquemático de un bloque de carga típico con rótula

5.2 Ninguna de las muestras ensayadas a compresión se debe separar de la perpendicularidad del eje en más de $0,5^\circ$ (equivalentes a 3 mm en 300 mm (0,12" en 12") aproximadamente). El extremo de una muestra que no sea plana en 0.05 mm (0,002") debe ser refrentado de acuerdo a lo indicado por la norma MTC E 703 o cuando se le permita la NTP 339.216. El diámetro usado para calcular el área de la sección transversal de la muestra se debe determinar con una precisión de 0,25 mm (0,01"), promediando los dos diámetros medidos en ángulo recto uno con respecto al otro y en la mitad del espécimen.

5.3 El número individual de cilindros medidos para la determinación del diámetro promedio se puede reducir a uno por cada diez especímenes o tres especímenes por día, lo que sea mayor, si se sabe que todos los cilindros han sido hechos con un único lote de moldes reutilizables que consistentemente producen especímenes de diámetro promedio en una variación de 0,50 mm (0,02").

Cuando el diámetro promedio con un rango de variación de 0,50 mm o cuando los cilindros no están hechos con un único lote de moldes, cada cilindro ensayado se debe medir y el valor encontrado ser usado en los cálculos de la resistencia a la compresión de cada muestra. Cuando los diámetros son medidos con frecuencia reducida, el área de los cilindros ensayados en un determinado día se calculará como el promedio de la de los tres (3) o más cilindros que representan el grupo ensayado dicho día.

5.4 Si el cliente que requiere los servicios solicita la determinación de la densidad de la muestra, se debe determinar la masa de la muestra antes del refrentado. Se debe remover cualquier humedad de la superficie con una toalla y medir la masa de la muestra usando una balanza o báscula con una precisión del 0,3% de la masa que esté siendo medida. Se debe medir la longitud de la muestra con una aproximación de 1 mm (0,05") en tres partes espaciadas regularmente alrededor de la circunferencia. Se debe sacar un promedio de la longitud con una precisión de 1mm (0,05"). Alternativamente, se puede determinar la densidad del cilindro pesándolo en el aire y luego en el agua a $23^\circ \pm 2^\circ$ C, y calculando el volumen de acuerdo con lo indicado en la Sección 6.3.

Cuando no se requiera determinar la densidad y la relación longitud/diámetro del cilindro sea menor de 1,8 ó mayor de 2,2 la longitud de éste se deberá medir con una aproximación de 0,05 D.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 El ensayo de compresión de muestras curadas en agua se debe hacer inmediatamente después de que éstas han sido removidas del lugar de curado.
- 6.2 Las muestras se debe n mantener húmedas utilizando cualquier método conveniente, durante el período transcurrido desde su remoción del lugar de curado hasta cuando son ensayadas. Se deberán ensayar en condición húmeda.
- 6.3 Todos los especímenes de una edad determinada, se deben romper dentro de las tolerancias indicadas a continuación:

Tabla 2

Tolerancias de edad de ensayo de los especímenes

Edad del Ensayo	Edad del Ensayo
12 horas	0,25 o 2,1%
24 horas	± 0,5 horas o 2,1 %
3 días	2 horas ó 2,28%
7 días	6 horas ó 3,6%
28 días	20 horas 3,0%
56 días	40 horas ó 3,0%
90 días	2 días ò 2,2%

- 6.4 Colocación de la Muestra – Se coloca el bloque de carga inferior sobre la plataforma de la máquina de ensayo, directamente debajo del bloque superior.

Se limpian con un paño las superficies de los bloques superior e inferior y se coloca el espécimen sobre el bloque inferior.

Se alinea cuidadosamente el eje del espécimen con el centro de presión del bloque superior. El bloque con rótula se debe rotar inmediatamente antes de proceder al ensayo, para asegurar la libertad de movimiento requerida en la Sección 2.2.

Antes de ensayar el espécimen se debe verificar que el indicador de carga esté ajustado en cero.

- 6.5 Velocidad de Carga – Se aplica la carga continuamente sin golpes bruscos.

La carga se deberá aplicar a una velocidad correspondiente a una tasa de aplicación de carga comprendida en el rango de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s (35 ± 7 psi/s). La velocidad escogida se debe mantener, al menos, durante la segunda mitad del ciclo de ensayo, para la fase de carga prevista. Sin embargo, no se deberá ajustar la velocidad de movimiento a medida que se está alcanzando la carga última y la tasa de aplicación de carga decrece debido al agrietamiento del cilindro.

Durante la aplicación de la primera mitad de la fase de carga prevista, se permite una velocidad de carga mayor, siempre que ésta se controle para evitar cargas por impacto.

Nota 6. Para máquinas de tipo tornillo o de deformación controlada, se requiere un ensayo preliminar para establecer la velocidad de movimiento requerida para generar la tasa de carga especificada. Dicha velocidad dependerá del tamaño del cilindro, del módulo elástico del concreto y de la rigidez de la máquina de ensayo

- 6.6 Se aplica la carga hasta que el indicador señale que ella comienza a decrecer de manera continua y el cilindro muestra un patrón de falla bien definido (Figura 2). Si se usa una máquina equipada con un detector de rotura del espécimen no se permitirá su reconexión hasta que la carga haya caído a un valor menor de 95% de la máxima.

Cuando se ensayan cilindros sin refrentar, puede ocurrir una fractura de esquina antes de alcanzar la carga última; en tal caso se debe continuar la compresión hasta que se tenga la certeza de haber alcanzado la carga última.

Se registra la carga máxima soportada por el cilindro durante el ensayo y se anota el patrón de falla de acuerdo con los modelos de la Figura 2, si se ajusta a alguno de ellos. En caso contrario se harán un dibujo y una descripción del tipo de falla producido.

Si la resistencia medida es muy inferior a la esperada, se examina el cilindro para detectar zonas con vacíos o con evidencias de segregación o si la fractura atraviesa partículas del agregado grueso y se verifican, también, las condiciones del refrentado.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Se calcula la resistencia a la compresión, dividiendo la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo, por el promedio del área de la sección transversal determinada en la forma descrita en la Sección 4.1.3, y expresando el resultado con una aproximación de 0,1 MPa (10 psi).
- 7.1.2 Si la relación entre la longitud del espécimen y su diámetro es 1,75 o menor, se corrige el resultado obtenido en la Sección 6.1, multiplicándolo por el factor apropiado de los que se indican a continuación (Nota 7):

L/D	1,75	1,50	1,25	1,00
Factor	0,98	0,96	0,93	0,87

Nota 7. Estos factores de corrección se aplican a concretos livianos que pesen entre 1600 y 1920 kg/m³ y a concretos de peso normal. Se aplican a concretos secos o húmedos en el momento de la carga. Los valores que no se dan en la tabla se pueden obtener por interpolación. Los factores de corrección se aplican a concretos con una resistencia entre 15 y 45 MPa (2000 a 6000 Psi). Para concretos de resistencia superior a 45 MPa (6000 psi) los factores de corrección pueden ser mayores que los mostrados en la tabla. Ver referencia: Barlett, F.M. y J.G. MacGregor. "Effect of Core Length-to-Diameter Ratio on Concrete Core Strength." ACI Materials Journal, Vol. 91, No. 4, July-August, 1994, pp. 339-348.

- 7.1.3 Cuando se requiera, se calculará la densidad de la muestra con una precisión de 10 kg/m³ (1lb/pie³), de la siguiente manera:

$$densidad = \frac{W}{V}$$

Donde:

W = masa aparente de la muestra sumergida, kg (lb), y

V = volumen de la muestra calculado con el diámetro promedio y la longitud promedio o pesando el cilindro en el aire y sumergido en agua, m³ (pie³)

Cuando el volumen es calculado sumergiendo la muestra, se determina de la siguiente manera:

$$V = \frac{W - W_s}{Y_w}$$

Donde:

W = masa de la muestra, kg (lb), y

Yw = densidad del agua a 23° C = 997,5 kg/m³ (62,27lbs/pie³).

7.2 INFORME

El informe de los resultados deberá incluir:

- 7.2.1 Número de identificación del cilindro.
- 7.2.2 Diámetro (y longitud, si está por fuera del rango de 1,8D a 2,2D) en mm o pulgadas.
- 7.2.3 Área de la sección transversal (cm² o pulgada²).
- 7.2.4 Carga máxima (KN o lbf).
- 7.2.5 Resistencia a la compresión (MPa o psi), con una precisión de 0,1MPa (10 psi).
- 7.2.6 Edad del espécimen.
- 7.2.7 Defectos en el refrentado del espécimen.
- 7.2.8 Cuando se determine, la densidad con una precisión de 10 kg/m³ (1lb/pie³)
- 7.2.9 Tipo de falla (Figura 2).

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

- 8.1.1 La precisión de los ensayos efectuados por un solo operador sobre cilindros individuales de 150 mm por 300 mm (6" x 12") elaborados de una buena muestra de concreto, para cilindros hechos en el laboratorio y bajo condiciones normales de campo, está dada en la tabla siguiente:

Un solo operador	Coeficiente de Variación	Rango aceptable de	
		Dos resultados	Tres resultados
Condiciones de laboratorio	2,37%	6,6%	7,8%
Condiciones de campo	2.87%	8.0%	9.5%

Los valores dados son aplicables a cilindros de 150 mm por 300 mm (6" x 12") con resistencia a la compresión entre 15 MPa y 55 MPa (2000 psi y 8000 psi).

8.2 DISPERSIÓN

- 8.2.1 Tolerancias – Como no existe un material de referencia aceptado para la determinación de las tolerancias, no se hace ninguna declaración sobre el particular.

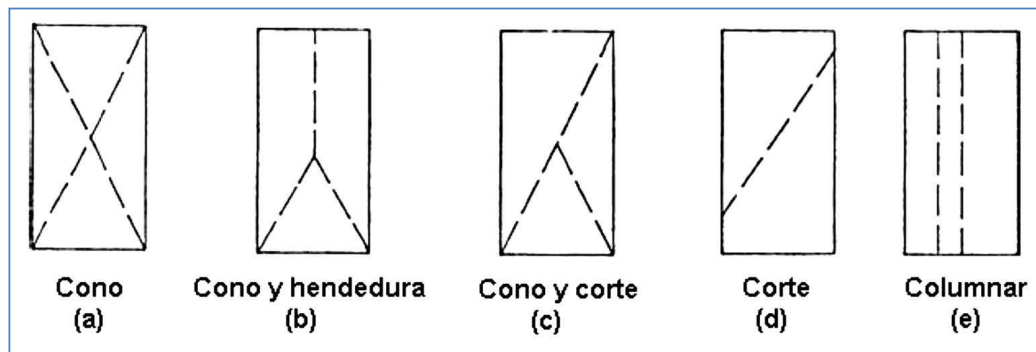


Figura 2. Esquemas de los tipos de falla

APÉNDICE A

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE MUESTRAS CILINDRICAS DE CONCRETO CON REFRENTADO DE NEOPRENO.

A.1 OBJETIVO

Este método cubre el procedimiento para el ensayo de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto de 150mm (6") de diámetro por 300 mm (12") utilizando refrentado de neopreno con reguladores de fijación de acero.

Se deben tomar previsiones para sistemas alternos reutilizables de refrentado los cuales emplean otros materiales para la almohadilla y la fijación, diferentes del neopreno y del acero.

A.2 FINALIDAD Y ALCANCE

El uso de refrentado de neopreno deberá ser considerado como una alternativa adecuada para los ensayos de resistencia a la compresión. Los sistemas alternos de refrentado reutilizables deben ser verificados de acuerdo a las secciones A10 y A11.

A.3 EQUIPO

Se deben utilizar 2 reguladores de fijación de acero (ver Tabla A1). Una configuración aceptable para ellos se muestra en la Figura 3.

Todas las superficies de carga del regulador, tanto las interiores como exteriores, deben ser perfiladas con máquina con una precisión de 0,05 mm (0,002"). Durante su uso, la superficie de carga exterior se debe mantener libre de estrías, o indentaciones de profundidad mayor a 0,25 mm (0,010") o con área de superficie de 32 mm² (0,05 pulg²). Tampoco se admiten protuberancias de cualquier tipo.

Tabla A1. Tolerancias

Diámetro interior del regulador	0mm (0")	+0,8mm(+1/32")
Pared del regulador	-1,6mm (-1/16")	-1,6mm (-1/16")
Cualquier tolerancia no especificada	-0,4mm (-1/64")	+0,4mm (+1/64")

Los casquetes de neopreno deben cumplir los requerimientos de la norma ASTM D 2000. Sus dimensiones deberán ser 155mm (6,12") de diámetro y 12,7mm (5") de espesor.

Se requiere una máquina de ensayo a la compresión que cumpla los requerimientos del método principal de ensayo.

A.4 PRECAUCIONES

Los cilindros de concreto ensayados con refrentado de neopreno se rompen con mayor intensidad que los cilindros similares ensayados con refrentado de mortero de azufre. Como una precaución de seguridad, la máquina de ensayo de cilindros deberá estar equipada con una cabina protectora.

La velocidad de carga para algunas máquinas de ensayo tendrá que ser ajustada cuando se utilice refrentado de neopreno.

A.5 MUESTRAS DE ENSAYO

Las muestras de ensayo deben ser las especificadas en el método de ensayo principal y modificado como se explica a continuación:

Cada extremo del cilindro de concreto deberá ser nivelado con un margen dentro de 3 mm (0,12") a través de cualquier diámetro; es decir, no deberá haber ninguna depresión en las superficies del concreto con profundidad mayor de 3 mm (0,12").

Los cilindros que no cumplan con esta tolerancia no deberán ser ensayados, a menos que sea corregida primero cualquier irregularidad de la superficie.

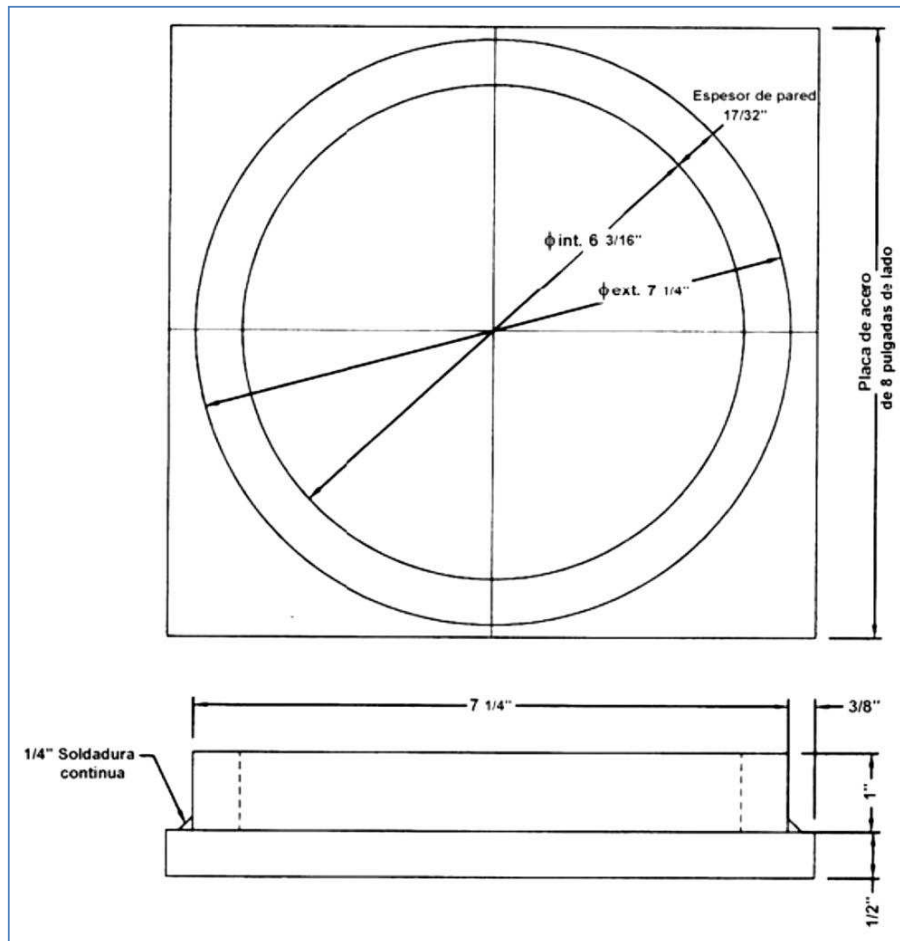


Figura 3. Regulador externo de fijación

Ninguno de los extremos de las muestras de ensayo a compresión se deberá separar de la perpendicularidad al eje en más de 2° (aproximadamente igual a la diferencia en altura de 5 mm (0,2") para dos cilindros de diámetro 150 mm (6").

Los cilindros que no cumplan esta tolerancia no se deberán ensayar, a menos que se corrija primero esta irregularidad.

A.6 PROCEDIMIENTO

El procedimiento a seguir deberá ser el especificado en el método principal de ensayo, modificado como se indica a continuación:

Se coloca un regulador externo de fijación conteniendo un casquete de neopreno, en las superficies superior e inferior del cilindro de concreto. Con los casquetes de neopreno en contacto con el cilindro de concreto, se alinea cuidadosamente el eje de la muestra con el centro de empuje del bloque de carga con rótula. Se colocan las placas de carga de la máquina en contacto con ambos reguladores externos de fijación.

No debe haber partículas sueltas entre el cilindro de concreto y el casquete de neopreno ó entre las superficies de carga de los reguladores externos de fijación y las placas de carga de la máquina de ensayo.

La misma superficie del casquete de neopreno deberá descansar sobre el cilindro de concreto para todos los ensayos realizados con ese mismo casquete. Cada casquete de neopreno no

deberá ser utilizado para más de 100 cilindros. La duración de almohadillas alternativas deberá ser verificada de acuerdo con la sección A.11.

A.7 cálculos

La resistencia a la compresión deberá ser calculada como se describe en la Sección 7.1 de la presente norma.

A.8 INFORME

El informe de los resultados debe incluir todos los ítems anotados en la Sección 8 prescritos en esta norma.

A.9 PRECISIÓN

La variación en el ensayo asociada al refrentado con neopreno no es más alta y posiblemente sea más baja que la asociada al refrentado con azufre. Los resultados de un estudio indican que los coeficientes de variación asociados al refrentado con neopreno estuvieron dentro del rango 0,0 a 4,0 %, considerado para representar un excelente control.

Los refrentados de neopreno se deben considerar como un sustituto aceptable del refrentado de azufre sin correcciones por diferencias aparentes de resistencia.

A.10 SISTEMAS ALTERNOS DE REFRENTADO REUTILIZABLE

Existen diversos sistemas comerciales que emplean almohadillas de refrentado reutilizables, fabricadas con materiales diferentes al neopreno y reguladores externos de fijación con metales distintos al acero. Un sistema de refrentado reutilizable alternativo podrá ser empleado siempre que el siguiente criterio y las verificaciones del fabricante, y de la agencia (o del comprador) sean satisfechos.

A.11 CRITERIOS PARA ACEPTAR SISTEMAS ALTERNOS DE REFRENTADO REUTILIZABLE

El sistema debe emplear refrentados reutilizables retenidos en los reguladores externos de fijación. Las tolerancias de todas las superficies de carga de los reguladores externos de fijación deberán cumplir los requerimientos de la sección A.

El refrentado reutilizable deberá suministrar un espesor compresible de mínimo 12,7 mm (0,5") en toda el área de carga. El fabricante deberá producir un refrentado reutilizable que sea uniforme en dimensiones y propiedades físicas.

A.11.1 Verificación por parte del fabricante de los sistemas de refrentado reutilizable:

El fabricante deberá suministrar resultados de un experimento factorial de dos factores, con el método de refrentado como factor principal y una tanda de concreto como factor secundario. Para la estimación de varianzas por error, interacción entre factores, o para factores, el factor del sistema de refrentado deberá ser considerado como una variable fija y el factor de la tanda como una aleatoria. El experimento deberá ser repetido a tres niveles de la resistencia del concreto a los 28 días, representando un rango de resistencia promedio de 15 a 45 MPa (2000 a 6000 psi), como 15 (2000), 30 (4000), 45 (6000) MPa (psi). El nivel de significación del ensayo F para medir la significación de la diferencia entre varianzas deberá ser 0,05.

Al conducir el experimento, un mínimo de ocho tandas de cuatro cilindros por tanda deberán ser preparadas para cada nivel de resistencia, proporcionando dos réplicas para cada método de refrentado por combinación de tanda. Dentro de cada tanda se deben escoger aleatoriamente igual número de cilindros para ensayarlos con el sistema de refrentado reutilizable y por el método del azufre (norma MTC E 703). La secuencia de ensayo para el método refrentado por tanda por nivel de resistencia se deberá hacer aleatoriamente. Si las instalaciones del laboratorio no permiten fabricar todos los cilindros en un solo día, los cilindros para un nivel completo de resistencia deberán ser fabricados en tres días sucesivos; la secuencia de ensayo por el método de refrentado por tanda será aleatoria. Se deberá emplear un grupo de almohadillas nuevas para todos los ensayos dentro de cada nivel de

resistencia. A opción del fabricante, se podrá utilizar un grupo de almohadillas nuevas para todos los ensayos en todos los niveles de resistencia; pero la secuencia de ensayo por el método de refrentado por tanda por nivel de resistencia deberá ser aleatorias.

Las equivalencias estadísticas específicas que el fabricante debe demostrar deberán ser como se indica a continuación:

El análisis de la varianza de cada nivel de resistencia no deberá mostrar un efecto significativo del método de refrentado.

El promedio de las diferencias en resistencia estimado entre los métodos de refrentado utilizando los promedios de las celdas para cada método de refrentado por tanda por nivel de resistencia no deberá ser significativamente diferente de cero. Se deberá utilizar el ensayo testigo t con un nivel de significancia de 0,10.

Nota A.1. Una referencia que describe experimentos factoriales es "Fundamental Concepts in the Design of Experiments" de Charles R. Hicks, publicado por Holt, Rinehart, y Winston

A.11.2 Verificación de los sistemas de refrentado reutilizable por parte de la agencia (o del comprador):

Antes de implementar un sistema de refrentado reutilizable, la agencia (o el comprador) deberá llevar a cabo una evaluación interna comparando resistencia a la compresión y la variabilidad para grupos de cilindros de campo fabricados de las mismas muestras de concreto; el sistema de refrentado reutilizable deberá ser comparado con el descrito en la norma INV E – 403. El ensayo testigo t deberá ser utilizado con un nivel de significancia de 0,10.

Se deberán comparar un mínimo de 30 grupos de cilindros para la resistencia a la compresión para una evaluación con un grupo de almohadillas reutilizables; sin embargo, el número de grupos se debe incrementar (para determinar la vida útil) si el refrentado reutilizable no ha desarrollado un daño visible como rajaduras, ranuras o compresión permanente en el área de carga en 30 repeticiones. La evaluación se deberá repetir al menos una vez con un nuevo grupo de refrentado reutilizable. Se deberán utilizar cilindros de control de trabajo de dos o más por grupo obtenidos de la misma muestra. Si los cilindros son obtenidos de tandas sucesivas en el laboratorio, la selección de los cilindros se deberá hacer aleatoriamente entre tandas por método de refrentado.

La agencia (o comprador) deberá rechazar un sistema de refrentado reutilizable si la evaluación interna muestra una diferencia significativa en la resistencia a la compresión o en la variabilidad en relación con el procedimiento de la norma MTC E 703.

La agencia (o comprador) deberá reservarse el derecho a rechazar un sistema de refrentado reutilizable si el número de posibles repeticiones o la vida útil de un grupo de almohadillas no son aceptable para la agencia (o para el comprador).

Nota A.2. Este método es acorde técnicamente con la norma ASTM C 3 9-04a, excepto por el uso del sistema internacional de unidades y el apéndice A

MTC E 705**ASENTAMIENTO DEL CONCRETO (SLUMP)****1.0 OBJETO**

- 1.1 Establecer el método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto en las obras y en el laboratorio.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este ensayo no es aplicable cuando el concreto contiene una cantidad apreciable de agregado grueso de tamaño mayor a 37,5 mm (1½") o cuando el concreto no es plástico o cohesivo. Si el agregado grueso es superior a 37,5 mm (1½"), el concreto deberá tamizarse con el tamiz de este tamaño según la norma MTC 701 "Muestras de Concreto Fresco".
- 2.2 Concretos que presenten asentamientos menores a 15 mm (1/2") pueden no ser adecuadamente plásticos y concretos que presenten asentamientos mayores a 230 mm (9") pueden no ser adecuadamente cohesivos para que este ensayo tenga significado. Se debe tener precaución en la interpretación de estos resultados.
- 2.3 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados como la norma.
- 2.4 Esta norma no pretende considerar los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien emplee esta norma el establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y el determinar la aplicabilidad de limitaciones regulatorias antes de su empleo.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 339.035 HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento portland.
- 3.2 AASHTO: T 119M Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete.
- 3.3 ASTM: C 143 Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete.

4.0 EQUIPO**4.1 EQUIPO**

- 4.1.1 Molde – Debe ser metálico, inatacable por el concreto, con espesor de lámina no inferior a 1,14 mm (0,045"). Su forma interior debe ser la superficie lateral de un tronco de cono de 203 ± 2 mm ($8" \pm 1/8"$) de diámetro en la base mayor, 102 ± 2 mm ($4" \pm 1/8"$) de diámetro en la base menor y 305 ± 2 mm ($12" \pm 1/8"$) de altura. Las bases deben ser abiertas, paralelas entre sí y perpendiculares al eje del cono. El molde debe estar provisto de agarraderas y de dispositivos para sujetarlo con los pies, como se indica en la Figura 1. La costura de la lámina debe ser esencialmente como la indicada en la Figura 1. El interior del molde debe estar libre de abolladuras, ser liso y sin protuberancias.
- 4.1.2 Varilla compactadora – Debe ser de hierro liso, cilíndrica, de 16 mm (5/8") de diámetro y de longitud aproximada de 600 mm (24"); el extremo compactador debe ser hemisférico con radio de 8 mm (5/16").

5.0 MUESTRA

La muestra que se utiliza en el ensayo debe ser representativa del concreto. Dicha muestra se debe obtener de acuerdo con la norma MTC 701.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Se humedece el molde y se coloca sobre una superficie horizontal rígida, plana, húmeda y no absorbente. Se sujeta firmemente con los pies y se llena con la muestra de concreto en tres capas, cada una de ellas de un tercio del volumen del molde, aproximadamente.

Un tercio del volumen del molde corresponde, aproximadamente, a una altura de 67 mm; dos tercios del volumen corresponden a una altura de 155 mm.

- 6.2 Cada capa debe compactarse con 25 golpes de la varilla, distribuidos uniformemente sobre su sección transversal. Para la capa del fondo es necesario inclinar ligeramente la varilla dando aproximadamente la mitad de los golpes cerca del perímetro y avanzando con golpes verticales en forma de espiral, hacia el centro. La capa del fondo se debe compactar en todo su espesor; las capas intermedia y superior en su espesor respectivo, de modo que la varilla penetre ligeramente en la capa inmediatamente inferior.
- 6.3 Al llenar la capa superior se debe apilar concreto sobre el molde antes de compactar. Si al hacerlo se asienta por debajo del borde superior, se debe agregar concreto adicional para que en todo momento haya concreto sobre el molde. Después que la última capa ha sido compactada se debe alisar a ras la superficie del concreto. Inmediatamente el molde es retirado, alzándolo cuidadosamente en dirección vertical.

El concreto del área que rodea la base del cono debe ser removido para prevenir interferencia con el proceso de asentamiento. El alzado del molde debe hacerse en un tiempo aproximado de 5 ± 2 segundos, mediante un movimiento uniforme hacia arriba, sin que se imparta movimiento lateral o de torsión al concreto.

La operación completa, desde que se comienza a llenar el molde hasta que se retira, se debe hacer sin interrupción en un tiempo máximo de 2 minutos 30 segundos.

El ensayo de asentamiento se debe comenzar a más tardar 5 minutos después de tomada la muestra.

- 6.4 Inmediatamente después, se mide el asentamiento, determinando la diferencia entre la altura del molde y la altura medida sobre el centro original de la base superior del espécimen.

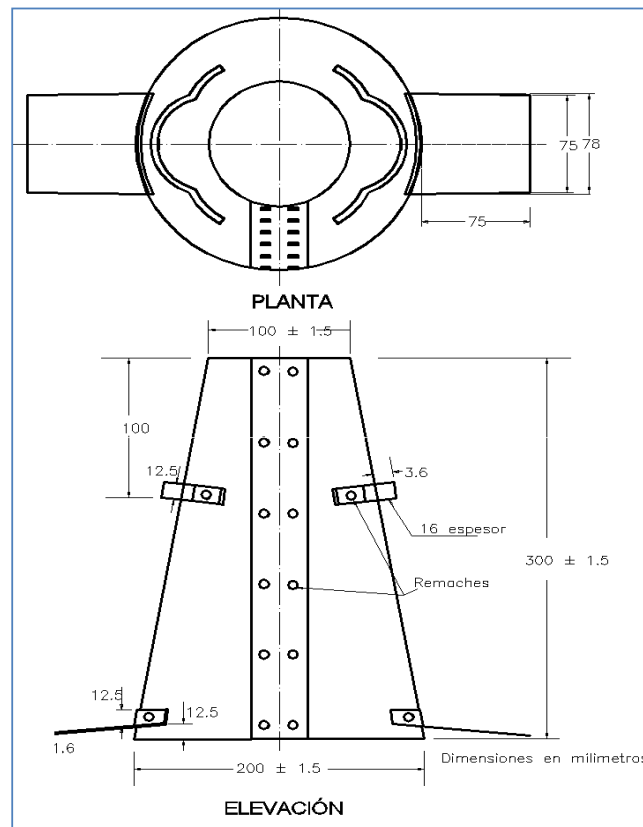


Figura 1. Molde para determinar el asentamiento



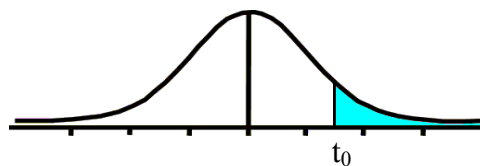
Si ocurre un derrumbamiento pronunciado o desprendimiento del concreto hacia un lado del espécimen, se debe repetir el ensayo sobre otra porción de la muestra. Si dos ensayos consecutivos sobre una muestra de concreto dan este resultado, el concreto carece probablemente de la plasticidad y cohesión necesarias para que el ensayo de asentamiento sea aplicable.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 INFORME

Se debe anotar el asentamiento del espécimen con aproximación al medio centímetro.

Tabla t-Student



Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
31	0.6825	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.7440
32	0.6822	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.7385
33	0.6820	1.3077	1.6924	2.0345	2.4448	2.7333
34	0.6818	1.3070	1.6909	2.0322	2.4411	2.7284
35	0.6816	1.3062	1.6896	2.0301	2.4377	2.7238
36	0.6814	1.3055	1.6883	2.0281	2.4345	2.7195
37	0.6812	1.3049	1.6871	2.0262	2.4314	2.7154
38	0.6810	1.3042	1.6860	2.0244	2.4286	2.7116
39	0.6808	1.3036	1.6849	2.0227	2.4258	2.7079
40	0.6807	1.3031	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045
41	0.6805	1.3025	1.6829	2.0195	2.4208	2.7012
42	0.6804	1.3020	1.6820	2.0181	2.4185	2.6981
43	0.6802	1.3016	1.6811	2.0167	2.4163	2.6951
44	0.6801	1.3011	1.6802	2.0154	2.4141	2.6923
45	0.6800	1.3007	1.6794	2.0141	2.4121	2.6896
46	0.6799	1.3002	1.6787	2.0129	2.4102	2.6870
47	0.6797	1.2998	1.6779	2.0117	2.4083	2.6846
48	0.6796	1.2994	1.6772	2.0106	2.4066	2.6822
49	0.6795	1.2991	1.6766	2.0096	2.4049	2.6800

50	0.6794	1.2987	1.6759	2.0086	2.4033	2.6778
51	0.6793	1.2984	1.6753	2.0076	2.4017	2.6757
52	0.6792	1.2980	1.6747	2.0066	2.4002	2.6737
53	0.6791	1.2977	1.6741	2.0057	2.3988	2.6718
54	0.6791	1.2974	1.6736	2.0049	2.3974	2.6700
55	0.6790	1.2971	1.6730	2.0040	2.3961	2.6682
56	0.6789	1.2969	1.6725	2.0032	2.3948	2.6665
57	0.6788	1.2966	1.6720	2.0025	2.3936	2.6649
58	0.6787	1.2963	1.6716	2.0017	2.3924	2.6633
59	0.6787	1.2961	1.6711	2.0010	2.3912	2.6618
60	0.6786	1.2958	1.6706	2.0003	2.3901	2.6603
61	0.6785	1.2956	1.6702	1.9996	2.3890	2.6589
62	0.6785	1.2954	1.6698	1.9990	2.3880	2.6575
63	0.6784	1.2951	1.6694	1.9983	2.3870	2.6561
64	0.6783	1.2949	1.6690	1.9977	2.3860	2.6549
65	0.6783	1.2947	1.6686	1.9971	2.3851	2.6536
66	0.6782	1.2945	1.6683	1.9966	2.3842	2.6524
67	0.6782	1.2943	1.6679	1.9960	2.3833	2.6512
68	0.6781	1.2941	1.6676	1.9955	2.3824	2.6501
69	0.6781	1.2939	1.6672	1.9949	2.3816	2.6490
70	0.6780	1.2938	1.6669	1.9944	2.3808	2.6479
71	0.6780	1.2936	1.6666	1.9939	2.3800	2.6469
72	0.6779	1.2934	1.6663	1.9935	2.3793	2.6458
73	0.6779	1.2933	1.6660	1.9930	2.3785	2.6449
74	0.6778	1.2931	1.6657	1.9925	2.3778	2.6439
75	0.6778	1.2929	1.6654	1.9921	2.3771	2.6430
76	0.6777	1.2928	1.6652	1.9917	2.3764	2.6421
77	0.6777	1.2926	1.6649	1.9913	2.3758	2.6412
78	0.6776	1.2925	1.6646	1.9908	2.3751	2.6403
79	0.6776	1.2924	1.6644	1.9905	2.3745	2.6395
80	0.6776	1.2922	1.6641	1.9901	2.3739	2.6387
81	0.6775	1.2921	1.6639	1.9897	2.3733	2.6379
82	0.6775	1.2920	1.6636	1.9893	2.3727	2.6371
83	0.6775	1.2918	1.6634	1.9890	2.3721	2.6364
84	0.6774	1.2917	1.6632	1.9886	2.3716	2.6356
85	0.6774	1.2916	1.6630	1.9883	2.3710	2.6349
86	0.6774	1.2915	1.6628	1.9879	2.3705	2.6342
87	0.6773	1.2914	1.6626	1.9876	2.3700	2.6335
88	0.6773	1.2912	1.6624	1.9873	2.3695	2.6329
89	0.6773	1.2911	1.6622	1.9870	2.3690	2.6322
90	0.6772	1.2910	1.6620	1.9867	2.3685	2.6316
91	0.6772	1.2909	1.6618	1.9864	2.3680	2.6309
92	0.6772	1.2908	1.6616	1.9861	2.3676	2.6303
93	0.6771	1.2907	1.6614	1.9858	2.3671	2.6297
94	0.6771	1.2906	1.6612	1.9855	2.3667	2.6291
95	0.6771	1.2905	1.6611	1.9852	2.3662	2.6286
96	0.6771	1.2904	1.6609	1.9850	2.3658	2.6280
97	0.6770	1.2903	1.6607	1.9847	2.3654	2.6275
98	0.6770	1.2903	1.6606	1.9845	2.3650	2.6269
99	0.6770	1.2902	1.6604	1.9842	2.3646	2.6264
100	0.6770	1.2901	1.6602	1.9840	2.3642	2.6259
∞	0.6745	1.2816	1.6449	1.9600	2.3263	2.5758