

**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“APLICACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA Y ANGULARIDAD DE  
LOS AGREGADOS EN LAS PROPIEDADES FÍSICO -  
MECÁNICAS DEL CONCRETO PERMEABLE”**

PRESENTADO POR:

**Bach. TIPULA CAÑAZACA, Elmer**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO CIVIL**

**JULIACA – PERÚ**

**2016**



## **DEDICATORIA**

*A Dios y a mis padres, que siempre me  
acompañan y guían.*

***Elmer Tipula Cañazaca***

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Alas Peruanas, por la oportunidad de albergarme bajo sus aulas y haberme brindado la educación universitaria de excelencia.

A todos mis compañeros (as) y amigos (as) de la Universidad Alas Peruanas, por su amistad y tolerancia.

A todos mis familiares, por sus inestimables ánimos que han hecho que este trabajo se haga una realidad.

A todos ellos, muchas gracias de todo corazón.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado “*Aplicación de la Granulometría y Angularidad de los Agregados en las Propiedades Físico - Mecánicas del Concreto Permeable*”, considerando que la angularidad del agregado Tiene una influencia en las propiedades del concreto en estado fresco y en el estado endurecido como son la resistencia físico-mecánica y la trabajabilidad en su elaboración.

El concreto permeable es una mezcla de cemento, agregado grueso, poco o nada de agregado fino, y agua. Es un concreto con elevada porosidad, de moderada resistencia, de consistencia seca, con cero de asiento, con una baja relación agua/cemento, cuya principal característica es dejar pasar el agua a través de su estructura permeable. Se usa principalmente en aplicaciones de tránsito ligero, donde su función principal es evitar el escurrimiento superficial debido a las precipitaciones pluviales.

En este trabajo de investigación se utiliza una granulometría, adoptada según la angularidad del agregado como son: El Canto Rodado y La Piedra Chancada, tomando en consideración que la Cantera ISLA (ubicado en la provincia de San Román – distrito de Juliaca) según referencias técnicas, es considerada como una de las mejores canteras que contiene agregado de Canto Rodado de nuestra región. Respectivamente También analizaremos el agregado de la Cantera CABANILLAS (ubicado en la provincia de San Román-distrito de Cabanillas) quien también es considerada como una de las mejores canteras que cuenta con agregado de piedra chancada en nuestra región por mostrar una buena resistencia mecánica.

En la investigación se presenta los resultados de un trabajo experimental que evalúa el comportamiento de mezclas de concreto permeable. Para el diseño de mezclas se siguieron las recomendaciones del ACI211.3R, y se aplicaron los nuevos métodos de prueba recientemente desarrollados por la ASTM, relativo a la permeabilidad. Como materiales, se usó cemento portland tipo IP y agregados de origen aluvial y/o chancado. El trabajo experimental consistió en fabricar mezclas de concreto permeable, con dos tamaños de agregados (9,5 y 19,0 mm) de husos granulométricos N° 8 Y N°67, dos contenidos de vacíos (15% y 20%), manteniendo constante la relación agua/cemento en 0,35. Se presentan los resultados de las pruebas en estado endurecido (propiedades

mecánicas), así como pruebas de permeabilidad. Los resultados permiten establecer que es posible obtener mezclas de hormigón con adecuada permeabilidad para considerarlas como hormigones permeables y con propiedades mecánicas que permiten ser empleadas en las diversas aplicaciones. En resumen obtener las proporciones para la elaboración de un concreto permeable donde se pueda conseguir una buena resistencia a la compresión con una óptima permeabilidad.

Para el proceso experimental Se fabricaron cuatro mezclas para el análisis de cada cantera; M1, M2, M3, M4 (cantera isla) Y M1C, M2C, M3C, M4C (cantera Cabanillas), empleando un mismo parámetro en las proporciones de mezcla. Las variables fueron el tamaño máximo del agregado grueso (9,5 y 19,0 mm), el contenido de vacíos (15% y 20%) y una constante relación agua/cemento de (0,35). Se fabricaron mezclas preliminares para obtener mezclas con adecuada manejabilidad y permeabilidad. Se observó la necesidad de añadir agregado fino (M2, M3, M4 y M2C, M3C, M4C) para garantizar la homogeneidad y adherencia entre los agregados y la pasta. Se evalúan los pesos unitarios de los agregados, gravedad específica y absorción, resistencia al desgaste, porcentaje de caras fracturas en los agregados, la resistencia a compresión, el módulo de elasticidad (por correlación) y la permeabilidad.

Se presentan también los resultados de las pruebas de peso unitario en los agregados esto para determinar las proporciones de mezcla, y propiedades mecánicas del estado endurecido, así como pruebas de permeabilidad. Los resultados permiten concluir que la angularidad de los agregados aporta mayor resistencia al concreto y que posee una buena permeabilidad, además que los agregados de mayor huso granulométrico N° 67(3/4" - N°4) con 20% de vacíos y 10% de arena, cuyos parámetros corresponden a M4C (cantera Cabanillas) son la proporción recomendada para elaborar un concreto permeable de buena resistencia a la compresión y óptima permeabilidad. Propiedades mecánicas que permiten ser empleadas en diversas aplicaciones.

## ABSTRACT

The present research work entitled "Application of Granulometry and Angularity of Aggregates in the Physical - Mechanical Properties of Permeable Concrete", considering that the angularity of the aggregate has an influence on the properties of concrete in the fresh state and in the hardened state as Are the physical-mechanical resistance and the workability in its elaboration.

Permeable concrete is a mixture of cement, coarse aggregate, little or no fine aggregate, and water. It is a concrete with high porosity, moderate strength, dry consistency, zero seat, with a low water / cement ratio, whose main characteristic is to let the water pass through its permeable structure. It is mainly used in light traffic applications, where its main function is to avoid surface runoff due to rainfall.

In this research we use a granulometry, adopted according to the angularity of the aggregate as: He Singing Rolled and the Stone crushed, taking into consideration that the ISLA Quarry (located in the province of San Román - Juliaca district) according to technical references, is considered as one of the best quarries containing the aggregate of Canto Rodado in our region. Respectively We will also analyze the aggregate of the CABANILLAS Quarry (located in the province of San Román-Cabanillas district), which is also considered one of the best quarries that has aggregate crushed stone in our region for showing good mechanical strength.

The research presents the results of an experimental work that evaluates the behavior of permeable concrete mixtures. For the design of mixtures, the recommendations of ACI211.3R were followed, and the new test methods recently developed by ASTM on permeability were applied. As materials, portland cement type IP and aggregates of alluvial and / or crushed origin were used. The experimental work consisted in the manufacture of permeable concrete mixtures, with two sizes of aggregates (9.5 and 19.0 mm) of granulometric spindles No. 8 and No. 67, two void contents (15% and 20%), keeping constant The water / cement ratio is 0.35. The results of tests in hardened state (mechanical properties), as well as tests of permeability are presented. The results allow to establish that it is possible to obtain mixtures of concrete with adequate permeability

to be considered as permeable concrete and with mechanical properties that allow to be used in the various applications. In summary, obtain the proportions for the elaboration of a permeable concrete where a good resistance to the understanding can be obtained with an optimum permeability.

For the experimental process Four mixtures were made for the analysis of each quarry; M1, M2, M3, M4 (island island) and M1C, M2C, M3C, M4C (Cabanillas quarry), using the same parameter in the mixing proportions. The variables were the maximum size of the coarse aggregate (9.5 and 19.0 mm), the void content (15% and 20%) and a constant water / cement ratio of (0.35). Preliminary mixtures were made to obtain mixtures with suitable handling and permeability. The need to add fine aggregate (M2, M3, M4 and M2C, M3C, M4C) was observed to guarantee homogeneity and adhesion between aggregates and pulp. Aggregate weights of aggregates, specific gravity and absorption, wear resistance, percentage of expensive fractures in aggregates, compressive strength, modulus of elasticity (by correlation) and permeability are evaluated.

The results of the unit weight tests in the aggregates are also presented to determine the mixing ratios, and mechanical properties of the hardened state, as well as permeability tests. The results allow to conclude that the angularity of the aggregates provides greater resistance to the concrete and that it has a good permeability, besides that the aggregates of greater size 67 (3/4 " - N ° 4) granulometric spindle with 20% of voids and 10 % Sand, whose parameters correspond to M4C (Quaran Cabanillas) are the recommended proportion to elaborate a permeable concrete of good resistance to compression and optimum permeability. Mechanical properties that allow to be used in diverse applications.



## INDICE

<b>CAPITULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	17
1.1 Planteamiento del problema.....	17
1.2 Formulación del problema .....	18
1.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	19
1.3 Objetivos de la investigación .....	20
1.3.1 Objetivos generales .....	20
1.3.2 Objetivos específicos .....	20
1.4 Justificación del estudio .....	20
1.5 Limitaciones de la investigación.....	21
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	22
2.1 Antecedentes del estudio .....	22
2.2 Bases teóricas.....	23
2.2.1 Concreto Permeable .....	23
2.2.2 Características del Concreto Permeable.....	24
2.2.3 Componentes del Concreto Permeable.....	25
2.2.4 Aplicación de la Angularidad de los Agregados en las Propiedades del Concreto .....	28
2.2.5 Diseño de Mezcla del Concreto Permeable. ....	29
2.2.6 Parámetros de Dosificación .....	30
2.2.7 Comportamiento del Concreto Permeable.....	36
2.2.8 Aplicaciones .....	37
2.2.9 Estudio de Canteras .....	44
2.2.10 Normas Aplicables para el Concreto Permeable.....	45
2.2.11 Pruebas de Laboratorio.....	51
2.3 Definición de términos .....	73
2.4 Hipótesis .....	76
2.4.1 Hipótesis general .....	76
2.4.2 Hipótesis específica.....	76
2.5 Variables .....	77
2.5.1 Definición conceptual de la variable.....	77
2.5.2 Operacionalización de la variable .....	81
<b>CAPITULO III: METODOLOGÍA</b> .....	82
3.1 Tipo y nivel de investigación .....	82
3.2 Descripción del ámbito de la investigación.....	82
3.3 Población y muestra.....	82

3.4	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	83
3.4.1	Procedimientos Técnicos y Recolección de Datos.....	83
3.4.2	Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.....	83
3.4.3	Técnicas e Instrumentos de Laboratorio .....	83
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS.....</b>		<b>87</b>
4.1	<b>PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS .....</b>	<b>87</b>
4.1.1	Caracterización de los Agregados .....	87
4.1.1.1	<b>ESTRUCTURA GRANULOMÉTRICA.....</b>	<b>88</b>
4.1.1.2	<b>PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS .....</b>	<b>89</b>
4.1.1.3	<b>RESULTADO DE LOS ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS .....</b>	<b>91</b>
4.1.2	<b>DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO POROSO. ....</b>	<b>93</b>
4.1.2.1	<b>CONSIDERACIONES BÁSICAS .....</b>	<b>93</b>
4.1.2.2	<b>MÉTODO DE DOSIFICACIÓN .....</b>	<b>94</b>
4.1.2.3	<b>PROCEDIMIENTO DE DISEÑO .....</b>	<b>94</b>
4.1.2.4	<b>PROPORCIONES DE MEZCLA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>98</b>
4.2	<b>PROCESO DE PRUEBA DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>100</b>
4.2.1	Método de Fabricación de las Probetas de Ensayo .....	100
4.2.1.1	Proceso de preparación de los insumos del diseño de mezcla.....	100
4.2.1.2	Procedimiento de mezclado. ....	103
4.2.1.3	Moldeado de especímenes .....	103
4.2.2	<b>DESARROLLO DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO. ....</b>	<b>104</b>
4.2.2.1	Ensayos en estado fresco.....	106
4.2.2.2	Ensayos en estado Endurecido.....	107
<b>CAPITULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>		<b>116</b>
5.1	<b>PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>116</b>
5.1.1	Discusión de resultados de la investigación .....	116
5.1.1.1	Resistencia a compresión, $f'c$ .....	116
5.1.1.2	Permeabilidad .....	116
5.1.1.3	Modulo de elasticidad ( $E_c$ ) .....	117
5.1.2	Análisis de la Investigación .....	122
5.1.2.1	Resistencia a compresión, $f'c$ .....	122
5.1.2.2	Permeabilidad .....	130
5.1.2.3	Módulo de elasticidad ( $E_c$ ) .....	132
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>134</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>136</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>		<b>138</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 001: Clasificación de las formas de los agregados. ....	29
Figura 002: Concreto con muy poca agua. ....	33
Figura 003: Concreto con poco contenido de agua. ....	33
Figura 004: Concreto con mucho contenido de agua.....	34
Figura 005: Estructura de Pavimento Permeable.....	39
Figura 006: Sección Estructural. ....	41
Figura 007: Cantera Isla.....	44
Figura 008: Agregado de la Cantera Cabanillas.....	45
Figura 009: Equipos para el ensayo .....	48
Figura 010: Procedimiento para realizar el ensayo .....	48
Figura 011: Equipos para el ensayo .....	50
Figura 012: Procedimiento para realizar el ensayo .....	51
Figura 013: Equipo de Ensayo.....	53
Figura 014: Rotura de Probeta .....	53
Figura 015: Permeámetro de carga variable recomendado .....	53
Figura 016: Equipo de Ensayo.....	60
Figura 017: Juego de Tamices.....	61
Figura 018: Realización Ensayo.....	61
Figura 019: Agregado Redondeado Cantera “Isla”.....	87
Figura 020: Agregado Chancado Cantera Cabanillas” .....	88
Figura 021: Curva Granulométrico .....	89
Figura 022: Relación entre la filtración y Porcentaje de vacíos (Adaptado ACI 211.3R-02) .....	95
Figura 023: Relación entre el Porcentaje de vacíos y la resistencia a la compresión a los 28 días (Adaptado ACI 211.3R-02).....	96
Figura 024: Relación entre el Contenido de pasta y contenido de vacíos para agregados de 9.5mm (Adaptado ACI 211.3R-02).....	96
Figura 025: Agregado Isla N°8.....	101
Figura 026: Agregado Isla N°67.....	101
Figura 027: Agregado Cabanillas N°8.....	101
Figura 028: Agregado Cabanillas N°67.....	101
Figura 029: Pesaje Agregado Cabanillas .....	102
Figura 030: Pesaje Agregado Isla .....	102
Figura 031: Pesaje de Agregado fino.....	102
Figura 032: Pesaje de Cemento IP.....	102
Figura 033: Equipo empleado .....	103
Figura 034: Proceso de mezclado.....	103

<b>Figura 035: Moldeado de probetas para pruebas de permeabilidad. ....</b>	<b>104</b>
<b>Figura 036: Moldeado de probetas para pruebas de permeabilidad. ....</b>	<b>104</b>
<b>Figura 037: Equipo para la prueba .....</b>	<b>106</b>
<b>Figura 038: Llenado del cono de Abrams .....</b>	<b>106</b>
<b>Figura 039: Enrasado .....</b>	<b>107</b>
<b>Figura 040: Medición del asentamiento .....</b>	<b>107</b>
<b>Figura 041: Probetas de la mezcla M1 .....</b>	<b>108</b>
<b>Figura 042: Probetas de la mezcla M2 .....</b>	<b>108</b>
<b>Figura 043: Probetas de la mezcla M3 .....</b>	<b>108</b>
<b>Figura 044: Probetas de la mezcla M4 .....</b>	<b>108</b>
<b>Figura 045: Probetas de la mezcla M4C .....</b>	<b>109</b>
<b>Figura 046: Probetas de la mezcla M3C .....</b>	<b>109</b>
<b>Figura 047: Probetas de las mezclas Cabanillas.....</b>	<b>109</b>
<b>Figura 048: Probetas de las mezclas Isla.....</b>	<b>109</b>
<b>Figura 049: Rotura de Probetas M1 y M2, 28días .....</b>	<b>110</b>
<b>Figura 050: Probetas de las mezclas M3 y M4 .....</b>	<b>110</b>
<b>Figura 051: Falla de probeta M3 a los 28días.....</b>	<b>110</b>
<b>Figura 052: Probetas de mezclas M3C y M4C .....</b>	<b>111</b>
<b>Figura 053: Probetas de mezclas M1C y M2C .....</b>	<b>111</b>
<b>Figura 054: Falla Probetas de mezclas M3C .....</b>	<b>111</b>
<b>Figura 055: Fallas Probetas de mezclas M2C.....</b>	<b>111</b>
<b>Figura 056: Equipo recomendado por la ACI.....</b>	<b>113</b>
<b>Figura 057: Equipo Elaborado. ....</b>	<b>113</b>
<b>Figura 058: Saturado de probetas M1- M4 .....</b>	<b>113</b>
<b>Figura 059: Saturado de probetas M1C - M4C.....</b>	<b>113</b>
<b>Figura 060: Realización del ensayo .....</b>	<b>114</b>
<b>Figura 061: Realización del ensayo .....</b>	<b>114</b>
<b>Figura 062: Control de tiempo de ensayo .....</b>	<b>114</b>
<b>Figura 063: Control de tiempo de ensayo .....</b>	<b>114</b>
<b>Figura 064: Finalización del ensayo de permeabilidad.....</b>	<b>115</b>
<b>Figura 065: Resistencia a compresión a 7, 14 y 28 días de edad de las mezclas de cantera ISLA. ....</b>	<b>124</b>
<b>Figura 066: Resistencia a compresión a 7, 14 y 28 días de edad de las mezclas de cantera ISLA. ....</b>	<b>125</b>
<b>Figura 067: Resistencia a compresión a 7, 14 y 28 días de edad de las mezclas de cantera CABANILLAS. ....</b>	<b>126</b>
<b>Figura 068: Resistencia a compresión a 7, 14 y 28 días de edad de las mezclas de cantera CABANILLAS. ....</b>	<b>127</b>

<b>Figura 069: Cuadro Comparativo de Resistencia a la Compresión A 7, 14 y 28 Días de Edad de las Mezclas M1-M2 Vs M1c-M2c, Cantera Isla Vs Cantera Cabanillas.....</b>	<b>128</b>
<b>Figura 070: Cuadro Comparativo de Resistencia a la Compresión A 7, 14 y 28 Días de Edad de las Mezclas M3-M4 Vs M3c-M4c, Cantera Isla Vs Cantera Cabanillas.....</b>	<b>129</b>
<b>Figura 071: Cuadro Comparativo de Permeabilidades alcanzadas .....</b>	<b>132</b>
<b>Figura 072: Cuadro Comparativo del módulo de elasticidades alcanzadas .....</b>	<b>133</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 001: Mezclas de concreto permeable en los EUA. ....	34
Tabla 002: Diseño típico de concreto permeable en Bélgica. ....	35
Tabla 003: Diseño de concreto permeable en Alemania. ....	35
Tabla 004: Diseño típico de concreto permeable en Japón. ....	36
Tabla 005: Clasificación de Pavimentos Permeables .....	40
Tabla 006: Resumen del Análisis Granulométrico.....	89
Tabla 007: Cantera Isla (Hormigón) .....	91
Tabla 008: Cantera Cabanillas (Piedra Chancada) .....	91
Tabla 009: Resistencia al desgaste de los agregados .....	92
Tabla 010: Gravedad específica y absorción de los agregados cantera Isla (Hormigón) ...	92
Tabla 011: Gravedad específica y absorción de los agregados cantera Cabanillas (Piedra Chancada) .....	92
Tabla 012: Porcentaje de caras fracturadas en los agregados .....	93
Tabla 013: Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto .....	97
Tabla 014: Proporciones de mezcla (kg/m <sup>3</sup> ) - Agua/cemento = 0.35 .....	99
Tabla 015: Proporciones de mezcla (kg/pie <sup>3</sup> ) - Agua/cemento = 0.35-agregado/cemento = 4 – 4.25.....	99
Tabla 016: Resistencia a la Compresión del Concreto Permeable Cantera Isla (Hormigón) .....	118
Tabla 017: Resistencia a la Compresión del Concreto Permeable Cantera Cabanillas (Piedra chancada) .....	119
Tabla 018: Calculo de la Permeabilidad (K) Cantera Isla (Hormigón) .....	120
Tabla 019: Calculo de la Permeabilidad (K) Cantera Cabanillas (Piedra chancada) .....	121
Tabla 020: Modulo de Elasticidad del Concreto Permeable Cantera Isla (Hormigón)....	122
Tabla 021: Modulo de Elasticidad del Concreto Permeable Cantera Cabanillas (Piedra Chancada) .....	122
Tabla 022: Resumen de la Resistencia a la Compresión Cantera Isla .....	123
Tabla 023: Resumen de la Resistencia a la Compresión Cantera Cabanillas .....	123
Tabla 024: Resumen del Cálculo de Permeabilidad (K) Cantera Isla.....	130
Tabla 025: Resumen del Cálculo de Permeabilidad (K) Cantera Cabanillas.....	131

## INTRODUCCIÓN

El concreto permeable es un tipo especial de concreto, usado para aplicaciones en superficies de concreto que permita el paso a través del mismo de agua proveniente de precipitaciones u otras fuentes, Se define como un concreto con asentamiento cero y granulometría abierta compuesto por cemento Portland, agregado grueso, poco o nada de agregado fino y agua.

La principal característica del Concreto permeable es permitir la infiltración del agua a través de su superficie, para su posterior manejo o uso. Este tipo de concreto podría ser punto de análisis en la actualidad, por ser una alternativa viable tanto en lo técnico como lo económico dentro de los concretos convencionales logrando una configuración en su estructura que permite ciertas ventajas de funcionalidad como son la resistencia y permeabilidad del concreto.

El concreto permeable comenzó a usarse en los Estados de la Florida, Utah, y New México pero se ha extendido rápidamente a través de los Estados Unidos a Estados como California, Illinois, Oklahoma, y Wisconsin. Aunque tuvo principios modestos, el uso del concreto permeable como sustituto del concreto convencional ha crecido hasta volverse una herramienta de funcionamientos múltiples en la industria de la construcción.

Práctico para muchos usos, el concreto permeable en pavimentos es limitado por su baja durabilidad bajo tránsito pesado, esta carencia de la resistencia restringe el uso del concreto permeable a funciones específicas. El concreto permeable limita su uso en áreas sujetas al tráfico de bajos volúmenes y cargas. Se recomienda utilizarlo en estacionamientos, superficies peatonales y/o calles residenciales, vialidades de tránsito ligero, cunetas, acotamientos (bermas), banquetas (veredas), senderos (andadores), áreas de estacionamientos, parques, pendientes para lluvias, protección de pendientes y demás.

El concreto permeable está formado por cemento Portland Ordinario (IP), agregado grueso, poco agregado fino, y agua. La combinación de estos ingredientes produce un material endurecido con poros conectados, que van de 2 a 8 mm, que permiten que el agua percole fácilmente. El porcentaje de vacíos puede variar de 15% a 25%, con una resistencia a la compresión de 3.5 a 28 MPa (28 a 280 kg/cm<sup>2</sup>). La permeabilidad puede variar con el tamaño del agregado y la densidad de la mezcla, pero generalmente caen en el rango de 120 a 320 l/min/m<sup>2</sup> (ACI 522R-06).

En el presente proyecto de Tesis se busca ANALIZAR LA APLICACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA Y ANGULARIDAD DE LOS AGREGADOS EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL CONCRETO PERMEABLE, y recomendar una proporción para la elaboración de su mezcla, de modo que se obtenga un concreto permeable con buenas características resistentes y una óptima permeabilidad, cuyas Propiedades mecánicas, le permiten ser empleadas en sus diversas aplicaciones, concluyendo que la angularidad del agregado influye en la resistencia mecánica y permeabilidad del concreto endurecido. Por esta razón es tomada como un factor importante en la investigación realizada.

En esta investigación se utilizara una granulometría, optada según la angularidad del agregado como son: El Canto Rodado y La Piedra Chancada, tomando en consideración que la Cantera ISLA (ubicado en la provincia de San Román – distrito de Juliaca) según referencias técnicas, es considerada como una de las mejores canteras que contiene agregado de Canto Rodado de nuestra región. Respectivamente También analizaremos el agregado de la Cantera CABANILLAS (ubicado en la provincia de San Román-distrito de Cabanillas) quien también es considerada como una de las mejores canteras que cuenta con agregado de piedra chancada en nuestra región por mostrar una buena resistencia mecánica.

La primera cantera en mención cuenta con agregados de canto rodado y la cualidad que tiene este agregado (de forma redondeada) es que facilita el acomodo de las partículas y presenta mejor trabajabilidad en las mezclas de concreto. La segunda cantera mencionada “Cabanillas” cuenta con agregados de piedra chancada (de forma irregular y/o mayor angularidad) siendo esta quien presenta mayor superficie de contacto del agregado con la pasta de cemento y por lo tanto se consigue una mayor adherencia entre las partículas. Por lo tanto esta investigación se enfoca a conocer los efectos de la granulometría y la angularidad del agregado, produce en las propiedades Físico-Mecánicas del concreto permeable, empleando un mismo parámetro en las proporciones de mezcla.

Esta tesis plantea que los concreto permeables son una opción de aplicación en vialidades de transito ligero (zonas urbanas), superficies peatonales y/o calles residenciales, cunetas, acotamientos (bermas), banquetas (veredas), senderos (andadores), áreas de estacionamientos, parques, pendientes para lluvias, protección de pendientes y demás.



## **CAPITULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1 Planteamiento del problema**

La región de Puno por su ubicación geográfica, presenta condiciones climatológicas muy severas. Las precipitaciones fluviales se presentan intensamente desde septiembre hasta abril, estas condiciones climatológicas exigen nuevos diseños de concreto que respondan con eficiencia al drenaje de las aguas acumuladas por efectos de la lluvia.

El agua de lluvia sumada a la impermeabilización de superficies, provoca dos fenómenos asociados: un incremento del caudal de agua que debe evacuarse por el alcantarillado existente y una disminución importante del agua que alimenta la napa freática. Impedir que el agua se acumule en la superficie de la calzada es posible, facilitando la infiltración al suelo natural.

El concreto permeable es aquel que nos sirve como calzada en superficies peatonales y/o calles residenciales, vialidades de tránsito ligero, cunetas, acotamientos (bermas), banquetas (veredas), senderos (andadores), áreas de estacionamientos, parques, pendientes para lluvias, protección de pendientes y demás.

Como se ha podido apreciar el concreto permeable es práctico para muchos usos, así mismo nos sirve como superficie de rodadura en pavimentos permeables no obstante su uso ha sido limitado por su moderada durabilidad y bajo tránsito pesado, pero con esta investigación se puede demostrar que con la resistencia alcanzado se puede emplear este tipo de concreto de manera normal y óptima en zonas urbanas como la ciudad de Juliaca.

Otra de las cualidades que presenta este concreto es que remueven algunos contaminantes, mejorando la calidad del escurrimiento, Su instalación permite o bien infiltrar el agua directamente al suelo o almacenarla para su posterior uso o drenarla a otro lugar.

Se ha realizado un análisis completo de cómo influye la granulometría y angularidad de los agregados en las propiedades físico - mecánicas del concreto permeable como son: (resistencia a la compresión, permeabilidad, peso unitario, , módulo de elasticidad), para ser empleado en sus diversas aplicaciones como: calzada en superficies peatonales, Vialidades de tránsito ligero y/o calles residenciales, cunetas, bermas, banquetas, estacionamientos, invernaderos, andadores de piscinas, Pendiente para lluvias y

demás. Siendo la cantera isla (ubicado en la provincia de San Román) y la cantera Cabanillas (ubicado en la provincia de San Román-districto de Cabanillas) las canteras seleccionadas para la elaboración de esta investigación.

## **1.2 Formulación del problema**

### **a) Enunciado.**

Se pretende Analizar LA APLICACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA Y ANGULARIDAD DE LOS AGREGADOS EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL CONCRETO PERMEABLE como son: (resistencia a la compresión, permeabilidad, peso unitario, contenido de vacíos, módulo de elasticidad) a partir de modificaciones en el contenido de vacíos; según la angularidad (forma y textura) y granulometría de los agregados, conservando una misma relación agua/cemento y un curado típico del concreto para sus diversas aplicaciones. Siendo la cantera “Isla”, una cantera con agregados de canto rodado y la cualidad que tiene este agregado (de forma redondeada) es que facilita el acomodo de las partículas y presenta mejor trabajabilidad en las mezclas de concreto. La segunda cantera mencionada “Cabanillas” cuenta con agregados de piedra chancada (de forma irregular) siendo esta quien presenta mayor superficie de contacto del agregado con la pasta de cemento y por lo tanto se consigue una mayor adherencia entre las partículas mostrando una mayor resistencia mecánica.

### **b) Título.**

“APLICACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA Y ANGULARIDAD DE LOS AGREGADOS EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL CONCRETO PERMEABLE”.

### **c) Tipo.**

Tal como se enuncia en la formulación del problema, el presente trabajo está orientado a Analizar la aplicación de la granulometría y angularidad de los agregados en las propiedades físico-Mecánicas del concreto permeable de las cantera Isla y cantera Cabanillas, en las propiedades físico - mecánicas del concreto

permeable (resistencia a la compresión, permeabilidad, peso unitario, contenido de vacíos, módulo de elasticidad) a partir de modificaciones en el contenido de vacíos y haciendo uso de una granulometría de diversa textura y tamaños ya mencionadas y conservando una misma relación agua/cemento. Por lo tanto la presente investigación es de tipo experimental basada en la recolección de datos provenientes de laboratorio de suelos y realizando una comparación de los resultados obtenidos además de confrontar las características físicas y mecánicas propias del concreto permeable, estableciendo para estos grupos de control y experimental.

**d) Clase De Investigación.**

Por su finalidad: aplicada

Por el tiempo: seccional o sincrónica

Por el nivel de profundización: explicativa

Por la dimensión del objeto de estudio: micro investigación

Por la fuente de información: primaria

Por su carácter: cualitativo

Por el ámbito: de laboratorio

Por el enfoque: especializada

**1.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

**a) INTERROGANTE GENERAL**

¿Cuál es la aplicación de la granulometría y angularidad de los agregados en las propiedades físico-mecánicas del concreto permeable endurecido?

**b) INTERROGANTES ESPECÍFICAS**

¿Cuál es la aplicación de la angularidad de los agregados de canto rodado y piedra chancada en la resistencia mecánica del concreto permeable endurecido?

¿Cuál es el comportamiento del concreto permeable ante las propiedades físicas de permeabilidad según su contenido de vacíos?

¿Cuál es el comportamiento mecánico que tiene el concreto permeable ante la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad?

### **1.3 Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1 Objetivos generales**

Determinar la aplicación de la granulometría y angularidad de los agregados en las propiedades físico-mecánicas del concreto permeable endurecido.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

Analizar la aplicación de la granulometría en la permeabilidad y resistencia mecánica del concreto permeable.

Evaluar la aplicación de la angularidad de los agregados de canto rodado y piedra chancada en las propiedades mecánicas del concreto permeable endurecido.

Analizar las propiedades físicas de permeabilidad que presenta el concreto permeable según su contenido de vacíos.

Evaluar el comportamiento mecánico que tiene en concreto permeable ante la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad.

### **1.4 Justificación del estudio**

La temporada de lluvia trae consigo muchos problemas, entre ellos inundaciones, formación de charcos, mal funcionamiento del sistema de evacuación de aguas pluviales. Ocasionando efectos como el hidroplaneo en carreteras y en el concreto acelera su deterioro y funcionalidad. Por esto es necesario plantear nuevas tecnologías en la elaboración de concreto que ayuden solucionar en parte los problemas antes mencionados. Además el concreto permeable tiene una buena capacidad de infiltración. Esta capacidad es más que suficiente para absorber una gran parte de la lluvia que cae sobre él. Se pueden aplicar en cualquier tipo de suelo, incluso en aquellos con baja permeabilidad.

Por lo tanto este trabajo es importante porque se presenta como una alternativa viable tanto en lo técnico como en lo económico, dentro del uso del concreto convencional. Utilizando el concreto permeable en superficies peatonales y/o calles residenciales, vialidades de tránsito ligero, cunetas, acotamientos (bermas), banquetas (veredas),

senderos (andadores), áreas de estacionamientos, parques, pendientes para lluvias, protección de pendientes y demás.

### **1.5 Limitaciones de la investigación**

La investigación está enfocada a analizar la influencia de la granulometría y angularidad de los agregados de la cantera ISLA y CABANILLAS quienes presentan agregados de canto rodado y piedra chancada respectivamente, en las propiedades físico- Mecánicas del concreto permeable, para ello como parámetro principal de análisis la investigación se limita a utilizar solo agregados de la cantera ISLA (canto rodado)y agregados de la cantera Cabanillas(piedra chancada) seleccionadas según estudios, por la eficiencia y el buen desempeño mostrado consideradas por el tipo de textura ya mencionado, para así diseñar y fabricar un concreto permeable de buena resistencia y buena permeabilidad y ser utilizado en sus diversas aplicaciones. Una de limitaciones que se presentan en esta investigación es el factor económico. Y es debido a esto que solo hacemos uso de la cantera ISLA y CABANILLAS y no se emplearan aditivos. Esto en la medida que cualquier investigación sobre cualquier campo de ocupación de la ingeniería demanda de una inversión considerable.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes del estudio

La primera aplicación registrada de concretos porosos se hizo en el Reino Unido donde en 1852, se construyeron dos casas utilizando grava gruesa y cemento. A esto le siguió la construcción de más casas, en dicha región.

Esta información se estableció de acuerdo con el editorial de la publicación “Civil Engineer and Architect’s Journal” en su edición de 1852, en la cual se hace un recuento de la construcción de las dos casas en la isla de Wight.

(AGUADO DE CEA, 1988) Después de los desarrollos anteriores no se volvió a mencionar el concreto poroso durante 70 años. Se sostiene que fue introducido nuevamente en el Reino Unido en 1923, proveniente de Holanda, donde se construyeron 50 casas de dos pisos en Edimburgo, seguidas unos pocos años después por 800 o más en Liverpool, Manchester, Londres y Willesden. En todas se utilizaron agregados de Klinker. A finales de la década de 1930 la organización “Scottis Special Housing Association Limited”, establecida en 1937 para aliviar el desempleo en Lanarkshire construyendo viviendas con el máximo de mano de obra no calificada, adoptó el concreto poroso utilizando agregado de roca basáltica dura. Para 1942 se habían terminado 901 casa en Lanarkshire, Rosyth y Dunfermline. En las primeras etapas del desarrollo del concreto poroso, su aplicación se limitó a casas de dos pisos, pero en la década de los cincuenta se amplió a viviendas de cinco pisos.

El concreto permeable comenzó a usarse en los Estados de la Florida, Utah, y New México pero se ha extendido rápidamente a través de los Estados Unidos a Estados como California, Illinois, Oklahoma, y Wisconsin.

(GHAFOORI, 1995) Aunque tuvo principios modestos, el uso del concreto permeable como sustituto del concreto convencional ha crecido hasta volverse una herramienta de funcionamientos múltiples en la industria de la construcción.

(GHAFOORI, 1995) También hacia 1945/1950 comenzaron los primeros experimentos del concreto poroso como capa de rodadura en la construcción de vías, aunque el concepto de construir una capa de rodadura con material poroso contradice los principios de rigidez y homogeneidad que condiciona a los concretos convencionales. Sin embargo, en los años

setentas se reavivó el interés en este tipo de pavimentos, con el objetivo de brindar mayor seguridad al usuario y permitir una fluidez de tránsito en todas las condiciones meteorológicas. De esta misma época datan los antecedentes de uso como “reservorios de retención” de agua para solucionar los problemas inherentes al rápido crecimiento de las pavimentaciones suburbanas y la deficiencia del alcantarillado existente.

(GHAFOORI, 1995) Práctico para muchos usos, el concreto permeable en pavimentos es limitado por su baja durabilidad bajo tránsito pesado, esta carencia de la resistencia restringe el uso del concreto permeable a funciones específicas. El concreto permeable limita su uso en áreas sujetas al tráfico de bajos volúmenes y cargas. Se recomienda utilizarlo en estacionamientos, invernaderos, calzadas, banquetas, calles residenciales, canchas de tenis, andadores de piscinas, parques, demás.

En Sudamérica existen precedencias en México, donde se tienen diversos documentos e investigaciones sobre concretos permeables y ecológicos para aplicarlos en plazas, playas de estacionamientos, piscinas, áreas verdes, parques y entre otras obras de arte que requieran un drenaje rápido y reutilizar el agua. Como por ejemplo el hidrocreto, “Sistema para infiltrar o recuperar el agua pluvial por medio de pisos y pavimentos porosos.”

En el Perú el tema es relativamente nuevo y se realizaron las siguientes investigaciones:

(AZAÑEDO MEDINA, WISTON H, 2007) Universidad nacional de Cajamarca realizo “diseño de mezcla de concreto poroso con agregados de la cantera La victoria, cemento portland tipo I con adición de tiras de plástico, y su aplicación en pavimentos rígidos.

(CALDERON COLCA, YANETH VERONICA, 2011) La universidad nacional de san Agustín de Arequipa, Facultad de ingeniería civil realizaron una investigación de los pavimentos permeables de concreto poroso.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Concreto Permeable**

El concreto permeable es un tipo especial de concreto que se caracteriza principalmente por la carencia del contenido de agregado fino, logrando una configuración en su estructura que permite ciertas ventajas de funcionalidad. Dada esta característica hace que algunas de sus propiedades sean análogas a la de los

concretos sin finos, pero se distinguen de los mismos por su mayor resistencia a todas las sollicitaciones mecánicas. (Carlos Aire, Carlos Javier Mendoza y Daniel Pérez, 2012).

El concreto permeable está formado por cemento, agregado grueso, poco o nada de agregado fino y agua. La combinación de estos ingredientes produce un material endurecido con poros conectados, que van de 2 a 8 mm, que permiten que el agua percole fácilmente. El porcentaje de vacíos puede variar de 15% a 25%, con una resistencia a la compresión de 3.5 a 28 MPa. La permeabilidad puede variar con el tamaño del agregado y la densidad de la mezcla, pero generalmente caen en el rango de 120 a 320 l/min/m<sup>2</sup> (ACI522R-06).

La principal ventaja del concreto permeable es su porosidad y consecuente permeabilidad, además se contrae menos, tiene un peso específico más bajo, y sus valores como aislante térmico son superiores al del concreto convencional. (Carlos Aire, Carlos Javier Mendoza y Daniel Pérez, 2012).

Aunque el comportamiento físico y mecánico, es superior en muchos aspectos, el concreto permeable tiene limitaciones que deben ser consideradas al planear su uso, La resistencia de enlace entre sus partículas es más baja que en el concreto convencional y por lo tanto proporciona una resistencia a la compresión más baja.

### **2.2.2 Características del Concreto Permeable**

El concreto poroso debe tener una granulometría apropiada que permita obtener una dimensión importante de los poros, facilitando la buena circulación de agua dentro del material. Esta granulometría se debe formar con la dimensión de los agregados más gruesos del concreto y la ausencia parcial de agregados medianos y finos.

Una gran porosidad que permita el paso de agua dentro del material aproximadamente entre el 15% al 25% de porosidad, que se alcanza generalmente limitando el contenido de mortero (Cemento más arena) del 20 al 30% en peso. (Bronw, H J, 2008).



Se debe maximizar la compacidad, tanto en la dosificación, estudiando la granulometría de los agregados de forma que presente el mínimo de vacíos posible, como en la puesta en obra, donde el vibrado deberá ser enérgico para asegurar la máxima compacidad. Con ello se consigue mejor dotación de conglomerante, y se obtiene la máxima resistencia posible para esa dotación.

Las características mecánicas deben ser del orden de aquellas de las gravas tratadas con ligantes hidráulicos, que generalmente permite obtener resistencias a la compresión a los 28 días de 7MPa, con lo cual se resiste en desgaste por abrasión del tráfico. Debe tenerse una resistencia a los agentes agresivos contenidos en el agua; estos se obtienen asegurando la liga entre los agregados mediante un mortero compactado.

Las características funcionales no-estructurales del concreto permeable en los pavimentos de bajo volumen de tránsito son: mayor fricción, eliminación del hidropelaje, eliminación del brizado, mejoramiento del drenaje para conducir aguas pluviales, disminuye la resistencia a rodar contra los pavimentos flexibles, elimina la reflexión, y la permeabilidad es óptima, El concreto permeable también tiene potencial como estrategia urbana de la disminución del calor, recarga de mantos acuíferos y manejo de aguas pluviales. (Bronw, H J, 2008).

### **2.2.3 Componentes del Concreto Permeable**

#### **a) Agua:**

Así como el agua es esencial para la vida en este planeta, es un ingrediente esencial para el concreto. Sin agua o muy poca agua, todo lo que tendremos es un montón de rocas y polvo. El exceso afectará negativamente las propiedades del concreto.

El agua es imprescindible por dos razones. Una de ellas es para hidratar el cemento y la segunda es para crear una sustancia trabajable. La hidratación del cemento es necesaria para ligar con los agregados que a su vez dan al concreto su resistencia.

Por la presencia de espacios llenos de agua en el concreto se reduce su resistencia. Hay indicios de que la resistencia del concreto está directamente relacionada con la porosidad y la relación agua cemento (a/c). Esto lo demuestra el proceso de hidratación. Conforme avanza la hidratación del cemento, el volumen de sólidos se incrementa. Este volumen está en el espacio anteriormente ocupado por el cemento sin hidratar. El aumento de los sólidos en volumen indica una disminución de la porosidad. (Flores Prieto, Juan Roberto, 2010).

La porosidad afecta a la resistencia pero la resistencia, en sí es una consecuencia de la unión de los agregados y el cemento. El desarrollo de la liga en mezclas con alta relación a/c es difícil debido a la separación entre partículas. Una alta relación a/c, infiere una mezcla con una alta porosidad. Por lo tanto, una alta porosidad produce una liga débil que a su vez conduce a una reducción de la resistencia.

La cantidad de agua necesaria para una hidratación completa y conseguir la máxima resistencia ha sido durante mucho tiempo tema de debate desde 1890, con Duffus Abrams. La resistencia se desarrolla en el concreto a través de la liga o unión. Esta unión se desarrolla a través de una reacción química del cemento y el agua, Esta reacción produce hidrato de silicato de calcio, también llamado gel de tobermorita.

Parte del agua es necesaria para la trabajabilidad del concreto, Esta adición de agua es necesaria debido a la floculación que ocurre en las partículas de cemento. Este floculo disminuye la trabajabilidad e Impide la hidratación, Es posible Incluir aditivos para eliminar la floculación.

El agua y su aplicación en concretos permeables es extremadamente crítica, Dado que algunos finos son eliminados del concreto permeable, la resistencia se basa en el vínculo de la pasta de cemento y su interrelación con el agregado, Al igual que con concreto convencional, muy poca agua no dará buena liga y demasiada agua asentará la pasta en la base del pavimento y tapaná los poros. La cantidad correcta de agua maximizará la resistencia sin comprometer las

características de la permeabilidad del concreto permeable. (Flores Prieto, Juan Roberto, 2010).

**b) Cemento:**

En general, se utiliza cemento Pórtland normal, pero podrían emplearse cementos especiales si las condiciones de exposición de la estructura así lo indican. Un aspecto que puede tener influencia en la selección del tipo de cemento lo constituye el curado. Los concretos porosos muestran un secado rápido, dado que su estructura alveolar permite la circulación de aire. Es por esto que el curado se ve interrumpido en poco tiempo, a menos que se adopten medidas específicas, tales como el empleo de una capa de polietileno sobre la superficie del mismo. Los cementos con mejor evolución de resistencia a corta edad manifiestan mejor sensibilidad a los efectos de curado. (Flores Prieto, Juan Roberto, 2010).

**c) Agregados:**

En general, la resistencia de los agregados no se considera cuando se habla de la resistencia del concreto. La falla de las muestras del concreto de una prueba de flexión por lo general se produce entre el agregado y el cemento. Esto demuestra que la resistencia adhesiva es más débil que la resistencia del cemento y la resistencia del agregado. Todo indica que la resistencia del concreto está dictada por la resistencia de la unión y no de cada componente.

Sin embargo, en el concreto permeable la pasta de cemento es limitada y el agregado recibe de la superficie de contacto con ella para desarrollar la resistencia entre sí del concreto. Por lo tanto, el agregado debe ser más fuerte, por ejemplo, como el granito, andesita o cuarzo, daría mayor resistencia de compresión que un agregado suave como la piedra caliza. Normalmente los agregados dentro del rango de 3/8" y 3/4" se utilizan porque su tamaño arroja como resultado grandes espacios vacíos. (Flores Prieto, Juan Roberto, 2010).

#### **2.2.4 Aplicación de la Angularidad de los Agregados en las Propiedades del Concreto**

La angularidad (forma y textura) dependen de la naturaleza de la roca de origen, de su dureza, tamaño de los granos, porosidad, así como de las acciones a que hayan estado sometidos los agregados.

Si bien los agregados para hormigón de diferentes orígenes, pueden tener una composición granulométrica semejante, muchas veces se comportan de manera bastante diferente debido a la forma y textura de las partículas. (Fernández Canovas, M., 2005).

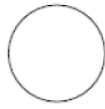
La angularidad de los agregados tiene una gran influencia en algunas propiedades del hormigón fresco y endurecido, como la trabajabilidad y las resistencias mecánicas. (Mehta, P.K. y Monteiro, 1994).

Sabemos que las partículas de los agregados son cuerpos de tres dimensiones y es difícil describir la forma de las mismas, aunque se las puede clasificar en redondeadas o cantos rodados, que son generalmente procedentes de ríos en las que por rozamiento se eliminan las partes salientes de las mismas; y las angulosas que son las que presentan ángulos, aristas vivas y superficies más o menos planas, procedentes generalmente de trituraciones; planas o laminares en las que predominan dos dimensiones sobre la tercera y aciculares que son las que predomina una dimensión sobre las otras dos dando lugar a agregados en forma de agujas. (Fernández Canovas, M., 2005).

La angularidad de los agregados triturados depende de la naturaleza de la roca de origen, del tipo de la trituradora, de su relación de reducción siendo estos factores preponderantes para obtener la forma final de los agregados. Con los cantos rodados se obtienen hormigones trabajables y su mejor forma es cuando se aproxime la forma de ellos a la esfera, con las trituradas se obtienen hormigones menos trabajables, lo que dificulta la compactación del hormigón y su efecto será tanto menor cuando más se aproximen a un cubo. Los agregados laminares y aciculares

producen hormigones de peor calidad donde esas formas repercuten negativamente en las resistencias y en la durabilidad. (Skalny, J. y Mindess, S, 1998).

Redondeada



Esférica



Irregular



Altamente  
irregular

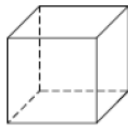


Plana ó  
Ovalada

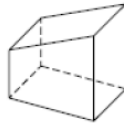


Alargada

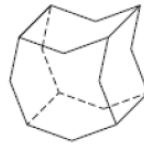
Angular



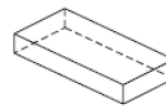
Cúbica



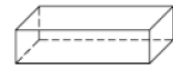
Irregular



Altamente  
irregular



Plana



Alargada ó  
prismática

Figura 001: Clasificación de las formas de los agregados.

Fuente: Fernández Canovas, M. (2005)

### 2.2.5 Diseño de Mezcla del Concreto Permeable.

#### a) Consideraciones básicas:

Diseñar una mezcla de concreto poroso, depende de las características hidráulicas y mecánicas que queramos que posea, las cuales están en función del uso del concreto poroso en obra. En la dosificación de las mezclas de concreto poroso, las variables que afectan el comportamiento del concreto poroso son: granulometría, cemento, relación agua – material cementante y contenido de vacíos. Una mayor dosis de cemento generará un concreto poroso más resistente, pero demasiado cemento disminuirá el porcentaje de vacíos interconectados en el concreto, perdiendo este su capacidad de infiltración. Una cantidad insuficiente de agua resultará una mezcla sin consistencia y con baja resistencia, una cantidad excesiva de agua, generará una pasta que sellará los vacíos de la mezcla y que además lavará el cemento de la superficie del agregado. Para que una mezcla sea considerada porosa,

debe tener como mínimo un 15% de vacíos y se recomienda además que este contenido no supere el 25% por la poca inestabilidad de la mezcla. Las mezclas de concreto poroso para obtener características especiales como un concreto convencional, se utiliza adiciones para mejorar sus propiedades en estado fresco (trabajabilidad) y endurecido (resistencia). (JOFRE IBAÑEZ, Carlos, 1993).

#### **b) Método de Dosificación.**

El concreto poroso utiliza los mismos materiales que un concreto convencional, con la ausencia parcial o total del agregado fino, y la distribución del tamaño del agregado grueso seleccionado, esto proporciona características endurecidas útiles, pero también da lugar a una mezcla que requiera diversas consideraciones en mezclarse, la colocación, la consolidación y el curado. Para nuestro estudio se tomó como base de procedimiento el Método del Comité 211 3R97 del ACI, recomendaciones del Comité 522, estudios realizados por: Pervious Pavement Organization, National Ready Mixed Concrete Association(NRMCA), Portland Cement Pervious Concrete Pavements; el sustento reside en que siguiendo estas recomendaciones y experiencias podemos obtener una estructura del concreto, con un contenido de vacíos importante a diferencia de un concreto convencional, por lo que la cantidad de mortero debe ser suficiente para recubrir todas las partículas de agregado y formar puentes de adherencia de forma tal de obtener una porosidad elevada, éstos macro poros interconectados serán los responsables de la elevadísima permeabilidad del concreto y resistencia. (JOFRE IBAÑEZ, Carlos, 1993).

### **2.2.6 Parámetros de Dosificación**

#### **a) Tamaño Máximo o Granulometría Del Agregados Grueso.**

La estructura interna de un concreto poroso puede describirse como un conjunto de partículas de agregado grueso, en contacto y unidas entre sí por puentes constituidos por el mortero que forma la arena y el conglomerante; estos puentes son los que

movilizan la resistencia del concreto. De hecho, la rotura de una probeta en la prensa, no es sino el resultado de la ruptura de los puentes aludidos. En contadísimas ocasiones se produce en la fractura del agregado grueso. (JOFRE IBAÑEZ, Carlos, 1993).

Como prácticamente existe contacto entre las partículas de agregado grueso, se concentran los esfuerzos mecánicos y es conveniente ser más restrictivo en lo que respecta al desgaste de los Ángeles. Como valor de referencia puede emplearse el adoptado por el instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja que indica utilizar agregados con un desgaste de Los Ángeles menor del 22%, absorción menor al 1% y un coeficiente de forma superior a 0.18. (REYES. Fredy., 2002).

**b) Agregado Fino.**

Para éste, las especificaciones españolas son algo más permisivas que con el agregado grueso, admitiendo una absorción hasta del 2% y un desgaste MicroDeval menor de 20. En lo que respecta al tamaño y granulometría están condicionados con otros factores, tales como, las características del agregado grueso y el tipo de cemento. Es común el empleo de fracción de 0-5 mm ó de 3-5 mm. (REYES. Fredy., 2002).

**c) Relación Ponderal Entre El Agregado Fino Y El Agregado Grueso (F/G).**

El parámetro F/G tiene gran influencia en el comportamiento del concreto poroso, está íntimamente relacionado con el tamaño máximo del agregado grueso, de manera que a mayor tamaño del agregado grueso, y más uniforme, la relación F/G debe ser menor. La experimentación llevada a cabo hasta el momento parece indicar que el valor de F/G debe oscilar entre 0.05 y 0.30. Una relación F/G inferior a 0.05 impide la formación de puentes suficientemente resistentes con dotaciones de cemento y por otro lado, “desampara” excesivamente el conglomerante frente a ataques químicos de sustancias transportadoras por el agua o del agua pura misma. Valores elevados de F/G producen efectos en función de la relación agua/cemento (a/c); en estado fresco, si se trabaja con valores altos de a/c y mayor fluidez del mortero, este escurre hacia las zonas inferiores del concreto, colmatando y

cementando la masa de dichas zonas, disminuyendo la permeabilidad del conjunto y reduciendo los puentes entre los agregados. (ROSELL, Jordi Joan., 1989).

**d) Relación Ponderal Entre el Agua y el Cemento (a/c).**

Así como en el concreto convencional la relación a/c 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. Se ha podido determinar, que las resistencias obtenidas al variar la relación a/c, en una dosificación, presentan un máximo entre los valores de 0.5 a 0.7 de a/c. por encima de estos valores se obtiene una lógica caída de la resistencia; por debajo, disminuye también, pero por falta de compacidad. La relación a/c óptima debe variar de forma moderada, con F/G y en el mismo sentido. Cuando la compactación se realiza por apisonado, las dotaciones de agua pueden disminuir hasta llegar a valores de la relación a/c del orden de 0.35 a 0.5. En este caso la relación a/c es prácticamente independiente de la relación F/G. La menor relación a/c para obtener una hidratación completa del cemento sin aditivos se considera igual a 0.30 (ROSELL, Jordi Joan., 1989).

Se obtuvo una relación a/c óptima por medio del método PCA, de la revista Concrete Technology Today, CT043, December 2004, Vo. 25, N° 03. Se tomaron y pesaron varias muestras agregándoles cantidad de agua, en peso, hasta llegar a aquella muestra que conservara la forma mostrada en la figura “2” y resulto con una relación a/c de 0.40.





Figura 002: Concreto con muy poca agua.

Fuente: Brown D. (2003)



Figura 003: Concreto con poco contenido de agua.

Fuente: Brown D. (2003)



Figura 004: Concreto con mucho contenido de agua.

Fuente: Brown D. (2003)

e) Mezclas de Concreto Permeable.

	Tennis et al 2004 (Kg/m <sup>3</sup> )	NRMCA 2004 (Kg/m <sup>3</sup> )	Schaefer et al. 2006 (Kg/m <sup>3</sup> )
Cemento	267 a 415	178 a 356	338 a 356
Agregado	1,187 a 1,483	1,424 a 1,602	1,602
Graduación	3/4" a # 4, 3/8" a # 16, ÓW 89		1/2" a # 4
Relación agua/cemento	0.27 a 0.34	0.27 a 0.43	0.27 a 0.35
Aditivos	Inclutor de aire	4% a 8% Inclutor de aire	10% látex, fibras
proporción de agregado	—	—	0.21

Tabla 001: Mezclas de concreto permeable en los EUA.

Fuente: Cackler et al (2006)

	Tipo / Tamaño	Composición (Kg/m3)	% del Volumen total
Cemento	CEMIII/A42.5LA	280	9.10%
Agregado grueso	1/4" a 7/16"	1,350	49%
Agregado fino	0 a 1/16"	89	3.30%
Agua	—	56	5.60%
Aditivos	Polímero emulsionado (50% sólidos)	56	5.40%

Tabla 002: Diseño típico de concreto permeable en Bélgica.

Fuente: Cackler et al (2006)

	Tipo/ tamaño	Composición
Cemento	CEM 1 32,5 R	400 Kg/m <sup>3</sup>
Agregados	5/16" a 3/8"	1,498 Kg/m <sup>3</sup>
Aditivos	Fibras	1.5% (en volumen)
Relación agua/cemento	0.24 a 0.30	

Tabla 003: Diseño de concreto permeable en Alemania.

Fuente: Cackler et al (2006)

Agregado, se usa un tamaño	Mortero/ agregado	Kg/m <sup>3</sup>					
		Agua	Cemento	a/c	Compactado	Arena fina	Grava de 5 a 13 mm y de 1.2 a 5 mm
5/16"	57%	92	315	0.29	105	209	1,424
V2"	50%	82	292	0.28	98	198	1,502

Tabla 004: Diseño típico de concreto permeable en Japón.

Fuente: Cackler et al (2006)

### 2.2.7 Comportamiento del Concreto Permeable

En las obras en que se ha empleado concreto permeable en superficies peatonales y/o calles residenciales, cunetas, bermas o capa de base, banquetas, estacionamientos, parques, donde han tenido en general un comportamiento satisfactorio. Lo mismo puede decirse de la capa de rodadura del concreto poroso, desde un punto de vista mecánico, sin que pueda observarse en los mismos agrietamientos o pérdidas de material importante. En algunas obras con capa de poco espesor se ha apreciado despejes del soporte. Este es, por otra parte la principal causa de defectos de las delgadas capas de refuerzo, construidas con concreto convencional; no obstante, hoy en día se conocen ya las técnicas para asegurar una correcta adherencia entre las capas, alguna de las cuales se han mencionado anteriormente, y son muy numerosas las obras en las que se ha empleado dicho tipo de capa de refuerzo.

El principal problema potencial de los concretos permeable, sobre todo en capa de rodadura, es su colmatación, al igual que ocurre con las mezclas bituminosas drenantes. También de forma similar a estas se han podido comprobar que en las zonas sometidas a tráfico circulando a elevada velocidad, los vehículos ejercen un efecto de succión de las partículas con lo que la colmatación es mucho más lenta que en vías urbanas. En los proyectos realizados en París se ha observado una colmatación importante ya que a los pocos meses de haber sido abierta al tráfico; sin embargo, los testigos extraídos han permitido apreciar que dicha colmatación se

limita a unos pocos milímetros en la parte superior, por lo que es susceptible de ser eliminada con facilidad por los equipos limpiadores existentes.

En lo que se refiere a las características drenantes, Es posible cambiar unas resistencias mecánicas altas con porosidades “in situ” del orden del 26% e incluso superiores, a su vez permiten obtener coeficiente de permeabilidad elevados y una apreciable reducción de los niveles sonoros del orden de 4-5 decibeles. (Cackler, E Tomas, 2006)

### **2.2.8 Aplicaciones**

Al aplicar estos tipos de concretos hay que añadirles los condicionantes de tipo económico que influyen en gran medida en la aplicación práctica de los mismos. Análogamente a la situación que se presenta con otros materiales es necesario encontrar un equilibrio entre los costos de la primera inversión y los de mantenimiento.

En esta línea cabe señalar que los concretos porosos resultan, en general, baratos en relación a los costos iniciales; ello es debido, por un lado, al bajo contenido de cemento e incluso a la sustitución parcial de este por cenizas, y por otro lado a que no precisa de equipos especiales de puesta en obra. (ROSELL, Jordi Joan., 1989).

La vida útil media de los elementos relacionados con estos concretos, es en condiciones normales, menor que la correspondiente a la de un concreto convencional; si bien la comparación no es inmediata dado que cubre campos de aplicaciones diferentes. Esta menor vida útil viene determinada por una menor capacidad, una granulometría más abierta y un menor contenido de cemento. No obstante la experiencia con concreto poroso es aun escasa para fijar con gran precisión la citada vida útil, la cual, como es lógico, varía en función del tipo de aplicación. A continuación se presentan diversas aplicaciones con estos concretos: (ROSELL, Jordi Joan., 1989).

**a) Pavimento de Concreto Permeable.**

El concreto poroso u hormigón permeable es una mezcla de agregado grueso, cemento, agua, y poco a ninguna arena. También conocido como el hormigón "sin finos" o poroso, esta mezcla crea una estructura de célula abierta, permitiendo al agua de lluvia filtrar al suelo subyacente. Simulando la superficie de tierra natural, el hormigón permeable es excelente para la evacuación de agua de lluvia. (AGUADO DE CEA, Antonio., 1994).

La alta porosidad se obtiene mediante un alto contenido de vacíos interconectados. Normalmente el concreto permeable tiene pocos o no tiene agregados finos y tiene la suficiente cantidad de pasta de cemento para cubrir las partículas de agregados gruesos preservando la interconectividad de los vacíos. El concreto permeable es usado tradicionalmente en áreas de estacionamiento, áreas de poco tráfico, pasos peatonales e invernaderos. Es una importante aplicación para la construcción sostenible. (AGUADO DE CEA, Antonio., 1994).

La principal virtud del concreto permeable es el adecuado manejo del agua de lluvia, cualidad reconocida positivamente por organismos internacionales como la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés). El concreto permeable no tiene finos o posee pocos finos. Este concreto se usa principalmente como pavimento en aplicaciones de vialidades de bajo tráfico, áreas de estacionamientos, senderos y caminos para peatones o ciclistas. Es un concreto especial, resultado de la combinación de agregado grueso, cemento y agua que favorece la creación de una estructura de tipo porosa que permite el paso de agua a través de él. Es de baja resistencia; con revenimiento cero; es seco y poroso y puede usarse como pavimento de aceptable calidad estructural, que permita filtrar el agua de lluvia, y evitar el escurrimiento superficial.

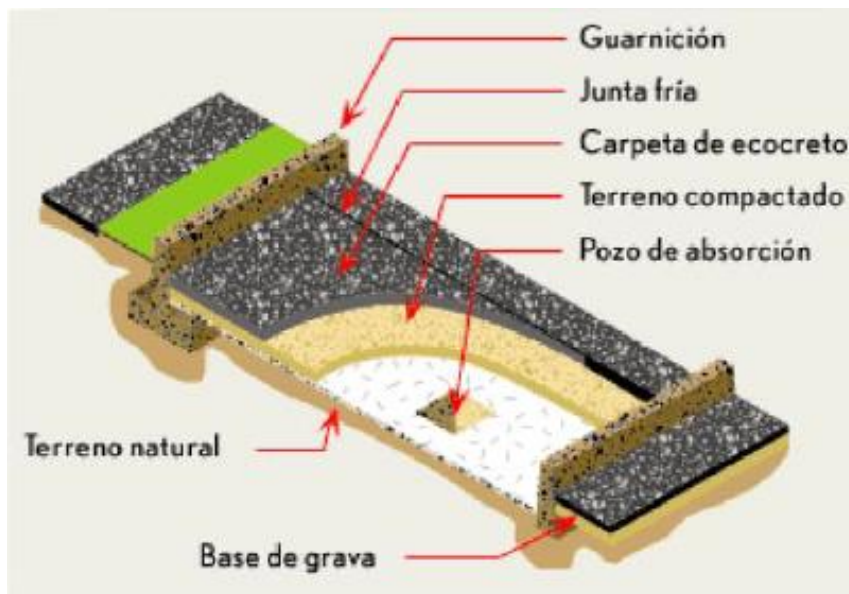


Figura 005: Estructura de Pavimento Permeable.

Fuente: Aguado de Cea, Antonio (1994)

### **Superficies permeables:**

Una superficie permeable permite la infiltración del agua y puede ser resistente al tráfico, en cuyo caso se denomina pavimento permeable, cuando todas las capas de la sección resistente permiten el paso del agua. Por su parte, las superficies permeables que no tienen misión resistente forman parte de paseos, parques, jardines, alcorques, glorietas, cubiertas verdes, etc.

### **Tipos de Pavimentos Rígidos Permeables:**

El doctor Jorge Rodríguez (2008) propone una clasificación que divide a los pavimentos permeables en dos grupos:



Según el pavimento		Según el destino final del agua
permeable	Césped o grava con refuerzos	Infiltración
	Adoquines con ranuras	
Pavimentos permeables discontinuos	Mezcla bituminosa	Almacenamiento
	Hormigón poroso	Drenaje diferido

Tabla 005: Clasificación de Pavimentos Permeables

Fuente: Jorge Rodríguez (2008)

**b) Bermas de Pavimento Rígido con Tráfico Muy Pesado.**

Esta técnica muy experimentada en Francia, en la que existen incluso normativas de la administración sobre el tema por el Ministerio de Transporte Francés, aprovecha las propiedades que presenta el concreto poroso para evacuar con rapidez el agua que puede acumularse en la zona situada entre el pavimento de concreto, la subbase de grava cemento y la berma. Como es sabido, el agua en dichas zonas tiene una gran influencia en el deterioro de las losas (efecto “Pumping” y de descalce de las losas), sobre todo cuando estas se disponen sin pasadores. (AGUADO DE CEA, Antonio., 1994).

En España esta solución ha sido utilizada en la variante de Despeñaperros (1984) donde se obtuvieron resistencias a la compresión a los 28 días, del orden de 140 Kg./cm<sup>2</sup> y en el tramo de la Autopista del Mediterráneo entre Jeresa y Ondara (1985) donde se obtuvo densidades entre 1.95 y 2.04 t/m<sup>3</sup> y permeabilidades de 1.24cm./seg. Además se alcanzaron resistencias a la compresión a los 56 días del orden de 53 Kg./cm<sup>2</sup>. Los ensayos previos de las aplicaciones citadas fueron llevados a cabo en el Instituto Eduardo Torroja. (AGUADO DE CEA, Antonio., 1994).



### c) Bases de Pavimentos Totalmente Permeables

Estos pavimentos están constituidos por una base de concreto poroso y una capa de rodadura de mezcla bituminosa porosa. Con ello se dota el pavimento de cierta capacidad de almacenamiento de agua, principalmente fluvial con lo que se laminan los caudales punta que se presentan en las secciones de desagüe. Por tal razón, son de gran interés y tienen una aplicación importante en pavimentos urbanos con coeficientes de escurrimiento elevados.

En la práctica normalmente se suele impermeabilizar la cara inferior de la base de concreto poroso, si bien en algunas ocasiones se ha utilizado sin impermeabilizar, permitiéndole infiltración al terreno, obteniendo buenos resultados. Un ejemplo del primer tipo es un tramo experimental realizado en el Chemin Departamental 44 cerca de la ciudad de Marsella en 1983, dicho tramo, de 120m de longitud y 7m de ancho, tiene una pendiente de 3.5%. En el mismo se dispuso una sección estructural que se presenta a continuación: (AGUADO DE CEA, Antonio., 1994).

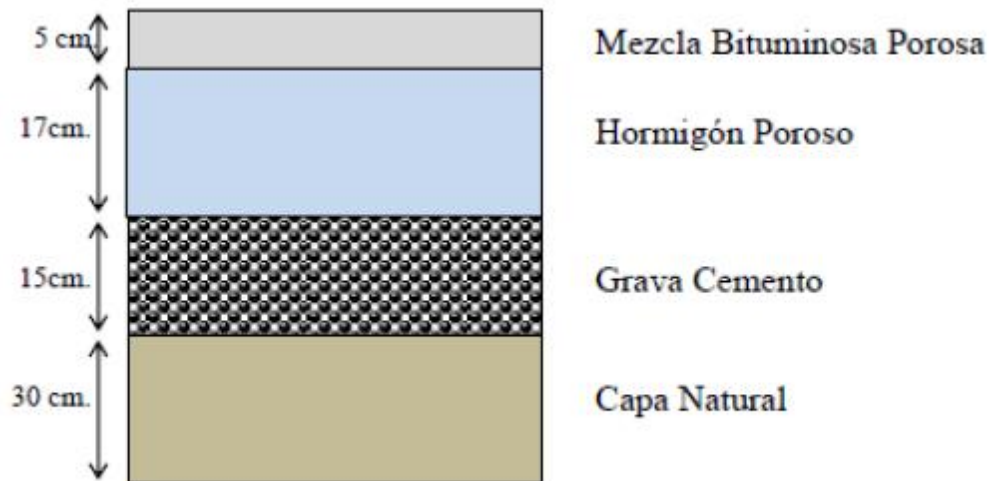


Figura 006: Sección Estructural.

Fuente: Aguado de Cea, Antonio (1994)

Con estas condiciones las resistencias a compresión y tracción indirecta que se obtuvieron a los 28 días fueron de 22.5 Kg./cm<sup>2</sup> y 27 Kg./cm<sup>2</sup>

respectivamente alcanzando la porosidad de la mezcla el valor de 17%. Cabe señalar que este tipo de pavimentos incluso sin capa de rodadura bituminosa, se ha utilizado en grandes zonas de parqueaderos. Un ejemplo lo constituye el conjunto de losas de concreto poroso del parqueadero del laboratorio regional de carreteras de Burdeos.

Esta solución tiene la ventaja de que resuelve la problemática de las pendientes de drenaje en profundidad, manteniendo una superficie casi horizontal. Sin embargo, presenta el inconveniente de la posible disgregación superficial del agregado por efectos mecánicos. Para mitigar este problema se han adoptado diversas soluciones.

Una primera, para tráfico pequeño, es hacer un acabado superficial más rico en cemento, espolvoreando con el mismo el concreto fresco de la superficie. Para tráfico relativamente intenso, o bien en condiciones climáticas severas se puede hacer una capa final de rodadura de concreto permeable con resina.

#### **d) Superficie de Rodadura de Concreto Permeable.**

Las exigencias que se le imponen a los concretos porosos utilizados en capa de rodadura son superiores a las requeridas cuando se utilizan en bases o bermas. El material no sólo debe garantizar unas características drenantes y de resistencia mecánica, sino también debe satisfacer algunas otras condiciones, como son una estabilidad suficiente frente los esfuerzos horizontales generados por los vehículos, y en algunos casos, frente a las solicitaciones del tipo climático. Por otra parte, el material debe posibilitar la obtención de una regularidad superficial y unas características antideslizantes correctas. En ocasiones, puede imponérsele una reducción de los niveles sonoros del tráfico frente a los generados con otras alternativas. En el cumplimiento de alguno de estos requisitos intervienen de forma preponderante las características del material en sí, influidas a su vez no solo por su composición, sino también, en general, por la puesta en obra, y especialmente por la compactación alcanzada. Para otros parámetros, como

la absorción acústica, factores como el espesor de la capa construida pueden tener también una importancia similar o incluso superior.

Las condiciones mencionadas dependen así mismo del tipo de carretera en la que vaya a colocarse la capa de rodadura de concreto poroso, por lo tanto es evidente que no son las mismas características de resistencia mecánica, regularidad superficial las que se les exige a una autopista o a una zona peatonal. Las exigencias en cuanto a absorción del ruido son también diferentes en una calle urbana que en una carretera a campo abierto atravesando una zona sin edificar. Por todo ello, en los concretos porosos empleados como capa de rodadura pueden destacarse algunas diferencias fundamentales en cuanto a la composición, con respecto a los utilizados en bases y bermas, dentro de las cuales se encuentran las siguientes:

- El empleo de mayores contenidos de cemento, (oscilando entre 200 - 300 Kg/m<sup>3</sup>).
- La utilización de tamaños máximos de agregados triturados, no superan los 12 mm.

**e) Otras Aplicaciones.**

Otra posibilidad de aplicación del concreto permeable en superficies peatonales y/o calles residenciales, vialidades de tránsito ligero, cunetas, acotamientos (bermas), banquetas (veredas), senderos (andadores), áreas de estacionamientos, parques, pendientes para lluvias, protección de pendientes, donde han tenido en general un comportamiento satisfactorio.

Otra aplicación, aun no muy experimentada pero adecuada para zonas singulares, es el empleo de muros de concreto poroso embebidos en taludes, con misión drenante. En la aplicación a carreteras, estos muros se sitúan en dirección perpendicular al eje de la calzada, disponiéndolos cada cierta distancia y conectándolos por el pie, consiguiéndose así un excelente drenaje del talud. (ROSELL, Jordi Joan., 1989).

## 2.2.9 Estudio de Canteras

### a) **Cantera Isla: JULIACA – SAN ROMÁN**

Se ubica a las afueras de la ciudad de Juliaca, La cantera se encuentra a la altura del Km 08 de la carretera Juliaca – Arequipa (carretera interoceánica), y aproximadamente a 20 minutos del distrito de Juliaca, provincia de San Román, Departamento de Puno.



Figura 007: Cantera Isla

Fuente: Elaboración Propia

### b) **Cantera Cabanillas: Planta Chancadora “CABANILLAS”**

La cantera y planta se encuentra ubicada a la altura del Km 32 de la carretera Juliaca – Arequipa (carretera interoceánica), y aproximadamente a 1.5 Km del distrito de Cabanillas, provincia de Lampa, Departamento de Puno.

Este agregado es suministrado por la Planta Chancadora “CABANILLAS”. Ubicada a 1.5 Km del distrito de Cabanillas y el uso predominante de la cantera es para mezcla asfáltica agregado para concretos y bases granulares. Al agregado extraído se le practica un proceso de trituración completo que comprende desde la primaria hasta la terciaria.

## **El complejo de triturado del material**

Al agregado extraído se le practica un proceso de trituración completo que comprende desde la primaria hasta la terciaria.

**Trituración primaria:** Es el primer proceso que tiene el material donde se trituran los materiales más grandes con un sistema de mandíbula.

**Trituración secundaria:** El material llega de la primaria con un tamaño de 3" y sale a la terciaria con un tamaño de 3/4" esto se hace mediante un proceso de cono que gira sobre un manto fino secando los tramos que uno requiera.

**Trituración terciaria:** Es la última entrega del material el cual sale con el tamaño representativo de las arenas, el cual pasa por la malla # 4.



Figura 008: Agregado de la Cantera Cabanillas

Fuente: Elaboración Propia

### **2.2.10 Normas Aplicables para el Concreto Permeable**

El concreto permeable tiene sus propios procedimientos de diseño de mezclas, fabricación, colocación, curado, control de calidad y métodos de prueba, que son distintos a los aplicables al concreto convencional. Recientemente, el Instituto Americano del concreto (ACI, por sus siglas en ingles de American Concrete

Institute), publico las recomendaciones para el diseño de mezclas de concreto permeable, las cuales se incluyen en Reporte ACI211.3R [1]. Del mismo modo, debido a su naturaleza porosa, el concreto poroso no puede ser ensayado usando las normas ni los métodos de prueba desarrollados para concreto convencional. Para satisfacer esta necesidad el Comité C09 de la Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales (ASTM; American Society for Testing and Materials) está desarrollando una serie de métodos de prueba propuestos específicamente para el concreto permeable. Las dos primeras de esta serie de normas, la ASTM C1688 [2], Método de prueba para evaluar el peso unitario y contenido de vacíos del hormigón permeable; y la ASTM C1701 [3], Método de prueba para determinar la velocidad de infiltración del hormigón permeable, ya han sido aprobadas y publicadas, y se vienen empleando en laboratorio y obra. En el caso de las pruebas de resistencia a compresión, a flexión, módulo de elasticidad, y compresión diametral aún están en desarrollo.

#### ASTM C1688 / C1688M - 13 MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA DENSIDAD Y EL CONTENIDO DE HUECOS DE CONCRETO PERMEABLE RECIÉN MEZCLADO

##### a) **Importancia y Uso**

Este método de ensayo proporciona un procedimiento para determinar la densidad y el contenido vacío de concreto permeable recién mezclado.

Este método de ensayo es aplicable a las mezclas de concreto permeable que contienen agregado grueso con un tamaño máximo nominal de 25 mm [1 pulgada] o inferior. La densidad fresco medido puede ser utilizado como la verificación de las proporciones de mezcla.

Este método utiliza un procedimiento de consolidación estándar para medir la densidad y el contenido fresco vacío de una mezcla de concreto permeable tal como se entrega. Los resultados obtenidos no tienen el propósito de representar la densidad y contenido de vacíos del concreto en la estructura

permeable. Este método no se utilizará para determinar el contenido en lugar de nulo o rendimiento del concreto permeable.

#### **b) Alcance**

Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad del concreto permeable recién mezclado bajo condiciones estandarizadas y da fórmulas para el cálculo del índice de huecos de concreto permeable. Los resultados obtenidos no tienen el propósito de representar la densidad en el sitio y el contenido vacío.

Los valores indicados en unidades SI o en unidades pulgada-libra deben ser considerados como los estándares. Los valores indicados en cada sistema pueden no ser exactamente equivalentes, por lo tanto, cada sistema debe ser utilizado independientemente del otro. La combinación de valores de los dos sistemas puede resultar en una no conformidad con la norma.

Esta norma no pretende dirigir todas las inquietudes sobre seguridad, si las hay, asociadas con su uso. Es la responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso. (Mezclas cementicias hidráulicas frescas son Advertencia-cáusticas y pueden causar quemaduras químicas en la piel y el tejido con la exposición prolongada.).

El texto de este método de ensayo hace referencia a notas y notas al pie que proporcionan información explicativa. Estas notas y notas al pie de página (excluyendo aquellas en tablas) no deben ser consideradas como requisitos de este método de ensayo.

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso Concreto}}{\text{Volumen Recipiente}}$$

$$\text{Contenido de vacios (\%)} = \frac{\text{Densidad teorica} - \text{Densidad} \times 100}{\text{Densidad teorica}}$$

**c) Equipo**

- Recipiente de 7 lt (ASTM C231)
- Placa metálica, 6 mme y  $L > 50 \text{ mm } \Phi$  recipiente
- Martillo de Compactación (2.5 kg) del Proctor Standard (ASTM D698)



Figura 009: Equipos para el ensayo

Fuente: Elaboración Propia

**d) Procedimiento**

- Llenado en dos capas
- Compactar con 20 golpes (30 cm de altura)



Figura 010: Procedimiento para realizar el ensayo

Fuente: Elaboración Propia



## ASTM C1701 / C1701M - 09 MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA TASA DE INFILTRACIÓN EN EL LUGAR CONCRETO PERMEABLE

### a) **Importancia y Uso**

Las pruebas realizadas en la misma ubicación a través de un lapso de años pueden ser utilizados para detectar una reducción de la tasa de infiltración del hormigón permeable, identificando de este modo la necesidad de remediación.

La tasa de infiltración obtenida por este método sólo es válida para el área localizada de la acera, donde se lleva a cabo la prueba. Para determinar la tasa de infiltración de los pavimentos permeables enteras múltiples lugares debe ser probado y los resultados promedio. La tasa de infiltración campo se establece normalmente por el ingeniero de diseño de registro y es una función del evento de precipitación diseño.

Este método de ensayo no mide la influencia sobre en lugar de la tasa de infiltración debido al sellado de huecos cerca de la parte inferior de la losa de hormigón permeable. La inspección visual de los núcleos de hormigón es el mejor método para la determinación de sellado de huecos cerca de la parte inferior de la losa de concreto permeable.

### b) **Alcance**

Este método de ensayo cubre la determinación de la tasa de infiltración del agua en el campo de en el lugar concreto permeable. Los valores indicados en unidades SI o en unidades pulgada-libra deben ser considerados como los estándares. Los valores indicados en cada sistema pueden no ser exactamente equivalentes, por lo tanto, cada sistema debe ser utilizado independientemente del otro. La combinación de valores de los dos sistemas puede resultar en una no conformidad con la norma. Esta norma no pretende dirigir todas las inquietudes sobre seguridad, si las hay, asociadas con su uso. Es la responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas

apropiadas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso. El texto de esta norma cita notas que proporcionan material explicativo. Estas notas no deben ser consideradas como requisitos de la norma. La fórmula empleada es:

$$I = \frac{K \times W}{D^2 \times t}$$

- I: Velocidad de infiltración, (mm/h)
- K: 4 583 666 000 (SI, unidades)
- W: Peso del agua, (kg)
- D: Diámetro interior del anillo, (mm)
- T: Tiempo, (s)

**c) Equipo**

Anillo cilíndrico (300 mm  $\phi$ , 50 mm H)



Figura 011: Equipos para el ensayo

Fuente: Elaboración Propia

**d) Procedimiento**

- Humedecer

- Colocar el anillo
- Verter volumen conocido de agua
- Medir tiempo
- Velocidad de infiltración



Figura 012: Procedimiento para realizar el ensayo

Fuente: Elaboración Propia

### 2.2.11 Pruebas de Laboratorio

La resistencia a la compresión, permeabilidad, Peso unitario y módulo de elasticidad del concreto permeable son, los parámetros principales para determinar la calidad del mismo.

Nuestro objetivo es hacer las pruebas mencionadas a las mezclas de concreto permeables conforme al planteamiento de esta Tesis.

#### a) Prueba de Compresión Simple. ASTM C-39

##### DESCRIPCIÓN

La prueba de compresión simple es la más usada en los laboratorios de Control de calidad para los trabajos de rutina. Esta prueba tiene la ventaja de ser de fácil realización y de exigir equipo relativamente sencillo, Norma ASTM C-39.

## OBJETIVO

Objetivo de prueba de compresión: determinar las características de capacidad de carga de las mezclas A-5 (Fig. 3.4) a 14 y 28 días al aplicar una carga axial. Dado que no es el objetivo principal de este trabajo la compresión simple sólo se hizo en estas dos probetas para la conocer el comportamiento en las mezclas con más cemento, teniendo como antecedentes pruebas realizadas a otras probetas y con diferentes cantidades de cemento, y tipos de aditivos, se consideró que éstas serían las representativas.

## PROCEDIMIENTO

Procedimiento de la prueba de compresión simple:

1. Se deben elaborar cilindros de aproximadamente 10.40 cm de diámetro y 20.00 cm de altura, u otras dimensiones de tal manera que la relación de esbeltez sea de aproximadamente 2.0, es decir la relación diámetro entre altura será de 1:2.
2. Se miden el diámetro de la muestra, así como la altura y peso.
3. Se coloca sobre la plataforma de la prensa el cilindro o espécimen, colocándole los aditamentos necesarios para que el espécimen quede bien cabeceado.
4. Se centra bien el espécimen cuidando que la placa o balín trasmisor de carga resulte perfectamente axial.
5. Se hace funcionar el mecanismo de aplicación de la carga.
6. Se anotan las cargas últimas o de falla.



Figura 013: Equipo de Ensayo  
Fuente: Elaboración Propia



Figura 014: Rotura de Probeta  
Fuente: Elaboración Propia

## b) Prueba de Permeabilidad ACI 522R-10

### DESCRIPCIÓN

Una de las características más importantes del concreto permeable es su capacidad para filtrar el agua a través de su estructura. La velocidad de filtración del concreto permeable está relacionada directamente con la porosidad y tamaño de los poros.

La permeabilidad del concreto permeable se puede medir con un aparato como el que se muestra en la Figura siguiente. Este consiste de un tubo vertical transparente, que incluye una regla graduada. El tubo está unido a un tubo horizontal que tiene una válvula para controlar el paso de agua. Finalmente, el tubo horizontal está unido a un tubo vertical de drenaje.

### MÉTODO DE ENSAYO

La prueba consiste en colocar el espécimen de concreto permeable en una membrana de látex para evitar la salida de agua por los costados. Previo al inicio de la prueba y para minimizar la presencia de vacíos se procede a saturar el espécimen. Teniendo listo todo el sistema, se añade agua al tubo vertical, se abre la válvula y se mide el tiempo que tarda en pasar entre dos alturas predefinidas. La permeabilidad se calcula con la siguiente expresión:

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

Donde:

k: Coeficiente de permeabilidad.

L: Longitud de la muestra.

A: Área de la muestra.

a: Área de la tubería de carga.

t: Tiempo en demora en pasar (h1-h2)

- h1: Altura de agua media del nivel de referencia (parte superior de la muestra)
- h2: Altura de tubería de salida del agua con respecto al nivel de referencia (1cm)

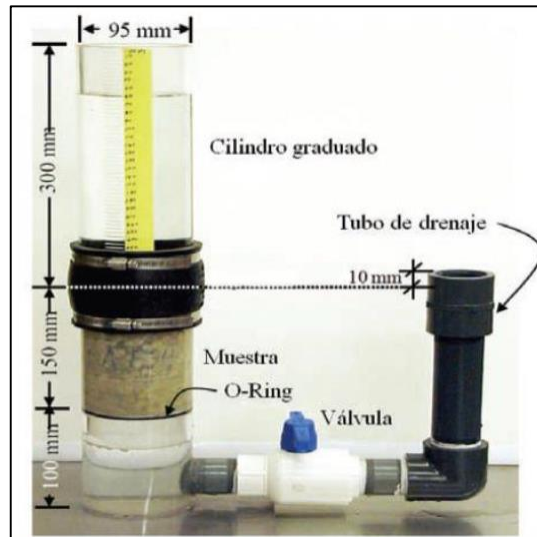


Figura 015: Permeámetro de carga variable recomendado

Fuente: ACI

**c) Método de Ensayo: Módulo de Elasticidad Estático y Relación de Poisson del Concreto en Compresión. ASTM C 469 – 02**

**ALCANCE:**

Este método de ensayo cubre la determinación del (1) el módulo de elasticidad secante (de Young) y (2) la relación de Poisson en cilindros de concreto moldeados y núcleos de concreto taladrados cuando son sometidos a esfuerzos de compresión longitudinal. Las definiciones de módulo de elasticidad secante y módulo de Young se encuentran en Terminología E 6.

Los valores establecidos en unidades libras-pulgadas son considerados como los estándar.

Esta norma no pretende dar todas las direcciones de seguridad, si alguna, asociada con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma, establecer la seguridad apropiada y prácticas de salud así como determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras antes de su uso.

## **SIGNIFICADO Y USO**

Este método de ensayo proporciona un valor de la relación esfuerzo a deformación y una relación de deformación lateral a longitudinal para el concreto endurecido a cualquier edad y condiciones de curado que pueden ser establecidas.

Los valores del módulo de elasticidad y relación de Poisson, aplicables dentro del rango de esfuerzos de trabajo (0 a 40% de la resistencia última del concreto), puede ser usada en el dimensionamiento de miembros estructurales reforzados y no reforzados para establecer la cantidad del refuerzo y calcular los esfuerzos para las deformaciones observadas.

Los valores del módulo de elasticidad obtenido serán usualmente menores que el módulo derivado de aplicación de carga rápida (por ejemplo, ratas dinámicas o sísmicas), y usualmente serán mayores que los valores obtenidos bajo aplicación de carga lenta o extendiendo la duración de la carga, manteniendo las otras condiciones de ensayo.

## **EQUIPOS Y MATERIALES**

- 1) Máquina de Compresión. Utilizada para realizar el ensayo de resistencia a la compresión.
- 2) Compresómetro. Utilizado para medir el Módulo de Elasticidad, consta de dos especies de anillos, uno de los cuales está rígidamente sujeto al espécimen (B) y otro sujeto por dos puntos diametralmente opuestos, libre de rotación (C) En la circunferencia del anillo de rotación, en la mitad entre los dos puntos de soporte, hay una varilla pivote (A), que



será usada para mantener la distancia constante entre los dos anillos. La deformación es medida por un dispositivo usado directamente.

- 3) Especímenes de Ensayo. Deben ser adecuadamente. Deberán estar sujetos a las condiciones de curado especificadas y ensayados a la edad para la cual la información de elasticidad es deseada. Los especímenes deberán ser ensayados dentro de 1 hora después que se retiran de los tanques de curado.

### **EJECUCIÓN DEL MÉTODO.**

- 1) Medición: Medir dos diámetros perpendiculares entre sí en la zona central de la probeta con una aproximación de 0.25 mm. Calcular el diámetro de la probeta promediando los dos diámetros medidos. Medir la longitud del espécimen moldeado incluyendo capas de refrenado con una aproximación de 2.5 mm.
- 2) Mantenga constante, como sea posible, la temperatura y humedad durante la prueba, registre las fluctuaciones inusuales.
- 3) Use un espécimen hermano para determinar su resistencia a la compresión, previamente al ensayo del módulo de elasticidad, con lo cual se registrará su carga última a compresión.
- 4) Coloque el espécimen con el equipo medidor de deformación ajustado, sobre el bloque inferior de la máquina de ensayo y cuidadosamente alinear los ejes del espécimen con el centro del bloque superior. Antes de aplicar alguna carga, retire las barras sujetadoras de los yugos. Anote las lecturas de los indicadores de deformación.
- 5) Cargar el espécimen por lo menos 2 veces. No registrar ningún dato durante la primera carga. Durante la primera carga que es principalmente para la fijación de los calibradores, observar el

desempeño de los calibradores y corregir algún comportamiento irregular previamente a la segunda carga.

- 6) Después de haber hecho las pruebas de fijación (sin registro) recién realizar el ensayo y obtener dos conjuntos de lecturas como sigue: Aplique la carga continuamente y sin choque, a una velocidad constante en un rango de  $0.241 \pm 0.034$  Mpa/seg. ( $2.45 \pm 0.35$  Kg/cm<sup>2</sup>). Registre sin interrupción las lecturas de cargas aplicadas y la deformación longitudinal en el punto (1) cuando esfuerzo longitudinal es de 50 millonésimas y (2) cuando la carga aplicada es igual al 40% de la rotura. La deformación longitudinal se define como la deformación total dividida entre la longitud efectiva del calibrador.
- 7) El Módulo de elasticidad y la resistencia pueden ser obtenidas de la misma carga previendo que los dispositivos de medición sean expandibles, removibles o adecuadamente protegidos. En este caso registrar varias lecturas y determinar el valor de deformación al 40% de la carga última por Interpolación.
- 8) Sí se tornan lecturas intermedias, dibujar los resultados de cada tres ensayos con la deformación longitudinal como abscisa y la resistencia a la compresión como ordenada

### **CÁLCULO.**

Se calcula el módulo de elasticidad con una aproximación de 50 000 psi. (344.74 MPa.) De la siguiente manera.

$$E = \frac{(S2 - S1)}{(e2 - 0.000050)}$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad en Kg/cm<sup>2</sup>.

S2 = Esfuerzo correspondiente al 40% de la carga última Kg/cm<sup>2</sup>

S1 = Esfuerzo correspondiente a una deformación longitudinal es de 0.000050mm/mm.

e2 = Deformación longitudinal producida por el esfuerzo S2

**d) Ensayo de Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-421.**

**OBJETO**

Este método de ensayo tiene por objeto determinar, cuantitativamente, los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada. Este método también se aplica usando mallas de laboratorio de abertura redonda, y no se empleará para agregados recuperados de mezclas asfálticas.

Mediante este ensayo se determina la distribución de los tamaños de las partículas de una muestra seca del agregado, por separación a través de tamices dispuestos sucesivamente de mayor a menor abertura.

**PROCEDIMIENTO, EQUIPO Y MATERIALES**

Procedimiento de la prueba de Análisis granulométrico:

- 1) Selecciónese un grupo de tamices de tamaños adecuados para cumplir con las especificaciones del material que se va a ensayar. Colóquense los tamices en orden decreciente, por tamaño de abertura. Efectúese la operación de tamizado a mano o por medio de un tamizador mecánico, durante un período adecuado. Para tamices de 4.75 mm (No.4) y mayores, el peso en kg/m<sup>2</sup> por superficie de tamizado no excederá el producto de 2.5 x abertura del tamiz (mm).
- 2) Continúese 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 continuo a mano, realizado de la siguiente manera: Tómese individualmente cada

tamiz, con su tapa y un fondo que ajuste sin holgura, con la mano en una posición ligeramente inclinada.

- 3) En el caso de mezclas de agregados gruesos y finos, la porción de muestra más fina que el tamiz de 4.75 mm (No.4) puede distribuirse entre dos o más grupos de tamices para prevenir sobrecarga de los tamices individuales.
- 4) 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.
- 5) Determínese el peso de la muestra retenido en cada tamiz, con una balanza. El peso total del material después del tamizado, debe ser comparado con el peso original de la muestra que se ensayó. Si la cantidad difiere en más del 0.3%, basado en el peso de la muestra original seca, el resultado no debe ser aceptado.



Figura 016: Equipo de Ensayo

Fuente: ASTM D - 421

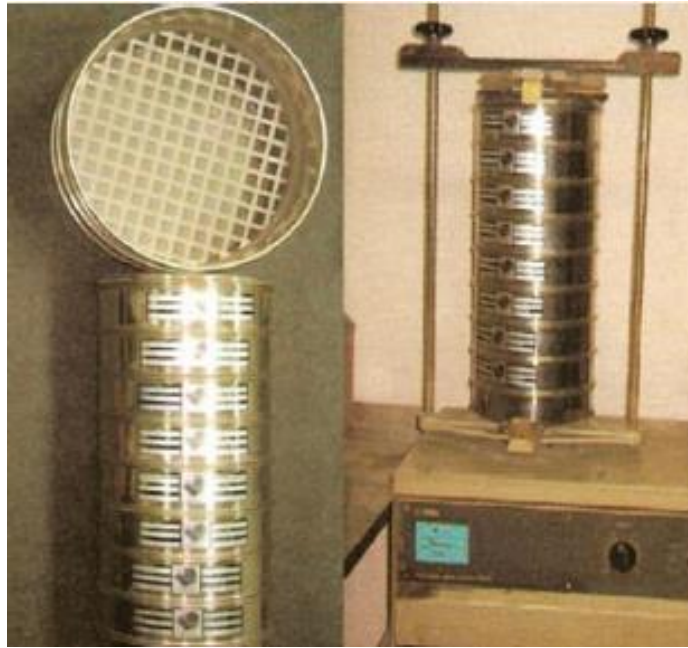


Figura 017: Juego de Tamices  
Fuente: ASTM D - 421

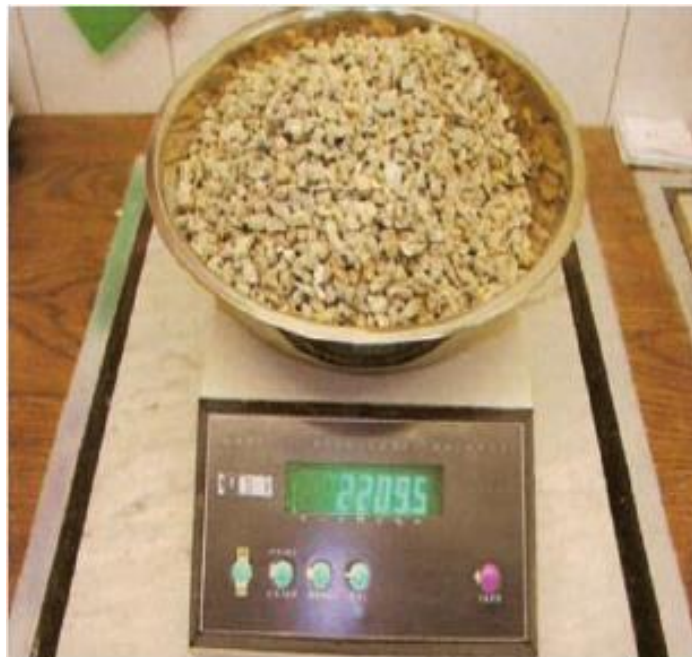


Figura 018: Realización Ensayo  
Fuente: ASTM D - 421

**e) Peso Unitario y Porcentaje de Vacíos de los Agregados ASTM C-29**

**OBJETO**

Esta norma tiene por objeto establecer el método para determinar el peso unitario y el porcentaje de los vacíos de los agregados, ya sean finos, gruesos o una mezcla de ambos.

**EQUIPO**

- 1) Balanza.- Debe medir con una exactitud de 0.1% con respecto al material usado.
- 2) 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").
- 3) Recipientes de medida, metálicos, cilíndricos, preferiblemente provistos de agarraderas, a prueba de agua, con el fondo y bordes superiores pulidos, planos y suficientemente rígidos, para no deformarse bajo duras condiciones de trabajo. Los recipientes de 15 a 30 litros deben ir reforzados en su boca con una banda de acero de 40 mm de ancho. La capacidad del recipiente utilizado en el ensayo, depende del tamaño máximo de las partículas del agregado que se va a medir.

Las dimensiones de los recipientes deben cumplir con las de la Tabla No.1, puesta al final de la presente norma.

**PESO UNITARIO DEL AGREGADO COMPACTADO**

- 1) **Método del apisonado.-** Para agregados de tamaño nominal menor o igual que 39 mm (1½").

El agregado debe colocarse en el recipiente, en tres capas de igual volumen aproximadamente, hasta colmarlo.

Cada una de las capas se empareja con la mano y se apisona con 25 golpes de varilla, distribuidos uniformemente en cada capa, utilizando el extremo semiesférico de la varilla.

Al apisonar la primera capa, debe evitarse que la varilla golpee el fondo del recipiente.

Al apisonar las capas superiores, se aplica la fuerza necesaria para que la varilla solamente atraviese la respectiva capa.

Una vez colmado el recipiente, se enrasa la superficie con la varilla, usándola como regla, y se determina el peso del recipiente lleno, en kg (lb).

**2) Método del vibrado.-** Para agregados de tamaño nominal, comprendido entre 39 mm (1½) y 100 mm (4").

El agregado debe colocarse en el recipiente, en tres capas de igual volumen aproximadamente, hasta colmarlo.

Cada una de las capas se compacta del siguiente modo. Se coloca el recipiente sobre una base pavimento y se inclina, hasta que el borde opuesto al punto de apoyo, diste unos 50 mm (2") de la base. Luego se suelta, con lo que se produce un golpe seco y se repite la operación inclinando el recipiente por el borde opuesto. Estos golpes alternados se ejecutan 25 veces de cada lado, de modo que el número total sea 50 para cada capa y 150 para todo el conjunto.

Una vez compactada la última capa, se enrasa la superficie del agregado con una regla o con la mano, de modo que las partes salientes se compensen con las depresiones en relación al plano de enrase, y se determina el peso en kg (lb) del recipiente lleno.

- 3) Método de llenado a paladas.- Para determinar el peso unitario del agregado suelto, para agregados de tamaño nominal hasta de 100 mm (4").

Se llena el recipiente por medio de una pala o cuchara, de modo que el agregado se descargue de una altura no mayor de 50 mm (2"), por encima del borde, hasta colmarlo. Se debe tener cuidado de que no se segreguen las partículas de las cuales se compone la muestra.

Se enrasa la superficie del agregado con una regla o con la mano, de modo que las partes salientes se compensen con las depresiones en relación con el plano de enrase y se determina el peso en kg (lb), del recipiente lleno.

#### VACÍOS EN LOS AGREGADOS

Los vacíos en los agregados pueden calcularse en la siguiente forma, empleando el peso unitario obtenido mediante apisonado, vibrado o simplemente mediante el llenado a paladas.

$$\% \text{ Vacíos} = \frac{(A \times W) - B}{A \times W} \times 100$$

Siendo:

A = Peso específico aparente según los procedimientos INV. E -222 y E - 23.

B = Peso unitario de los agregados determinado por los procedimientos de los numerales 3.1, 3.2 y 3.3 en kg/m<sup>3</sup> (lb/pie<sup>3</sup>).

W = Peso unitario del agua, 1000 kg/m<sup>3</sup> (62.4 lb/pie<sup>3</sup>)

#### INFORME

Infórmense los resultados obtenidos en la siguiente forma:



- a) Peso unitario de los agregados, o sea el cociente entre el peso de las muestras dentro del recipiente y el volumen de éste en kg (lb).
- b) % Vacíos en los agregados compactados por apisonado.
- c) % Vacíos en los agregados compactados por vibrado.
- d) % Vacíos en los agregados sueltos, llenados a paladas.

## PRECISIÓN

Se ha hallado que la desviación normal entre varios laboratorios, es de 24 kg/m<sup>3</sup> (1.5 lb/pie<sup>3</sup>) para tamaños nominales máximos de 19.0 mm (3/4") de peso normal, empleando recipientes de medida para agregados gruesos de 15 litros (1/2 pie<sup>3</sup>). Por tanto, resultados de dos ensayos adecuadamente ejecutados en dos laboratorios diferentes, sobre la muestra del mismo agregado grueso, no deberán diferir en más de 67 kg/m<sup>3</sup> (4.2 lb/pie<sup>3</sup>). La desviación normal de un mismo operador se ha hallado en 11 kg/m<sup>3</sup> (0.7 lb/pie<sup>3</sup>). Por lo tanto, resultados de dos ensayos correctamente ejecutados por el mismo operador sobre la misma muestra de agregados gruesos, no deberá diferir en más de 32 kg/m<sup>3</sup> (2.0 lb/pie<sup>3</sup>).

## CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

I.N.V. E - 217

ICONTEC 92

- f) **Resistencia al Desgaste de los Agregados de Tamaños Menores de 37.5 Mm (1½") por Medio de la Máquina de los Ángeles ASTM C 131**

## OBJETO

- 1) Este método se refiere al procedimiento que se debe seguir para realizar el ensayo de desgaste de los agregados gruesos hasta de 37.5 mm (1½") por medio de la máquina de Los Ángeles.

- 2) El método se emplea para determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando la citada máquina con una carga abrasiva.
- 3) Para evaluar la resistencia al desgaste de los agregados gruesos, de tamaños mayores de 19 mm (3/4"), por medio de la máquina de Los Ángeles, deberá utilizarse la Norma I.N.V. E – 219.

## EQUIPO Y MATERIALES

- 1) Balanza, que permita la determinación del peso con aproximación de 1 g.
- 2) Horno, que pueda mantener una temperatura uniforme de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ).
- 3) Tamices.
- 4) Máquina de Los Ángeles: La máquina para el ensayo de desgaste de Los Ángeles tendrá las características que se indican en la Figura No.1. Consiste en un cilindro hueco, de acero, con una longitud interior de  $508 \pm 5$  mm ( $20 \pm 0.2$ " ) y un diámetro, también interior, de  $711 \pm 5$  mm ( $28 \pm 0.2$ " ).

Dicho cilindro lleva sus extremos cerrados y en el centro de cada extremo un eje, que no penetra en su interior, quedando el cilindro montado de modo que pueda girar en posición horizontal alrededor de este eje. El cilindro estará provisto de una abertura, para introducir la muestra que se desea ensayar, y un entrepaño, para conseguir la rotación de la mezcla y de la carga abrasiva. La abertura podrá cerrarse por medio de una tapa con empaque que impida la salida del polvo, fijada por medio de pernos.

La tapa se diseñará de manera tal que se mantenga el contorno cilíndrico interior. El entrepaño se coloca de modo que la carga no caiga sobre la tapa durante el ensayo, ni se ponga en contacto con ella en ningún momento. El entrepaño será desmontable, de acero, ocupando longitudinalmente toda una generatriz del cilindro y se proyectará radialmente, y hacia el centro de la sección circular del cilindro, en longitud de  $89 \pm 2$  mm ( $3,5 \pm 0,1$ " ). Tendrá un espesor tal que permita montarlo por medio de pernos u otro medio apropiado, de forma que quede instalado de un modo pavimento y rígido.

**Nota 1:** Es preferible el empleo de un entrepaño de acero resistente al desgaste de sección rectangular y montado independientemente de la tapa. No obstante, puede usarse una sección angular montada adecuadamente en la parte interior de la tapa, teniendo en cuenta la dirección de rotación para la que la carga sea recogida por la cara exterior del ángulo.

La superficie del entrepaño de la máquina de Los Ángeles está sometida a un fuerte desgaste y al impacto de las bolas, originándose en ella un relieve a una distancia aproximadamente de 32 mm, ( $1\frac{1}{4}$ " ) desde la unión del entrepaño con la superficie interior del cilindro. Si el entrepaño está hecho de una sección angular, no solamente puede formarse este relieve, sino que aquél se puede llegar a doblar longitudinal o transversalmente y con respecto a su correcta disposición, por lo cual debe ser revisado periódicamente. Si se observa alguno de estos defectos, el entrepaño debe ser reparado o reemplazado antes de realizar nuevos ensayos. La máquina será accionada y contrabalaceada en forma tal, que debe mantener la velocidad periférica básicamente uniforme.

La pérdida de velocidad y el deslizamiento del mecanismo de transmisión son causa frecuente de que los resultados del ensayo no coincidan con los obtenidos en otra máquina de desgaste de Los Ángeles con velocidad periférica constante.

- 5) Carga abrasiva. La carga abrasiva consistirá en esferas de acero o de fundición, de un diámetro entre 46.38 mm (1 13/16") y 47.63 mm (17/8") y un peso comprendido entre 390 g y 445 g.

La carga abrasiva dependerá de la granulometría de ensayo, A, B, C o D, según se indica en el numeral 3.2, de acuerdo con la Tabla A siguiente:

**TABLA A**

Granulometría de ensayo	Número de esferas	Peso Total g
A B C D	12	5000 ± 25
	11	4584 ± 25
	8	3330 ± 20

#### PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La muestra de ensayo consistirá en agregado limpio por lavado y secado en horno a una temperatura constante comprendida entre 105 y 110°C (221 a 230°F), separada por fracciones de cada tamaño y recombinadas con una de las granulometrías indicadas en la Tabla No.2. La granulometría o granulometrías elegidas serán representativas del agregado tal y como va a ser utilizado en la obra. La muestra antes de ensayada deberá ser pesada con aproximación de 1 g.

**TABLA B. GRANULOMETRÍAS DE LA MUESTRA DE AGREGADO PARA ENSAYO**

Pasa tamiz		Retenido en tamiz		Pesos y granulometrías de la muestra para ensayo (g)			
mm	(alt.)	mm	(alt.)	A	B	C	D
37.5	(1½")	- 25.0	(1")	1250 ± 25			
25.0	(1")	- 19.0	(¾")	1250 ± 25			
19.0	(¾")	- 12.5	(½")	1250 ± 10	2500 ± 10		
12.5	(½")	- 9.5	(⅜")	1250 ± 10	2500 ± 10	2500 ± 10	
9.5	(⅜")	- 6.3	(¼")		2500 ± 10		
6.3	(¼")	- 4.75	(No.4)			5000 ± 10	
TOTALES				5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Cuando se triture la muestra en el laboratorio, se hará constar esto en el informe, debido a la influencia que tiene la forma de las partículas en el resultado del ensayo.

## PROCEDIMIENTO

Se colocan en la máquina de Los Ángeles, y se hace girar el cilindro a una velocidad comprendida entre 188 y 208 rad/minuto (30 y 33 r.p.m.); el número total de vueltas deberá ser 500. La máquina deberá girar de manera uniforme para mantener una velocidad periférica prácticamente constante. Una vez cumplido el número de vueltas prescrito, se descarga el material del cilindro y se procede con una separación preliminar de la muestra ensayada, en un tamiz más grueso que el de 1.70 mm (No.12). La fracción fina que pasa, se tamiza a continuación empleando el tamiz de 1.70 mm (No.12). El material más grueso que el tamiz de 1.70 mm (No.12) se lava, se seca en el horno, a una temperatura comprendida entre 105 a 110°C (221 a 230°F), hasta peso constante, y se pesa con precisión de 1 g.

Cuando el agregado esté libre de costras o de polvo, puede eliminarse la exigencia del lavarlo antes y después del ensayo. La eliminación del lavado posterior, rara vez reducirá la pérdida medida, en más del 0.2% del peso de la muestra original.

Se puede obtener una valiosa información sobre la uniformidad de la muestra que se está ensayando, determinando la pérdida después de 100 revoluciones. Al efectuar esta determinación no se debe lavar el material retenido en el tamiz de 1.7 mm (No.12). La relación de pérdida después de 100 revoluciones a pérdida después de 500 revoluciones, no debería exceder en más de 0.20 para materiales de dureza uniforme. Cuando se realice esta determinación, se procurará evitar toda pérdida de muestra; la muestra total, incluido el polvo producido por el desgaste, se vuelve a introducir en la máquina hasta completar las 500 revoluciones requeridas para terminar el ensayo.

## RESULTADOS

- 1) El resultado del ensayo es la diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra ensayada, expresado como tanto por ciento del peso original.
- 2) El resultado del ensayo (% desgaste) recibe el nombre de coeficiente de desgaste de Los Ángeles. Calcúlese tal valor así:

$$\% \text{ Desgaste} = 100 (P1 - P2) / P1$$

P1 = Peso muestra seca antes del ensayo.

P2 = Peso muestra seca después del ensayo, previo lavado sobre tamiz de 1.70 mm (No.12).

## PRECISIÓN

Para agregados con tamaño máximo nominal de 19 mm (3/4"), con porcentajes de pérdida entre 10 y 45%, el coeficiente de variación entre resultados de varios laboratorios, es del 4.5% . Entonces, resultados de dos ensayos bien ejecutados, por dos laboratorios diferentes, sobre muestras del mismo agregado grueso, no deberán diferir el uno del otro en más del 12.7% de su promedio.

El coeficiente de variación de operadores individuales, se encontró que es del 2%. Entonces, los resultados de dos ensayos bien ejecutados sobre el mismo agregado grueso, no deberán diferir, el uno del otro en más del 5.7% de su promedio.

- g) Porcentaje de Caras Fracturadas en los Agregados ASTM D 5821**

## OBJETO

Esta norma describe el procedimiento para determinar el porcentaje, en peso, del material que presente una o más caras fracturadas de las muestras de agregados pétreos.

## EQUIPO

- 1) 2.1 Balanza, de 5000 g de capacidad y aproximación de 1 g.
- 2) Tamices, de 37.5, 25.0, 19.0, 12.5 y 9.5 mm (1½", 1", ¾", ½" y 3/8").
- 3) Cuarteador, para la obtención de muestras representativas.
- 4) Espátula, para separar los agregados.

## MUESTRA

La muestra para ensayo deberá ser representativa de la granulometría promedio del agregado, y se obtendrá mediante un cuidadoso cuarteo del total de la muestra recibida. Hágase el análisis granulométrico de la muestra cuarteada.

Sepárese por tamizado la fracción de la muestra comprendida entre los tamaños 37.5 mm y 9.5 mm (1½" y 3/8"). Descártese el resto.

El peso total de la muestra dependerá del tamaño del agregado así:

Tamaño del agregado		Peso en gr.
37.5 a 25.0 mm	(1½" a 1")	2000
25.4 a 19.0 mm	(1" a ¾")	1500
19.0 a 12.5 mm	(¾" a ½")	1200

## PROCEDIMIENTO

Espárzase la muestra en un área suficientemente grande, para inspeccionar cada partícula. Si es necesario lávese el agregado sucio. Esto facilitará la inspección y detección de las partículas fracturadas.

Sepárense con el borde de la espátula, las partículas que tengan una o más caras fracturadas. Si una partícula de agregado redondeada presenta una fractura muy pequeña, no se clasificará como "partícula fracturada".

Pésense las partículas fracturadas y anótese este valor.

## CÁLCULOS Y RESULTADOS

Para llevar a cabo los cálculos, sígase el procedimiento de cálculo es como se describe en los numerales siguientes:

- 1) Anótese en la columna A, el peso exacto de las porciones de la muestra tomadas para el ensayo, comprendidas entre los tamaños especificados.
- 2) En la columna B anótese el peso del material con caras fracturadas para cada tamaño.
- 3) La columna C representa el porcentaje de caras fracturadas para cada tamaño:  $C = (B/A) \times 100$ .
- 4) Regístrese en la columna D los valores correspondientes del análisis granulométrico de la muestra original.
- 5) Después de calcular la columna  $E = C \times D$  y sumar los valores de cada columna, el porcentaje de caras fracturadas se calcula así, expresándolo con aproximación del 1%:



$$\text{Porcentaje de caras fracturadas} = \frac{\text{Suma de \% de caras fracturadas, ponderados según gradación original}}{\text{Muestra de ensayo como \% del material original}} = \frac{\text{TOTAL E}}{\text{TOTAL D}}$$

### 2.3 Definición de términos

**Concreto Permeable.-** El concreto permeable u hormigón permeable es una mezcla de agregado grueso, cemento, agua, y poco a ninguna arena. También conocido como el hormigón "sin finos" o poroso, esta mezcla crea una estructura de célula abierta, permitiendo al agua de lluvia filtrar al suelo subyacente. Simulando la superficie de tierra natural, el hormigón permeable es excelente para la evacuación de agua de lluvia.

**Permeabilidad.-** es la capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable.

La velocidad con la que el fluido atraviesa el material depende de tres factores básicos:

- la porosidad del material;
- la densidad del fluido considerado, afectada por su temperatura;
- la presión a que está sometido el fluido.

Para ser permeable, un material debe ser poroso, es decir, debe contener espacios vacíos o poros que le permitan absorber fluido. A su vez, tales espacios deben estar interconectados para que el fluido disponga de caminos para pasar a través del material.

**Superficies Permeables.-** Una superficie permeable permite la infiltración del agua y puede ser resistente al tráfico, en cuyo caso se denomina pavimento permeable, cuando todas las capas de la sección resistente permiten el paso del agua. Por su parte, las superficies permeables que no tienen misión resistente forman parte de paseos, parques, jardines, alcorques, glorietas, cubiertas verdes, etc.

**Concreto.-** El concreto es un material de construcción bastante resistente, que se trabaja en su forma líquida, por lo que puede adoptar casi cualquier forma. Este material está constituido, básicamente de agua, cemento y agregados, a los que posteriormente se les agrega un cuarto ingrediente denominado aditivo. El cemento representa sólo el 15% en la mezcla del concreto por lo que es el que ocupa menor cantidad en volumen; sin embargo su presencia en la mezcla es esencial.

**Dosificación (concreto).-** La dosificación implica establecer las proporciones apropiadas de los materiales que componen al concreto, a fin de obtener la resistencia y durabilidad requeridas, o bien, para obtener un acabado o pegado correctos. Generalmente expresado en gramos por metro (g/m).

**Granulometría.-** Es un proceso mecánico mediante el cual se separa las partículas de un suelo en sus diferentes tamaños, de los agregados, generalmente expresado en porcentaje.

**Granulometría del Concreto Poroso.-** La granulometría de los agregados se refiere a la distribución de tamaño de las partículas, generalmente son de interés en esa distribución el tamaño máximo permisible y el tamaño mínimo permisible, sin embargo existen aplicaciones en las cuales se puede preferir un cierto tamaño uniforme en las partículas. La distribución de las partículas se determina por medio de ensayos de cribado empleando mallas, donde los alambres que integran las mallas se entretejen formando espacios cuadrados con diversas aberturas. Las mallas que se usan dependen en cuanto a su abertura y nomenclatura de las normas que se adopten, entre algunas normas y mallas de uso a nivel mundial se encuentran las americanas y las inglesas que se presentan.

**Resistencia a la compresión.-** Es la resistencia del concreto y la capacidad máxima de carga que soporta un material antes de llegar a su límite de ruptura, se expresa en  $\text{kg/cm}^2$ . Se mide fracturando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayo de compresión (prensa hidráulica).

**Resistencia a la flexión.-** Doblamiento que sufre un elemento estructural al ser sometido a una fuerza transversal externa y comprobar la calidad del concreto.

El ensayo de flexión es utilizado para definir el comportamiento a la tracción del concreto poroso (CP.), en razón de reproducir la forma más frecuente como se da esta sollicitación en los elementos estructurales.

**Abrasión.-** Se denomina abrasión a la acción mecánica de rozamiento y desgaste que provoca la erosión de un material.

**La resistencia a la abrasión del hormigón.-** Se define como “la capacidad de una superficie para resistir el desgaste por frotamiento y fricción” (ACI 116R).

**Escorrentía superficial.-** La escorrentía superficial describe el flujo del agua, lluvia, nieve, u otras fuentes, sobre la tierra, y es un componente principal del ciclo del agua. A la escorrentía que ocurre en la superficie antes de alcanzar un canal se le llama fuente no puntual. Si una fuente no puntual contiene contaminantes artificiales, se le llama contaminación de fuente no puntual. Al área de tierra que produce el drenaje de la escorrentía a un punto común se la conoce como línea divisoria de aguas. Cuando la escorrentía fluye a lo largo de la tierra, puede recoger contaminantes del suelo, como petróleo, pesticidas (en especial herbicidas e insecticidas), o fertilizantes.

**Infiltración.-** La infiltración es el proceso por el cual el agua en la superficie de la tierra entra en el suelo. El agua precipitada sobre la superficie de la Tierra, queda detenida, escurre por ella, o bien penetra hacia el interior. De esta última fracción se dice que se ha filtrado.

**Impermeabilización.-** Preparación de un cuerpo para que no pueda ser penetrado por un líquido.

**Módulo de elasticidad.-** Es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza.

En general, es la capacidad del concreto de deformarse bajo carga, sin tener deformación permanente.

**Peso Unitario.-** Es la masa por unidad de volumen. Y en este método de ensayo trata sobre la determinación de la densidad del concreto recién mezclado y proporciona

fórmulas para el cálculo del rendimiento, el contenido de cemento y el contenido de aire del concreto.

**Contenido de vacíos.-** La condición para que un concreto sea permeable y controlan la mayoría de las propiedades físicas críticas del concreto permeable.

**Peso Unitario y Porcentaje de Vacíos de los Agregados.-** Es un ensayo que tiene por objeto establecer el método para determinar el peso unitario y el porcentaje de los vacíos de los agregados, ya sean finos, gruesos o una mezcla de ambos.

**Resistencia al Desgaste de los Agregados.-** Como su nombre lo indica se refiere a la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando la máquina de abrasión los ángeles con una carga abrasiva.

**Porcentaje de Caras Fracturadas en los Agregados.-** Viene a ser el porcentaje, en peso, del material que presente una o más caras fracturadas de las muestras de agregados pétreos.

**Angularidad de los Agregados.-** La angularidad (forma y textura) de los agregados tiene una gran influencia en algunas propiedades del hormigón fresco y endurecido, como la trabajabilidad y las resistencias mecánicas.

## **2.4 Hipótesis**

### **2.4.1 Hipótesis general**

La granulometría y angularidad del agregado incide considerablemente en las propiedades físico – mecánicas del concreto permeable endurecido.

### **2.4.2 Hipótesis específica**

- 1) A menor huso granulométrico del agregado se tendrá concreto permeable de buena resistencia mecánica, pero de baja permeabilidad.

- 2) A mayor porcentaje de caras fracturadas se tendrá un incremento en la resistencia mecánica del concreto permeable endurecido.
- 3) A mayor porcentaje de vacíos, se incrementa la permeabilidad pero se reduce la resistencia mecánica, del concreto permeable.
- 4) Los agregados que muestran una mayor superficie de contacto con la pasta de cemento, lograrán una mayor adherencia y por lo tanto una mejor resistencia mecánica.

## **2.5 Variables**

### **2.5.1 Definición conceptual de la variable**

#### **VARIABLES INDEPENDIENTES**

##### **1) GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS**

###### **Definición conceptual:**

En el presente trabajo se evaluarán dos tipos de agregado grueso que han sido elegidos según su forma, textura y su disponibilidad en nuestro medio, siendo uno de ellos piedra chancada, de forma angulosa proveniente de la planta chancadora “Cabanillas”, el segundo agregado que es canto rodado; se obtiene de forma natural, de origen aluvial y de forma redondeada proveniente de la cantera “Isla”, el cual presenta agregados de canto rodado quien posee buenas características físico-mecánicas para el diseño del concreto permeable, según estudios técnicos elaborados con anterioridad, y la forma redondeada facilita el acomodo de las partículas, presenta mejor trabajabilidad en su colocación.

###### **Dimensiones:**

Propiedades Físico-mecánicas de los Agregados.

**Definición operacional:**

Los resultados que se obtendrán de ensayos de laboratorio necesarios para determinar la granulometría y algunas otras propiedades de los agregados, los cuales están regidos y normados por MTC, ASTM, ACI.

**Indicadores:**

Granulometría

Porcentaje de desgaste

Peso unitario de los agregados

Porcentaje de vacíos de los agregados

**2) ANGULARIDAD DE LOS AGREGADOS****Definición conceptual:**

Se analizarán la angularidad de dos tipos de agregado grueso que han sido elegidos según su forma y su disponibilidad en nuestro medio, siendo uno de ellos piedra chancada, de forma angular proveniente de la planta chancadora “Cabanillas”, el segundo agregado que es canto rodado; se obtiene de forma natural, de origen aluvial y de forma redondeada proveniente de la cantera “Isla”.

**Dimensiones:**

Propiedades Físicas De Los Agregados.

**Definición operacional:**

Los resultados que se obtendrán de ensayos de laboratorio necesarios para determinar la granulometría y algunas otras propiedades de los agregados, los cuales están regidos y normados por MTC, ASTM, ACI.

**Indicadores:**

Porcentaje de caras fracturadas de los agregados.

## VARIABLES DEPENDIENTES

### 1) PROPIEDADES FÍSICAS DEL CONCRETO PERMEABLE

#### **Definición conceptual:**

El concreto permeable está formado por cemento, agregado grueso, poco o nada de agregado fino y agua. La combinación de estos ingredientes produce un material endurecido con poros conectados, que van de 2 a 8 mm, que permiten que el agua percole fácilmente. Por ende analizaremos las siguientes propiedades físicas: contenido de vacíos y permeabilidad del concreto permeable.

#### **Dimensiones:**

Propiedades físicas del concreto permeable.

#### **Definición operacional:**

Los resultados que se obtendrán de ensayos de laboratorio necesarios para determinar la resistencia a la compresión simple, permeabilidad, módulo de elasticidad y el contenido de vacíos adecuada del concreto permeable están regidos y normados por MTC, ASTM, ACI.

#### **Indicadores:**

Permeabilidad

Contenido de vacíos

### 2) PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO PERMEABLE

#### **Definición conceptual:**

Las propiedades mecánicas de mayor importancia del concreto permeable son la resistencia a la compresión y módulo de elasticidad. En el concreto permeable la combinación de sus componentes produce un material

endurecido con una resistencia a la compresión de 3.5 a 28 MPa. Y el módulo de elasticidad del concreto permeable varia de 85.000 - 125.000 Kg/cm<sup>2</sup>.

**Dimensiones:**

Propiedades mecánicas concreto permeable.

**Definición operacional:**

Los resultados que se obtendrán de ensayos de laboratorio necesarios para determinar la resistencia a la compresión simple y módulo de elasticidad del concreto permeable están regidos y normados por MTC, ASTM, ACI.

**Indicadores:**

Resistencia a la compresión.

Módulo de elasticidad

**VARIABLES INTERVINIENTES.**

**Definición conceptual:**

Son las variables que estarán involucradas durante la elaboración del presente trabajo de investigación.

**Indicadores:**

Relación/agua cemento.

Curado del concreto.



## 2.5.2 Operacionalización de la variable

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICE DE MEDIDA	RANGO
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE 01</b> GRANULOMETRIA DE LOS AGREGADOS	PROPIEDADES FISICOMECANICAS DE LOS AGREGADOS	PESO UNITARIO	gr/cm <sup>3</sup>	1.5 - 1.8
		GRANULOMETRIA	mm	9.5 - 4.75 (3/4" - N°8)
		RESISTENCIA AL DESGASTE	%	menor a 30
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE 02</b> ANGULARIDAD DE LOS AGREGADOS	PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS	PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS	%	mayor a 75
<b>VARIABLE DEPENDIENTE 01</b> PROPIEDADES FISICAS DEL CONCRETO PERMEABLE	PROPIEDADES FISICAS DEL CONCRETO PERMEABLE	PERMEABILIDAD	cm/seg (lt/m <sup>2</sup> /min)	0.20 - 0.54 (120 - 320)
<b>VARIABLE DEPENDIENTE 02</b> PROPIEDADES MECANICAS DEL CONCRETO PERMEABLE	PROPIEDADES MECANICAS DEL CONCRETO PERMEABLE	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	Mpa	3.5 - 28
		MÓDULO DE ELASTICIDAD	kg/cm <sup>2</sup> , E	85.000 - 125.000
VARIABLE INTERVINIENTE	-	AGUA/CEMENTO	adimencional	0.35
		CURADO DEL CONCRETO	días	7 - 28.

## CAPITULO III: METODOLOGÍA

### 3.1 Tipo y nivel de investigación

#### a) Tipo de investigación

Corresponde al tipo de investigación EXPERIMENTAL, Se realizará una variación en la variable independiente para obtener la variación en la variable dependiente

#### b) Nivel de investigación

Se desarrolla una investigación Explicativo.

### 3.2 Descripción del ámbito de la investigación

ÁMBITO: Departamento de Puno, Provincia de San Román.

El análisis y evaluación se realizara de la cantera ISLA y CABANILLAS, geográficamente, según el siguiente detalle:

Distrito : Juliaca (cantera ISLA)

Distrito : Cabanillas (cantera CABANILLAS)

Provincia : San Román (cantera ISLA)

Provincia : Lampa (cantera CABANILLAS)

Departamento : Puno

### 3.3 Población y muestra

#### a) Población

Está conformado por el territorio perteneciente al departamento de Puno, caracterizado por los agregados de las diversas canteras.

## **b) Muestra**

Se procederá a seleccionar como muestra representativa los agregados de las canteras “Cabanillas” e “Isla” de la provincia de Lampa y San Román respectivamente.

### **3.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos**

#### **3.4.1 Procedimientos Técnicos y Recolección de Datos**

Se basa en diferentes experiencias y procedimientos de diseño en concretos porosos en otros países, esta información primaria es punto de partida para aplicar dichos datos en nuestra realidad; con este fin se han programado y ejecutado ensayos en el Laboratorio de Mecánica de suelos, concreto y asfaltos de la Facultad de Ingenierías y ciencias puras de nuestra universidad; utilizando normas técnicas vigentes acerca del tema a fin de sistematizar nuestro estudio.

#### **3.4.2 Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos**

Para el procesamiento y el análisis de los datos recolectados en el laboratorio se ha recurrido a técnicas estadísticas de organización, tabulación y elaboración de gráficos de dichos datos y a partir de la elaboración de gráficos e interpretación respectiva ha sido posible realizar el análisis de resultados y la formulación de conclusiones, establecidas en las Normas Técnicas Peruanas, Normas Técnicas del A.C.I., Normas ASTM, Reglamento Nacional de Construcciones.

#### **3.4.3 Técnicas e Instrumentos de Laboratorio**

##### **1) VARIABLE INDEPENDIENTE N° 01**

##### **Granulometría de los Agregados**

##### **Técnica:**

- Granulometría
- Peso Unitario De Los Agregados
- Resistencia Al Desgaste De Los Agregados

**Instrumento:**

Para Ensayo de granulometría:

- Juego de tamices.
- Balanza con una precisión de 0.2.
- Recipientes.

Para Ensayo de Unitario Y Porcentaje De Vacíos De Los Agregados:

- Balanza
- Varilla compactadora
- Recipientes de medida, metálicos, cilíndricos

Para Ensayo de Resistencia Al Desgaste De Los Agregados

- Balanza
- Horno
- Tamices
- Máquina de Los Ángeles

**Materiales:**

Agregados.

**2) VARIABLE INDEPENDIENTE N° 02****Angularidad de los Agregados****Técnica:**

Porcentaje De Caras Fracturadas En Los Agregados

**Instrumento:**

Para Ensayo de caras fracturadas en Los Agregados

- Balanza
- Tamices
- Cuarteador
- Espátula
- Materiales:
- Agregados.

### 3) **VARIABLE DEPENDIENTE N° 01.**

#### **Propiedades Físicas del concreto permeable**

##### **Técnica:**

- Ensayo de Permeabilidad.
- Ensayo para determinar el peso unitario y contenido de vacíos del concreto
- Permeable.

##### **Instrumento:**

Para ensayo rápido de permeabilidad.

- Probetas.
- Cronometro.
- Permeámetro de carga variable

Para ensayo de peso unitario y contenido de vacíos.

- Recipiente de 7 lt.
- Placa metálica.
- Martillo de Compactación (2.5 kg) del Proctor Standard.
- Proctor Standard

##### **Materiales:**

- Mezclas de concreto permeable.
- Agua.

#### **4) VARIABLE DEPENDIENTE N° 02.**

##### **Propiedades Mecánicas del concreto permeable**

###### **Técnica:**

- Ensayo de resistencia a la compresión.
- Ensayo para determinar el módulo de elasticidad.

###### **Instrumento:**

Para Ensayo de compresión simple:

- Prensa hidráulica.

Para ensayo de módulo de elasticidad

- Máquina de compresión (Prensa hidráulica)
- Compresómetro.

###### **Materiales:**

- Testigos de concreto permeable.

## CAPITULO IV: RESULTADOS

### 4.1 PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

#### 4.1.1 Caracterización de los Agregados

En el presente trabajo se evaluarán dos tipos de agregado grueso que han sido elegidos según su forma, textura y su disponibilidad en nuestro medio, siendo uno de ellos piedra chancada, de forma angulosa proveniente de la planta chancadora “Cabanillas”, el segundo agregado que es canto rodado; se obtiene de forma natural, de origen aluvial y de forma redondeada proveniente de la cantera “Isla”, el cual presenta agregados de canto rodado quien posee buenas características físico-mecánicas para el diseño del concreto permeable, según estudios técnicos elaborados con anterioridad.

La primera cantera en mención cuenta con agregados de canto rodado y la cualidad que tiene este agregado (de forma redondeada) es que facilita el acomodo de las partículas y presenta mejor trabajabilidad en las mezclas de concreto. La segunda cantera mencionada “Cabanillas” cuenta con agregados de piedra chancada (de forma irregular) siendo esta quien presenta mayor superficie de contacto del agregado con la pasta de cemento y por lo tanto se consigue una mayor adherencia entre las partículas.

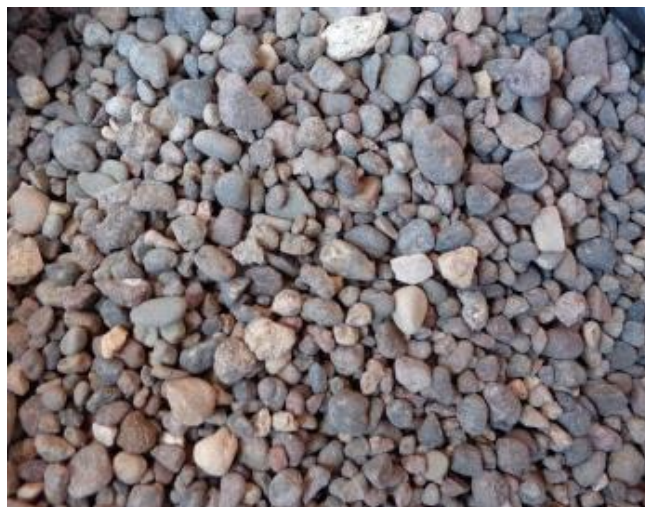


Figura 019: Agregado Redondeado Cantera “Isla”

Fuente: Elaboración Propia



Figura 020: Agregado Chancado Cantera Cabanillas”

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.1.1 ESTRUCTURA GRANULOMÉTRICA.

Se tomó la decisión con base a los trabajos ya realizados en otros países, usar la Granulometría en ellos empleada, con la salvedad de no incluir las gravas mayores a ¾” ni menores a 2.36mm (#8).

Por lo que emplearemos los agregados incluidos en la ASTM C-33 N°67 (¾” a nro.4) y N°08 (¾” a nro.8), esto tanto para los agregados de la cantera “Cabanillas” como para los agregados de la cantera “Isla”.

ASTM C 33		
No. 8	¾” a No. 8	9.5 a 2.36 mm
No. 67	¾” a No. 4	19.0 a 4.75 mm

Malla N°	Abertura (mm)	% PASANTE ACUMULADO	
		CANTERA ISLA	CANTERA CABANILLAS
1"	25.4	100	97.73
¾"	19.05	97.73	92.734



1/2"	12.7	60.31	65.65
3/8"	9.525	36.44	23.15
N° 4	4.7498	16.15	4.43
N° 8	2.36	6.72	0.33

Tabla 006: Resumen del Análisis Granulométrico

Fuente: Elaboración Propia

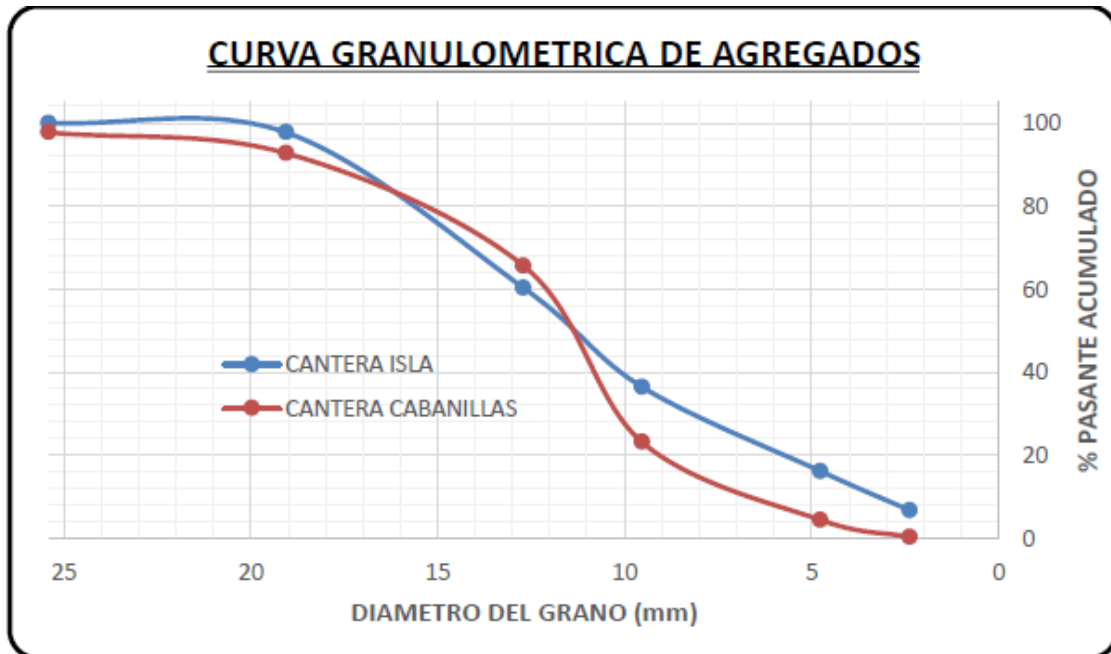


Figura 021: Curva Granulométrico

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.1.2 PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS

Con el fin de caracterizar los agregados se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio:

ENSAYO	OBJETIVO	NORMA
<b>Análisis granulométrico de los agregados.</b>	Determinar cuantitativamente, los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de tamices de	ASTM D-421.

	<p>abertura cuadrada. Mediante éste ensayo se determina la distribución de los tamaños de las partículas de una muestra seca de agregado, por separación a través de tamices dispuestos sucesivamente de mayor a menor.</p>	
<p><b>Peso unitario y porcentaje de vacíos de los agregados</b></p>	<p>Esta norma tiene por objeto establecer el método para determinar el peso unitario y el porcentaje de los vacíos de los agregados, ya sean finos, gruesos o una mezcla de ambos.</p>	<p>ASTM C-29</p>
<p><b>Resistencia al Desgaste de los agregados por medio de la Máquina de los Ángeles.</b></p>	<p>Determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando la máquina de los Ángeles con una carga abrasiva.</p>	<p>ASTM C 131</p>
<p><b>Gravedad Especifica y absorción de agregados Gruesos</b></p>	<p>Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de los pesos específicos aparente y nominal, así como la absorción, después de 24 horas de sumergidos en agua, de los agregados con tamaño igual o mayor a 4.75 mm (tamiz No.4)</p>	<p>ASTM C 127</p>
<p><b>Porcentaje de caras fracturadas en los agregados</b></p>	<p>Determinar el porcentaje, en peso, del material que presente una o más caras fracturadas de las muestras de agregados pétreos.</p>	<p>ASTM D 5821</p>

(Las normas de estos ensayos se encuentran referidas en las bases teóricas).

#### 4.1.1.3 RESULTADO DE LOS ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS

En los diferentes ensayos que le fueron realizados a los agregados se tuvieron en cuenta todas las recomendaciones y directrices de las normas de ensayo propuestas por la ASTM.

Todos los ensayos fueron realizados en el laboratorio de Mecánica de suelos, Concreto y Asfaltos particular, donde se tuvo disponibilidad de los equipos y materiales, además se tuvo el acompañamiento del señor Laboratorista quien manejo los equipos del laboratorio y coloco a disposición los instrumentos para los ensayos.

Para este estudio se tomaron agregados previamente tamizados, con el fin de obtener muestras en un grupo de tamaños según la ASTM C-33 N°67 (3/4" a nro.4) y N°08 (3/8" a nro.8), tanto para el agregado proveniente de la cantera "Cabanillas", así como para el agregado proveniente de la cantera "Isla".

**a) Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado.**

PUS: Peso Unitario Suelto (gr/cm<sup>3</sup>)

PUC: Peso Unitario Compactado (gr/cm<sup>3</sup>)

HUSO GRANULOMÉTRICO	Peso Unitario Suelto (PUS)	Peso Unitario Comp. (PUC)	Unidad
3/8" - N°8	1.565	1.644	gr/cm <sup>3</sup>
3/4" - N°4	1.431	1.527	gr/cm <sup>3</sup>

Tabla 007: Cantera Isla (Hormigón)

Fuente: Elaboración Propia

HUSO GRANULOMÉTRICO	Peso Unitario Suelto (PUS)	Peso Unitario Comp. (PUC)	Unidad
3/8" - N°8	1.36	1.482	gr/cm <sup>3</sup>
3/4" - N°4	1.374	1.47	gr/cm <sup>3</sup>

Tabla 008: Cantera Cabanillas (Piedra Chancada)

Fuente: Elaboración Propia

**b) Prueba de Resistencia al desgaste de los agregados - Método de Los Ángeles**

	CANTERA ISLA	CANTERA CABANILLAS	Unidad
% desgaste	27.16	30.28	%
Resist. al desgaste	72.80	69.70	%

Tabla 009: Resistencia al desgaste de los agregados

Fuente: Elaboración Propia

**c) Método de Ensayo de Gravedad específica y absorción del agregado grueso**

Pem: Peso específico de masa (gr/cm<sup>3</sup>)

PeSSS: Peso específico de masa SSS (Superficie Superficialmente Seco) (gr/cm<sup>3</sup>)

Pea: Peso Específico Aparente (gr/cm<sup>3</sup>)

Abs: Absorción (%)

	USO GRANULOMÉTRICO		Unidad
	3/8" - N°8	3/4" - N°4	
Peso Específico (pea)	2.51	2.56	gr/cm <sup>3</sup>
Absorción (Abs.)	3.52	2.80	%

Tabla 010: Gravedad específica y absorción de los agregados cantera Isla (Hormigón)

Fuente: Elaboración Propia

	USO GRANULOMÉTRICO		Unidad
	3/8" - N°8	3/4" - N°4	
Peso Específico (pea)	2.59	2.54	gr/cm <sup>3</sup>
Absorción (Abs.)	2.67	2.87	%

Tabla 011: Gravedad específica y absorción de los agregados cantera Cabanillas.

Fuente: Elaboración Propia

- d) Método de Ensayo de Porcentaje de caras fracturadas en los agregados

	CANTERA ISLA	CANTERA CABANILLAS	Unidad
Con una cara fracturada	1.00	3.30	%
Con dos o más caras fracturada	0.00	64.80	%

Tabla 012: Porcentaje de caras fracturadas en los agregados

Fuente: Elaboración Propia

## 4.1.2 DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO POROSO.

### 4.1.2.1 CONSIDERACIONES BÁSICAS

Diseñar una mezcla de concreto poroso, depende de las características hidráulicas y mecánicas que queramos que posea, las cuales están en función del uso del concreto poroso en obra.

En la dosificación de las mezclas de concreto poroso, las variables que afectan el comportamiento del concreto poroso son: granulometría, cemento, relación agua – material cementante y contenido de vacíos.

Una mayor dosis de cemento generará un concreto poroso más resistente, pero demasiado cemento disminuirá el porcentaje de vacíos interconectados en el concreto, perdiendo este su capacidad de infiltración.

Una cantidad insuficiente de agua resultará una mezcla sin consistencia y con baja resistencia, una cantidad excesiva de agua, generará una pasta que sellará los vacíos de la mezcla y que además lavará el cemento de la superficie del agregado.

Para que una mezcla sea considerada porosa, debe tener como mínimo un 15% de vacíos y se recomienda además que este contenido no supere el 25% por la poca inestabilidad de la mezcla.

Las mezclas de concreto poroso para obtener características especiales como un concreto convencional, se utiliza adiciones para mejorar sus propiedades en estado fresco (trabajabilidad) y endurecido (resistencia).

#### **4.1.2.2 MÉTODO DE DOSIFICACIÓN**

El concreto poroso utiliza los mismos materiales que un concreto convencional, con la ausencia parcial o total del agregado fino, y la distribución del tamaño del agregado grueso seleccionado, esto proporciona características endurecidas útiles, pero también da lugar a una mezcla que requiera diversas consideraciones en mezclarse, la colocación, la consolidación y el curado. Para nuestro estudio se tomó como base de procedimiento el Método del Comité 211-3R del ACI, recomendaciones del Comité 522, estudios realizados por: Pervious Pavement Organization, National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA), Portland Cement Pervious Concrete Pavements; el sustento reside en que siguiendo estas recomendaciones y experiencias podemos obtener una estructura del concreto, con un contenido de vacíos importante a diferencia de un concreto convencional, por lo que la cantidad de mortero debe ser suficiente para recubrir todas las partículas de agregado y formar puentes de adherencia de forma tal de obtener una porosidad elevada, éstos macroporos interconectados serán los responsables de la elevadísima permeabilidad del concreto y resistencia.

#### **4.1.2.3 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO**

##### **a) Elección del porcentaje de vacíos.**

La elección del porcentaje de vacíos depende de la velocidad de infiltración, la cual a su vez es determinada por la intensidad máxima

de lluvia que se produzca en el lugar donde se colocará el pavimento permeable.

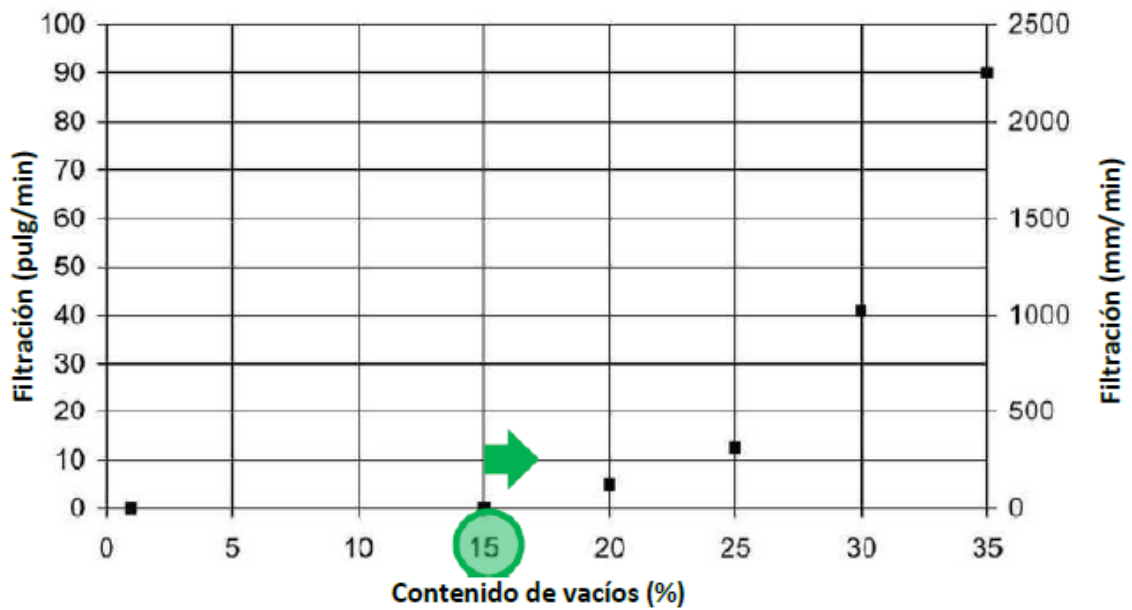


Figura 022: Relación entre la filtración y Porcentaje de vacíos (Adaptado ACI 211.3R-02)

Fuente: Elaboración Propia

**b) Verificación de la resistencia a compresión o flexión.**

Luego de haber determinado el porcentaje de vacíos se verifica la resistencia a compresión al que puede llegar nuestro concreto permeable, esto en otras graficas proporcionadas por el reporte ACI 522-R.

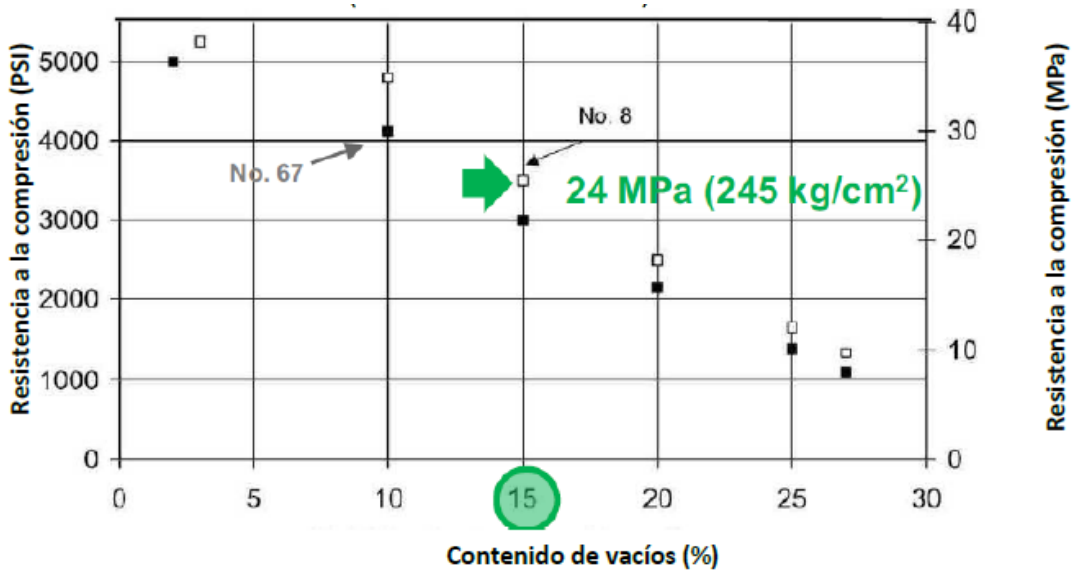


Figura 023: Relación entre el Porcentaje de vacíos y la resistencia a la compresión a los 28 días (Adaptado ACI 211.3R-02)

Fuente: Elaboración Propia

### c) Determinación del volumen de pasta

Luego de haber verificado las resistencias se procede a calcular el volumen de pasta mediante otro gráfico proporcionados ACI 211.3R, al cual se ingresa con el porcentaje de vacíos elegido.

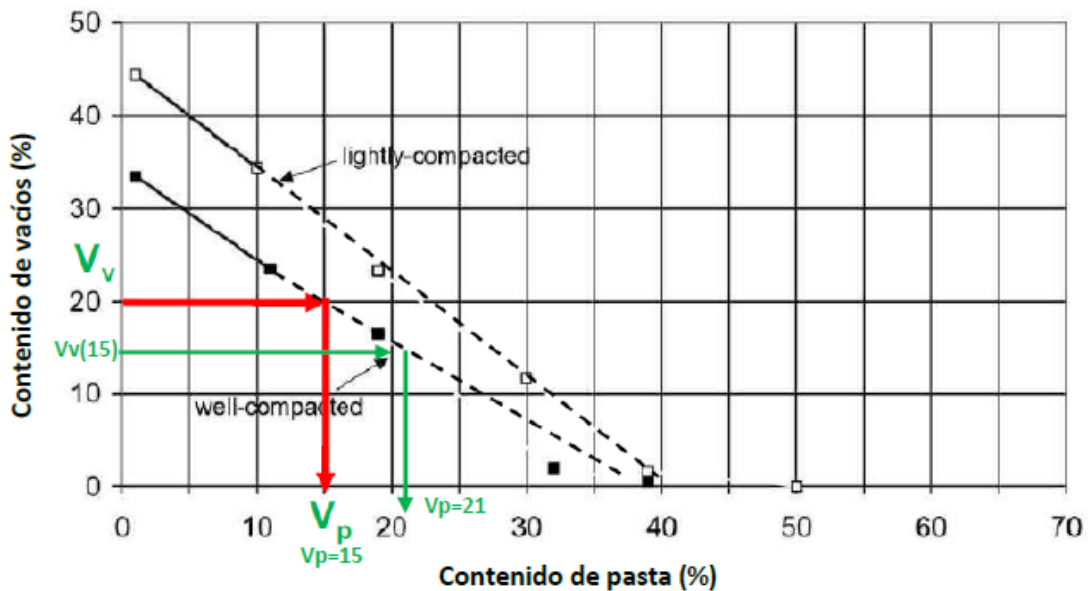


Figura 024: Relación entre el Contenido de pasta y contenido de vacíos para agregados de 9.5mm (Adaptado ACI 211.3R-02)

Fuente: Elaboración Propia



**d) Elección de la relación agua/cemento.**

En cuanto a la relación agua/cemento el reporte ACI 522, recomienda utilizar una relación w/c entre 0.30 a 0.40 porque un exceso de agua puede generar el colapso del sistema de poros que son lo más importante en este tipo de concreto porque ellos son los que permiten el paso del agua.

Por lo tanto para la ejecución de esta tesis se empleara una relación agua/cemento de 0.35.

**e) Determinación de la cantidad del agregado**

Para determinar la cantidad del agregado grueso, se emplea la Tabla N° 12 de coeficientes b/bo, que es el volumen de agregado grueso seco y compactado por unidad de volumen de hormigón.

La cantidad de árido grueso se calcula multiplicando el coeficiente b/bo, por el peso unitario seco compactado del agregado grueso.

Agregado fino	(b/bo)	
	ASTM C33 No. 8	ASTM C33 No. 67
(%)	9.5 mm	19.0 mm
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

Tabla 013: Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto

Fuente: ACI 211.3R-02

**f) Volúmenes Absolutos y Corrección por humedad.**

Una vez obtenido el porcentaje de vacíos, volumen de pasta, y la relación agua/cemento, se calcula la cantidad de cada material convirtiendo a un volumen absoluto por metro cubico en estado

superficialmente seco como se realiza en el concreto convencional y se corrige luego por humedad y se obtiene la cantidad de materiales por metro cubico para el diseño.

$$\begin{aligned}
 1m^3 &= V_{pasta} + V_{grava} + V_{vacios} \\
 V_{pasta} &= V_{cemento} + V_{agua} \\
 V_{pasta} &= \frac{C}{3.15 \times 1000} + \frac{A}{1 \times 1000} \\
 V_{pasta} &= \frac{C}{3.15 \times 1000} + \frac{(\frac{A}{C})/C}{1 \times 1000}
 \end{aligned}$$

#### 4.1.2.4 PROPORCIONES DE MEZCLA DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño o proporcionamiento de mezclas se hizo de acuerdo con las recomendaciones del ACI211.3R, el cual se basa en tablas y figuras para determinar los materiales que conforman el metro cubico de concreto.

Para la investigación se realizaron ocho proporciones de mezcla, cuatro para cada tipo de agregado, es decir cuatro proporciones de mezcla para los agregados de la cantera “ISLA” y cuatro proporciones de mezcla para los agregados de la cantera “CABANILLAS”, con los siguientes porcentajes de vacíos: 15% y 20% de vacíos y una relación agua/cemento de 0.35.

Para lo cual se utilizó dos tipos de granulometría en los dos tipos de agregados (Isla y Cabanillas) enmarcada dentro del huso granulométrico N°8 y N°67 dada por la ASTM C-33; para poder comparar la influencia que tiene el tipo de granulometría y la forma de los agregados en cuanto a su comportamiento en estado endurecido (permeabilidad, resistencia a la compresión y módulo de elasticidad).

Hubo necesidad de hacer ajustes en el contenido de la pasta, modificando las cantidades de cemento y además fue necesario añadir agregado fino para lograr las propiedades deseadas, las proporciones de las mezclas estudiadas se muestran a continuación:

Mezcla	T.M.A.	% Vacíos	% Arena	Cemento (kg)	Agua (kg)	Grava (kg)	Arena (kg)
M1	3/8"	15%		350	122	1478	
M2	3/8"	20%	5%	320	112	1361	82
M3	3/4"	15%	10%	350	122	1276	153
M4	3/4"	20%	10%	350	122	1187	142
M1C	3/8"	15%		350	122	1467	
M2C	3/8"	20%	5%	320	112	1310	74
M3C	3/4"	15%	10%	350	122	1223	148
M4C	3/4"	20%	10%	350	122	1134	137

Tabla 014: Proporciones de mezcla (kg/m<sup>3</sup>) - Agua/cemento = 0.35

Fuente: Elaboración Propia

Mezcla	T.M.A.	% Vacíos	% Arena	Cemento (kg)	Agua (kg)	Grava (kg)	Arena (kg)
M1	3/8"	15%		9.88	3.44	41.72	
M2	3/8"	20%	5%	9.03	3.16	38.42	2.32
M3	3/4"	15%	10%	9.88	3.44	36.03	4.31
M4	3/4"	20%	10%	9.88	3.44	33.52	4.00
M1C	3/8"	15%		9.88	3.44	41.42	
M2C	3/8"	20%	5%	9.03	3.16	36.99	2.09
M3C	3/4"	15%	10%	9.88	3.44	34.53	4.18
M4C	3/4"	20%	10%	9.88	3.44	32.02	3.87

Tabla 015: Proporciones de mezcla (kg/pie<sup>3</sup>) - Agua/cemento = 0.35-agregado/cemento = 4 – 4.25

Fuente: Elaboración Propia

Donde:

**M1:** Diseño para 15% de vacíos, cantera ISLA, huso granulométrico N°8.

**M2:** Diseño para 20% de vacíos, 5% de arena, cantera ISLA, huso granulométrico N°8.

**M3:** Diseño para 15% de vacíos, 10% de arena, cantera ISLA, huso granulométrico N°67.

**M4:** Diseño para 20% de vacíos, 10% de arena, cantera ISLA, huso granulométrico N°67.

**M1C:** Diseño para 15% de vacíos, cantera CABANILLAS, huso granulométrico N°8.

**M2C:** Diseño para 20% de vacíos, 5% de arena, cantera CABANILLAS, huso granulométrico N°8.

**M3C:** Diseño para 15% de vacíos, 10% de arena, cantera CABANILLAS, huso granulométrico N°67.

**M4C:** Diseño para 20% de vacíos, 10% de arena, cantera CABANILLAS, huso granulométrico N°67.

## **4.2 PROCESO DE PRUEBA DE HIPÓTESIS**

### **4.2.1 Método de Fabricación de las Probetas de Ensayo**

Primeramente se prepararon los insumos requeridos en cantidades requeridas según el diseño de mezcla antes mencionado y Para la elaboración de las probetas de ensayo se tomaron en consideración los métodos de Fabricación vigentes, para así aplicar el procedimiento adecuado 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.

Mencionado lo anterior, se utilizaron cilindros estándar para el ensayo de compresión y experimentar la permeabilidad del concreto con un molde de dimensiones: 10cm de diámetro y 15cm de alto.

#### **4.2.1.1 Proceso de preparación de los insumos del diseño de mezcla.**

Primeramente Se tamizaron los agregados de la cantera “Isla” y “Cabanillas” en grupos según la ASTM C-33 N°67 (3/4” a nro.4) y N°08 (3/8” a nro.8).

Seguidamente se procedió a pesar los insumos (cemento, agua, agregado grueso y agregado fino) en las cantidades requeridas en el diseño de mezclas, esto para cada tipo de mezcla que pretendemos analizar.



Figura 025: Agregado Isla N°8

Fuente: Elaboración Propia



Figura 026: Agregado Isla N°67

Fuente: Elaboración Propia



Figura 027: Agregado Cabanillas N°8

Fuente: Elaboración Propia



Figura 028: Agregado Cabanillas N°67

Fuente: Elaboración Propia





Figura 029: Pesaje Agregado Cabanillas  
Fuente: Elaboración Propia



Figura 030: Pesaje Agregado Isla  
Fuente: Elaboración Propia



Figura 031: Pesaje de Agregado fino  
Fuente: Elaboración Propia



Figura 032: Pesaje de Cemento IP  
Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.1.2 Procedimiento de mezclado.

Se empleó una pequeña mezcladora de concreto con capacidad de 1 pie<sup>3</sup>. El procedimiento de mezclado fue el siguiente:

- Se colocó en la mezcladora de concreto, el agregado fino, el agregado grueso y el agua de absorción, y se dejó mezclar por 1 minuto.
- Después se añadió el cemento, y el agua restante, dejando mezclar durante 3 minutos. Enseguida se dejó en reposo durante 1 minuto para evitar el falso fraguado del cemento.
- Posterior al reposo, se reinició el mezclado y se dejó mezclar durante 2 minutos finales.



Figura 033: Equipo empleado

Fuente: Elaboración Propia



Figura 034: Proceso de mezclado

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.1.3 Moldeado de especímenes

Se moldearon cilindros de 150×300 mm para pruebas de resistencia a compresión y cilindros de 100×150 mm para pruebas de permeabilidad.

Todos los especímenes se elaboraron de acuerdo con la norma ASTM C192.  
 Los cilindros fueron moldeados en 3 capas.



Figura 035: Moldeado de probetas para pruebas de permeabilidad.  
 Fuente: Elaboración Propia



Figura 036: Moldeado de probetas para pruebas de permeabilidad.  
 Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.2 DESARROLLO DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO.

En estado fresco, se realizó la prueba de Asentamiento del concreto (Slump), Peso unitario y contenido de vacíos (ASTM C1688); y en estado endurecido las pruebas de resistencia a compresión (ASTM C39), módulo de elasticidad, y permeabilidad (ACI 522R-10). En todos los casos se ensayaron 2 especímenes.

ENSAYO	OBJETIVO	NORMA
<b>Asentamiento del concreto (Slump).</b>	Esta norma tiene por objeto establecer el método de ensayo para determinar el asentamiento	<b>INV – E 404.</b>



	del concreto en las obras y en el laboratorio.	
<b>Peso Unitario y contenido de vacíos del concreto</b>	Este es uno de los ensayos en estado fresco más importantes, ya que mediante el peso unitario calculado podemos obtener el porcentaje de vacíos con que se está produciendo la mezcla de concreto poroso.	<b>ASTM C-1688</b>
<b>Resistencia a la compresión de cilindros de concreto</b>	El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados, 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.	<b>ASTM C-39</b>
<b>Módulo De elasticidad estático y relación de poisson del concreto en compresión.</b>	Este método de ensayo proporciona un valor de la relación esfuerzo a deformación y una relación de deformación lateral a longitudinal para el concreto endurecido a cualquier edad y condiciones de curado que pueden ser establecidas.	<b>ASTM C-469</b>
<b>Permeabilidad.</b>	La permeabilidad del hormigón permeable se puede medir con un aparato llamado permeámetro de carga variable. Este consiste de un tubo vertical transparente, que incluye una regla graduada. El tubo está unido a un tubo horizontal que tiene una válvula para controlar el paso de agua.	<b>ACI 522R-10</b>

#### 4.2.2.1 Ensayos en estado fresco

Una vez obtenido el diseño de mezclas se procedió a realizar el mezclado del concreto permeable, en donde se realizaron los siguientes ensayos en estado fresco:

##### a) Contenido de Vacíos del concreto permeable

Se toma como valores ya establecidos y constantes un porcentaje de vacíos de 15% y 20%

##### b) Asentamiento del concreto (Slump)

Esta norma tiene por objeto establecer el método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto en las obras y en el laboratorio.



Figura 037: Equipo para la prueba  
Fuente: Elaboración Propia



Figura 038: Llenado del cono de Abrams  
Fuente: Elaboración Propia



Figura 039: Enrasado  
Fuente: Elaboración Propia



Figura 040: Medición del asentamiento  
Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.2.2 Ensayos en estado Endurecido

Se realizaron pruebas para determinar las propiedades físico - mecánicas de resistencia a compresión, módulo de elasticidad, y permeabilidad del concreto permeable.

##### a) Resistencia a la compresión del concreto (ASTM C-39).

Para el ensayo de Resistencia a la compresión se realizó de acuerdo con la ASTM C39. Previo a la prueba se aplicó una capa de azufre con el fin de uniformizar el área de carga. Se prepararon seis muestras de probetas de concreto por dosificación o mezcla, en total se elaboraron 48 cilindros en total, cuyos resultados se muestran mostrados son el promedio realizados desde los 7,14 y 28 días de edad. (Ver certificados de pruebas de laboratorio).

En este orden de ideas se muestra a continuación las fotos que ilustran el desarrollo de estos ensayos y el tipo de fallas que se obtuvieron.

Se muestran los cilindros elaborados y codificados después del moldeado de cada una de las mezclas que se pretenden analizar en esta investigación.



Figura 041: Probetas de la mezcla M1  
Fuente: Elaboración Propia



Figura 042: Probetas de la mezcla M2  
Fuente: Elaboración Propia



Figura 043: Probetas de la mezcla M3  
Fuente: Elaboración Propia



Figura 044: Probetas de la mezcla M4  
Fuente: Elaboración Propia





Figura 045: Probetas de la mezcla M4C  
Fuente: Elaboración Propia



Figura 046: Probetas de la mezcla M3C  
Fuente: Elaboración Propia

Los cilindros de las diferentes dosificaciones fueron fallados de la siguiente manera: dos a los 7, dos a los 14 y dos a los 28 días de curado y colocados en la máquina de ensayo la cual esta calibrada de acuerdo con la Norma ASTM C-39.



Figura 047: Probetas de las mezclas Cabanillas  
Fuente: Elaboración Propia



Figura 048: Probetas de las mezclas Isla  
Fuente: Elaboración Propia

Cilindros de la dosificación M1, M2, M3, M4: Estos cilindros tuvieron la tendencia a fallar de forma en la parte interna del cilindro, aunque a los 7 días se genera un desmoronamiento en los laterales, a los 14 días el concreto muestra una mejor adherencia entre sus partículas aumentando la resistencia y a los 28 días el concreto permeable falla tanto por el agregado como por la pasta.



Figura 049: Rotura de Probetas M1 y M2, 28días

Fuente: Elaboración Propia



Figura 050: Probetas de las mezclas M3 y M4

Fuente: Elaboración Propia



Figura 051: Falla de probeta M3 a los 28días

Fuente: Elaboración Propia

Cilindros de la dosificación M1C, M2C, M3C, M4C: Estos cilindros tuvieron la misma tendencia a fallar de forma en la parte interna del cilindro como las probetas de la cantera isla, aunque a los 7 días se presentan fisuras de las parte superior de la probeta, a los 14 días el concreto muestra una mejor adherencia entre sus partículas aumentando la resistencia y a los 28 días el concreto permeable falla tanto por el agregado como por la pasta.



Figura 052: Probetas de mezclas M3C y M4C

Fuente: Elaboración Propia



Figura 053: Probetas de mezclas M1C y M2C

Fuente: Elaboración Propia



Figura 054: Falla Probetas de mezclas M3C

Fuente: Elaboración Propia



Figura 055: Fallas Probetas de mezclas M2C

Fuente: Elaboración Propia

**b) Módulo de elasticidad del concreto.**

Para la determinación del Módulo de Elasticidad  $E_c$ , se calculó analíticamente a través de la fórmula propuesta por el ACI 318.83.

$$E_c = W_c^{1.5} \times 4270 \sqrt{f'_c}$$

Donde:

$W_c$  : Peso del concreto en Tn/m<sup>3</sup>, comprendidos entre 1.40 y 2.50 Tn/m<sup>3</sup>.

$f'_c$  : Resistencia a la Compresión en kg/cm<sup>2</sup>.

**c) Permeabilidad. ACI 522R-10**

Es uno de los ensayos más importantes, porque va permitir conocer un parámetro muy importante, el coeficiente de permeabilidad, el cual caracteriza a nuestro concreto poroso, se usa un permeámetro de carga variable recomendado en el reporte ACI – 522, donde se ensaya probetas de 10 cm de radio por 15 cm de alto. Para el ensayo de permeabilidad se prepararon dos muestras por dosificación o mezcla, en total se elaboraron 16 cilindros en total.

En este orden de ideas se muestra a continuación las fotos que ilustran el desarrollo de este ensayo.

Se muestran los Equipos de ensayo de permeabilidad recomendado por el ACI- 522 y el equipo elaborado para la realización de este ensayo.





Figura 056: Equipo recomendado por la  
ACI

Fuente: Elaboración Propia



Figura 057: Equipo Elaborado.

Fuente: Elaboración Propia

La permeabilidad de los cilindros M1, M2, M3 y M4 variaron entre 0.21 – 0.42 cm/s y la permeabilidad de los cilindros M1C, M2C, M3C y M4C variaron entre 0.24 – 0.47 cm/s; los cuales están dentro del rango que normalmente se espera en concretos permeables, por lo que se puede decir que las mezclas cumplen con esta característica para ser considerados como concretos permeables.



Figura 058: Saturado de probetas M1-  
M4

Fuente: Elaboración Propia



Figura 059: Saturado de probetas M1C -  
M4C

Fuente: Elaboración Propia



Figura 060: Realización del ensayo  
Fuente: Elaboración Propia



Figura 061: Realización del ensayo  
Fuente: Elaboración Propia



Figura 062: Control de tiempo de ensayo  
Fuente: Elaboración Propia



Figura 063: Control de tiempo de ensayo  
Fuente: Elaboración Propia



Figura 064: Finalización del ensayo de permeabilidad

Fuente: Elaboración Propia

## CAPITULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1 PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 5.1.1 Discusión de resultados de la investigación

Se diseñaron formatos y tablas diversas para la presentación de los resultados de las pruebas de laboratorio: el primero de ellos es un formato de toma de datos en el laboratorio utilizados durante los ensayos y el segundo es un formato utilizado para la presentación de los resultados.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de las resistencias a la compresión, módulo de elasticidad y permeabilidad de cada una de las dosificaciones en cuadros estadísticos, además se muestran dos tablas con los resultados obtenidos.

##### 5.1.1.1 Resistencia a compresión, $f_c$

La prueba de resistencia compresión se realizó de acuerdo con la ASTM C39. Previo a la prueba se aplicó una capa de azufre con el fin de uniformizar el área de carga. La velocidad de carga aplicada fue de 25 t/min. Los resultados se presentan en la Tabla N° 16 y Tabla N° 17. La mayor resistencia a 28 días de edad que se alcanzó fue de 226.81 kg/cm<sup>2</sup>. Como era de esperarse a mayor porcentaje de vacíos menor es la resistencia. Los valores se encuentran en el rango esperado para mezclas de concreto permeable (28,5 a 285 kg/cm<sup>2</sup>).

##### 5.1.1.2 Permeabilidad

La permeabilidad de los cilindros M1, M2, M3 y M4 variaron entre 0.21 – 0.42 cm/s y la permeabilidad de los cilindros M1C, M2C, M3C y M4C variaron entre 0.24 – 0.47 cm/s; los cuales están dentro del rango que normalmente se espera en concretos permeables, por lo que se puede decir que las mezclas cumplen con esta característica para ser considerados como concretos permeables. Los resultados de las 16 muestras ensayadas se presentan en la Tabla 16.

### 5.1.1.3 Modulo de elasticidad (Ec)

El Módulo de Elasticidad  $E_c$ , se calculó analíticamente a través de la fórmula propuesta por el ACI 318.83.

$$E_c = W_c^{1.5} \times 4270 \sqrt{f'_c}$$

Donde:

$W_c$  : Peso del concreto en Tn/m<sup>3</sup>, comprendidos entre 1.40 y 2.50 Tn/m<sup>3</sup>.

$f'_c$  : Resistencia a la Compresión en kg/cm<sup>2</sup>, Los resultados se presentan en la Tabla N° 20 y N° 21

MEZCLA	HUSO GRANULOMÉTRICO	% VACÍO	% ARENA	CARGA (kg)	Ø (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	FECHA ELABORACIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	F' c (kg/cm <sup>2</sup> )
M1	3/8" - N°8	15%		23750	15	176.71	01/11/2016	08/11/2016	7	134.40
M2	3/8" - N°8	20%	5%	16460	15	176.71	01/11/2016	08/11/2016	7	93.15
M3	3/4" - N°4	15%	10%	22750	15	176.71	04/11/2016	11/11/2016	7	128.74
M4	3/4" - N°4	20%	10%	23710	15	176.71	04/11/2016	11/11/2016	7	134.17
M1	3/8" - N°8	15%		26910	15	176.71	01/11/2016	15/11/2016	14	152.28
M2	3/8" - N°8	20%	5%	26610	15	176.71	01/11/2016	15/11/2016	14	150.59
M3	3/4" - N°4	15%	10%	39290	15	176.71	04/11/2016	18/11/2016	14	222.34
M4	3/4" - N°4	20%	10%	31270	15	176.71	04/11/2016	18/11/2016	14	176.96
M1	3/8" - N°8	15%		39400	15	176.71	01/11/2016	29/11/2016	28	222.96
M2	3/8" - N°8	20%	5%	37850	15	176.71	01/11/2016	29/11/2016	28	214.19
M3	3/4" - N°4	15%	10%	39510	15	176.71	04/11/2016	02/12/2016	28	223.59
M4	3/4" - N°4	20%	10%	33780	15	176.71	04/11/2016	02/12/2016	28	191.16

Tabla 016: Resistencia a la Compresión del Concreto Permeable Cantera Isla (Hormigón)

Fuente: Elaboración Propia

MEZCLA	HUSO GRANULOMÉTRICO	% VACÍO	% ARENA	CARGA (kg)	Ø (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	FECHA ELABORACIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	F' c (kg/cm <sup>2</sup> )
M1	3/8" - N°8	15%		18290	15	176.71	14/11/2016	21/11/2016	7	103.50
M2C	3/8" - N°8	20%	5%	25480	15	176.71	14/11/2016	21/11/2016	7	144.19
M3C	3/4" - N°4	15%	10%	16390	15	176.71	05/11/2016	12/11/2016	7	92.75
M4C	3/4" - N°4	20%	10%	29410	15	176.71	05/11/2016	12/11/2016	7	166.43
M1	3/8" - N°8	15%		25100	15	176.71	14/11/2016	28/11/2016	14	142.04
M2C	3/8" - N°8	20%	5%	23940	15	176.71	14/11/2016	28/11/2016	14	135.48
M3C	3/4" - N°4	15%	10%	27150	15	176.71	05/11/2016	20/11/2016	15	153.64
M4C	3/4" - N°4	20%	10%	25790	15	176.71	05/11/2016	20/11/2016	15	145.95
M1	3/8" - N°8	15%		36550	15	176.71	14/11/2016	12/12/2016	28	206.84
M2C	3/8" - N°8	20%	5%	33180	15	176.71	14/11/2016	12/12/2016	28	187.77
M3C	3/4" - N°4	15%	10%	40080	15	176.71	15/11/2016	12/12/2016	27	226.81
M4C	3/4" - N°4	20%	10%	36340	15	176.71	05/11/2016	03/12/2016	28	205.65

Tabla 017: Resistencia a la Compresión del Concreto Permeable Cantera Cabanillas (Piedra chancada)

Fuente: Elaboración Propia

DESCRIPCIÓN	PORCENTAJE DE VACÍOS	TIEMPO (t) (seg)	ALTURA INICIAL (h1) (cm)	ALTURA FINAL (h2) (cm)	DIÁMETRO MUESTRA (cm)	LONGITUD MUESTRA (cm)	ÁREA DEL TUBO (a) (cm <sup>2</sup> )	ÁREA DE LA MUESTRA (A) (cm <sup>2</sup> )	PERMEABILIDAD (K) (cm/seg)
<b>M1_a</b>	15%	28.53	45	30	10	15	157.08	157.08	0.213
<b>M1_b</b>	15%	29.13	45	30	10	15	157.08	157.08	0.209
<b>M2_a</b>	20%	22.91	45	30	10	15	157.08	157.08	0.265
<b>M2_b</b>	20%	26.50	45	30	10	15	157.08	157.08	0.230
<b>M3_a</b>	15%	19.52	45	30	10	15	157.08	157.08	0.312
<b>M3_b</b>	15%	19.62	45	30	10	15	157.08	157.08	0.310
<b>M4_a</b>	20%	14.95	45	30	10	15	157.08	157.08	0.407
<b>M4_b</b>	20%	14.75	45	30	10	15	157.08	157.08	0.412

Tabla 018: Calculo de la Permeabilidad (K) Cantera Isla (Hormigón)

Fuente: Elaboración Propia



DESCRIPCIÓN	PORCENTAJE DE VACÍOS	TIEMPO (t) (seg)	ALTURA INICIAL (h1) (cm)	ALTURA FINAL (h2) (cm)	DIÁMETRO MUESTRA (cm)	LONGITUD MUESTRA (cm)	ÁREA DEL TUBO (a) (cm <sup>2</sup> )	ÁREA DE LA MUESTRA (A) (cm <sup>2</sup> )	PERMEABILIDAD (K) (cm/seg)
<b>M1C_a</b>	15%	23.71	45	30	10	15	157.08	157.08	0.257
<b>M1C_b</b>	15%	24.97	45	30	10	15	157.08	157.08	0.244
<b>M2C_a</b>	20%	19.00	45	30	10	15	157.08	157.08	0.320
<b>M2C_b</b>	20%	17.47	45	30	10	15	157.08	157.08	0.348
<b>M3C_a</b>	15%	16.22	45	30	10	15	157.08	157.08	0.375
<b>M3C_b</b>	15%	16.44	45	30	10	15	157.08	157.08	0.370
<b>M4C_a</b>	20%	13.12	45	30	10	15	157.08	157.08	0.464
<b>M4C_b</b>	20%	12.93	45	30	10	15	157.08	157.08	0.470

Tabla 019: Calculo de la Permeabilidad (K) Cantera Cabanillas (Piedra chancada)

Fuente: Elaboración Propia

MEZCLA	HUSO GRANULOMÉTRICO	% vacío	% ARENA	Wc (Tn/m3)	F' c, 28d (kg/cm2)	Ec (kg/cm2)
M1	3/8" - N°8	15%	0%	1.8	222.96	153975
M2	3/8" - N°8	20%	5%	1.8	214.19	150916
M3	3/4" - N°4	15%	10%	1.8	223.59	154192
M4	3/4" - N°4	20%	10%	1.8	191.16	142572

Tabla 020: Modulo de Elasticidad del Concreto Permeable Cantera Isla (Hormigón)

Fuente: Elaboración Propia

MEZCLA	HUSO GRANULOMÉTRICO	% vacío	% ARENA	Wc (Tn/m3)	F' c, 28d (kg/cm2)	Ec (kg/cm2)
M1C	3/8" - N°8	15%	0%	1.8	206.84	148304
M2C	3/8" - N°8	20%	5%	1.8	187.77	141302
M3C	3/4" - N°4	15%	10%	1.8	226.81	155299
M4C	3/4" - N°4	20%	10%	1.8	205.65	147877

Tabla 021: Modulo de Elasticidad del Concreto Permeable Cantera Cabanillas (Piedra Chancada)

Fuente: Elaboración Propia

## 5.1.2 Análisis de la Investigación

A continuación se realizará un análisis estadístico de los resultados obtenidos al efectuar los ensayos a las muestras. Se determinó el comportamiento y desempeño del concreto poroso bajo los parámetros objeto de la investigación, y se confirmaron algunos procedimientos y resultados que fueron utilizados como base del trabajo.

### 5.1.2.1 Resistencia a compresión, f'c

De acuerdo con los parámetros dados por las normas utilizadas en este trabajo y a las especificaciones que se han referenciado, podemos evaluar satisfactoriamente nuestros resultados.

Primeramente se presentan los resúmenes de los resultados en la Tabla N° 22 y Tabla N° 23. La mayor resistencia a 28 días de edad que se alcanzó, fue de 226.81 kg/cm<sup>2</sup>. Como era de esperarse a menor porcentaje de vacíos mayor es la resistencia. Los valores se encuentran en el rango esperado para mezclas de concreto permeable (28,5 a 285 kg/cm<sup>2</sup>).

Se puede apreciar en la Tabla N° 22 y Tabla N° 23 La evolución de la resistencia a compresión de los concretos permeables tomando como unidad la resistencia a 28 días, con respecto a 7 días ( $f'c, 7 \text{ días} / f'c, 28 \text{ días}$ ) es menor a 0,70 en caso de las probetas elaboradas con agregados de la cantera ISLA y menor a 0.81 en caso de las probetas elaboradas con agregados de la cantera CABANILLAS, en comparación a 0,65 que generalmente se encuentra en los hormigones convencionales.

MEZCLA	HUSO GRANULOMÉTRICO	% vacío	% ARENA	F' c, 7d (kg/cm <sup>2</sup> )	F' c, 14d (kg/cm <sup>2</sup> )	F' c, 28d (kg/cm <sup>2</sup> )	Fc 7d/Fc 28d (kg/cm <sup>2</sup> )
M1	3/8" - N°8	15%	0%	134.40	152.28	222.96	0.60
M2	3/8" - N°8	20%	5%	93.15	150.59	214.19	0.43
M3	3/4" - N°4	15%	10%	128.74	222.34	223.59	0.58
M4	3/4" - N°4	20%	10%	134.17	176.96	191.16	0.70

Tabla 022: Resumen de la Resistencia a la Compresión Cantera Isla

Fuente: Elaboración Propia

MEZCLA	HUSO GRANULOMÉTRICO	% vacío	% ARENA	F' c, 7d (kg/cm <sup>2</sup> )	F' c, 14d (kg/cm <sup>2</sup> )	F' c, 28d (kg/cm <sup>2</sup> )	Fc 7d/Fc 28d (kg/cm <sup>2</sup> )
M1C	3/8" - N°8	15%	0%	103.50	142.04	206.84	0.50
M2C	3/8" - N°8	20%	5%	144.19	135.48	187.77	0.77
M3C	3/4" - N°4	15%	10%	92.75	153.64	226.81	0.41
M4C	3/4" - N°4	20%	10%	166.43	145.95	205.65	0.81

Tabla 023: Resumen de la Resistencia a la Compresión Cantera Cabanillas

Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia la evolución a diferentes edades del concreto permeable elaborado con agregados de la cantera Isla, comparando las resistencias de las cuatro mezclas elaboradas, notamos que la mezcla M3 alcanzó la mayor resistencia a los 28 días de edad que fue de 223.59 kg/cm<sup>2</sup>. Como era de esperarse a mayor porcentaje de vacíos menor es la resistencia, esto se aprecia claramente en todas las mezclas elaboradas con agregados de la cantera Isla.

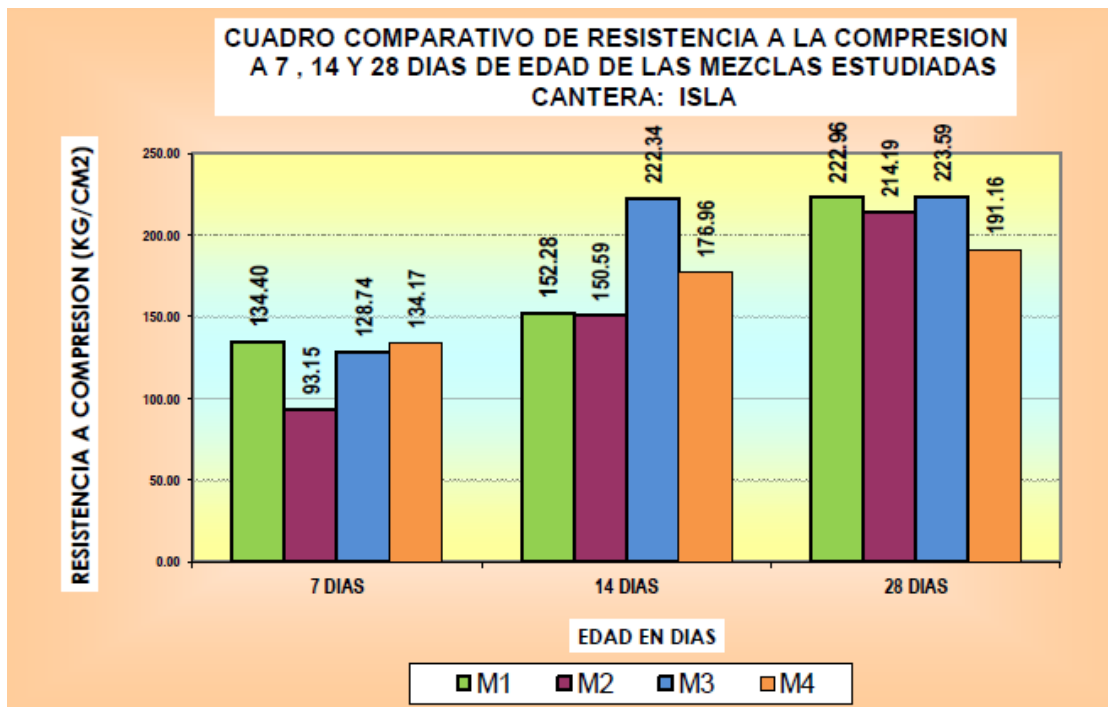


Figura 065: Resistencia a compresión a 7, 14 y 28 días de edad de las mezclas de cantera ISLA.

Fuente: Elaboración Propia

Si analizamos las cuatro dosificaciones, podemos observar la variación de la resistencia a la compresión con referencia a los días de curado y es de destacar, como la evolución a las primeras edades es prácticamente similar para las mezclas M1, M3 y M4, mientras que a partir de los 14 días la dosificación (M1 y M2) muestra poco crecimiento en relación a las otras y a los 28 días se recupera aceleradamente. Este comportamiento es debido al tipo de huso granulométrico que posee y en el caso de la M4 se produce una

lógica caída de la resistencia debido al 20% de contenido que posee en su composición.

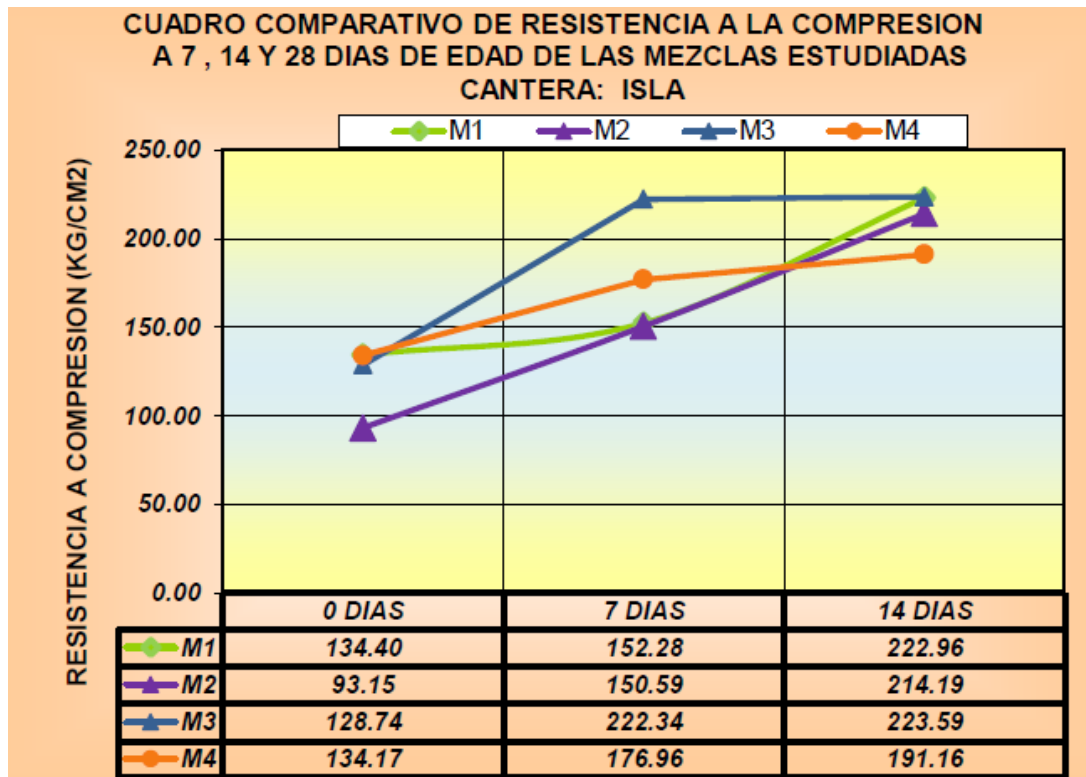


Figura 066: Resistencia a compresión a 7, 14 y 28 días de edad de las mezclas de cantera ISLA.

Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia la evolución a diferentes edades del concreto permeable elaborado con agregados de la cantera Cabanillas, comparando las resistencias de las cuatro mezclas elaboradas, notamos que la mezcla M3C alcanzó la mayor resistencia a los 28 días de edad que fue de 226.81 kg/cm<sup>2</sup>., deduciendo de esta manera que la piedra chancada, quien presenta, un menor porcentaje de vacíos y una mayor superficie de contacto, tiene influencia en la resistencia a la compresión, esto con el huso granulométrico n° 67 (3/4" – n° 4).

Se presentaron diversas variaciones en la resistencia a la compresión (7 y 14 días) de las mezclas M2C y M4C, por lo tanto se presume que hubo errores en la realización de la rotura de la probetas de estas mezclas.

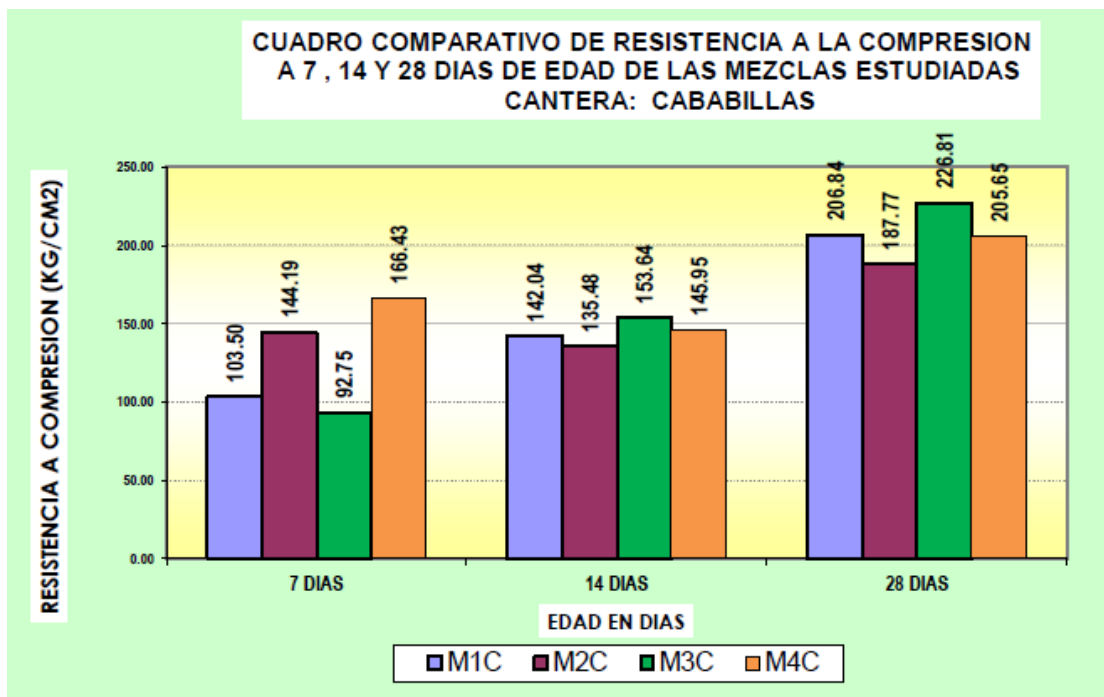


Figura 067: Resistencia a compresión a 7, 14 y 28 días de edad de las mezclas de cantera CABANILLAS.

Fuente: Elaboración Propia

Si analizamos las cuatro dosificaciones, podemos observar la variación de la resistencia a la compresión con referencia a los días de curado y es de destacar, como la evolución a las primeras edades es muy irregular para las mezclas M1C, M2C, M3C y M4C, mientras que a partir de los 14 días todas las dosificaciones muestran un crecimiento muy similar en relación a las otras y a los 28 días todas las dosificaciones muestran una recuperación acelerada. Este comportamiento es debido al tipo de agregado (piedra chancada) y tipo de huso granulométrico que poseen.

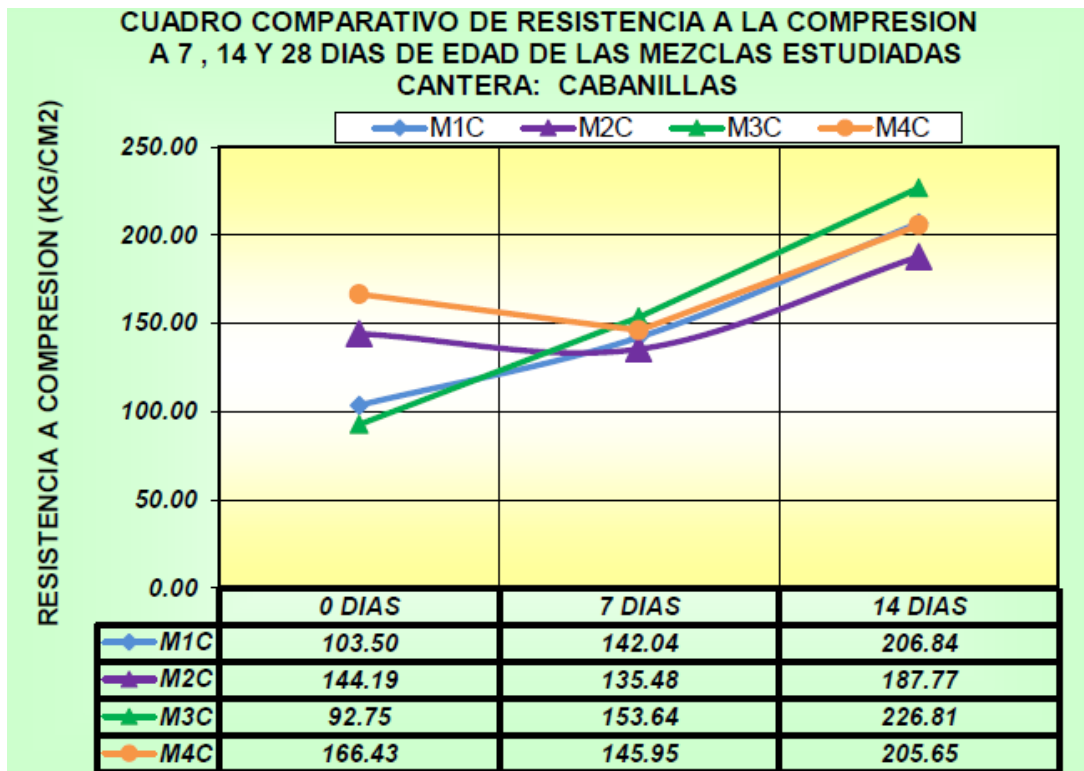


Figura 068: Resistencia a compresión a 7, 14 y 28 días de edad de las mezclas de cantera CABANILLAS.

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente comparando las resistencias de las mezclas M1-M2 Vs. M1C-M2C huso granulométrico N° 8 (3/8" – N°8), como son con diferentes formas y angularidad (textura) del agregados, notamos que el agregado de la cantera ISLA tiene las mejores resistencias a la compresión. Es importante también mencionar que para un mismo porcentaje de vacíos, las dosificaciones del agregado de la cantera Cabanillas requieren menor cantidad de agregados que las dosificaciones con el agregado de la cantera Isla.

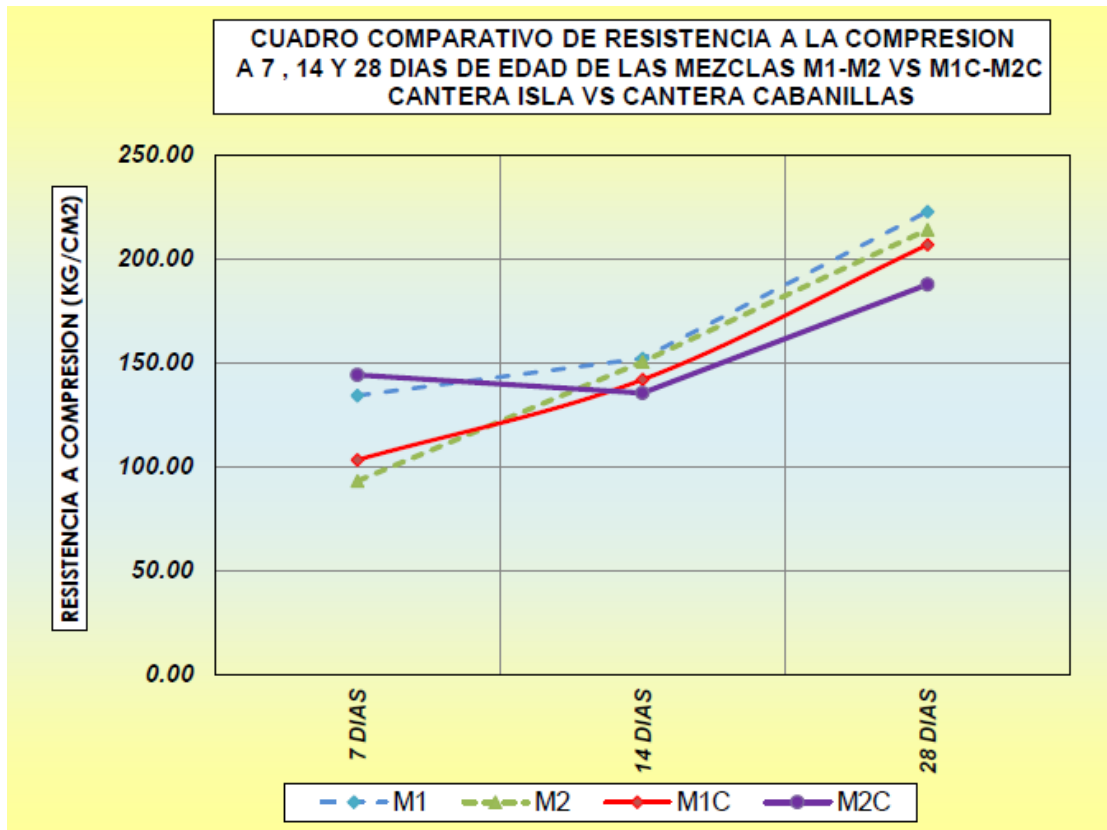


Figura 069: Cuadro Comparativo de Resistencia a la Compresión A 7, 14 y 28 Días de Edad de las Mezclas M1-M2 Vs M1c-M2c, Cantera Isla Vs Cantera Cabanillas

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente comparando las resistencias de las mezclas M3-M4 Vs. M3C-M4C, como son con diferentes tipos y texturas de agregados notamos que el agregado de la cantera CABANILLAS tiene una ligera ventaja en su resistencia a la compresión. Es importante también mencionar que para un mismo porcentaje de vacíos, las dosificaciones del agregado de la cantera Cabanillas requieren menor cantidad de agregados que las dosificaciones con el agregado de la cantera Isla.



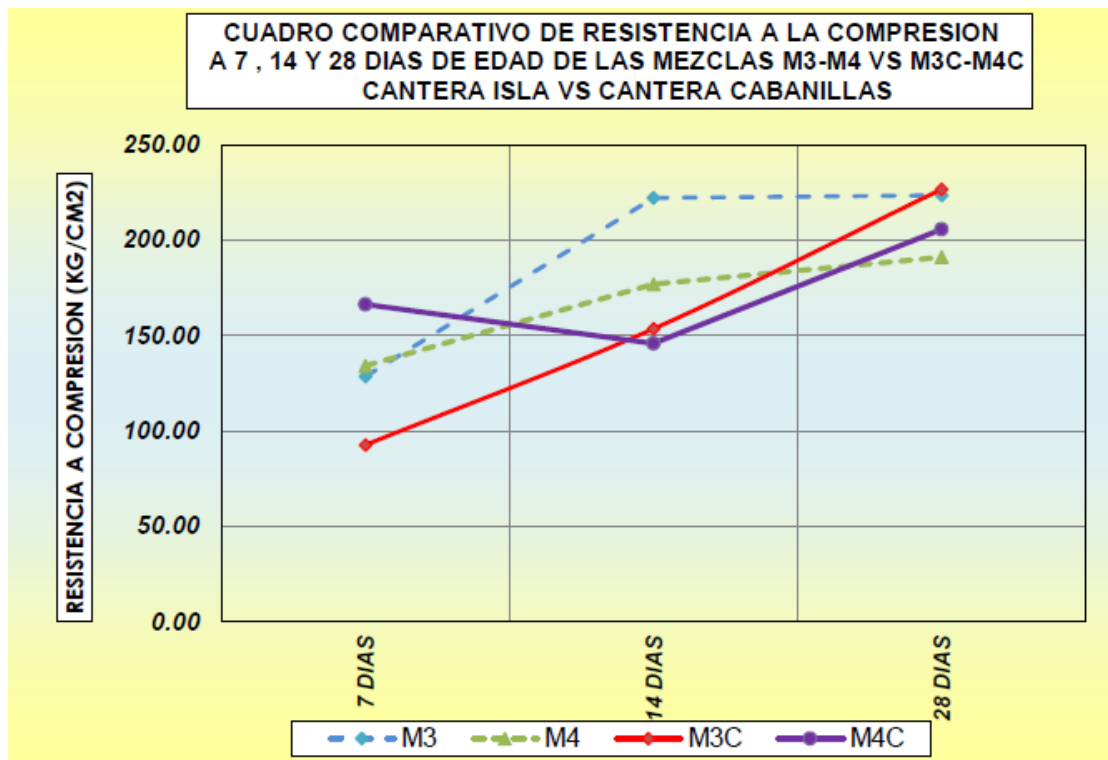


Figura 070: Cuadro Comparativo de Resistencia a la Compresión A 7, 14 y 28 Días de Edad de las Mezclas M3-M4 Vs M3c-M4c, Cantera Isla Vs Cantera Cabanillas

Fuente: Elaboración Propia

Estos resultados nos da una primera aproximación al objetivo de nuestra tesis, “conocer influencia de la granulometría y angularidad de los agregados en las propiedades físico -mecánicas del concreto permeable endurecido”, donde nos muestra que con agregados de la cantera CABANILLAS y empleando el huso granulométrico N°67 en su dosificación se pueden conseguir concretos permeables de buena resistencia, esto debido a que los agregados de la cantera CABANILLAS presentan una mayor superficie de contacto del agregado con la pasta de cemento y por lo tanto se consigue una mayor adherencia entre las partículas mostrando una mayor resistencia mecánica.

Otro de los aspectos importantes a analizar es la influencia del curado en los concretos porosos, respecto a su resistencia a la compresión (Grafico 06) donde nos damos cuenta que ésta es importante ya que el concreto tiene una mayor accesibilidad de la estructura porosa, lo cual facilita las reacciones que se producen acelerando el proceso de endurecimiento en relación con un

concreto normal. Es aquí donde se recomienda realizar nuevos estudios ya que parte de la teoría consultada no considera el curado en los concretos porosos.

### 5.1.2.2 Permeabilidad

La permeabilidad también depende mucho del agua de mezclado que se utiliza porque un exceso de agua nos provocaría que la pasta sea más fluida y taparía los vacíos que se genera entre los agregados y lo inverso la falta de agua de mezclado provocaría un pobre adherencia entre la pasta y el agregado la cual se reflejaría en la baja de la resistencias a tensión y un deterioro del concreto.

La permeabilidad de los cilindros M1, M2, M3 y M4 variaron entre 0.21 – 0.42 cm/s y la permeabilidad de los cilindros M1C, M2C, M3C y M4C variaron entre 0.24 – 0.47 cm/s; los cuales están dentro del rango que normalmente se espera en concretos permeables, por lo que se puede decir que las mezclas cumplen con esta característica para ser considerados como concretos permeables.

Primeramente mostraremos un cuadro resumen de los resultados de las muestras ensayadas, pero en este caso se presentan resultados ya promediados en la Tabla N° 21 y Tabla N° 22.

DESCRIPCIÓN	PORCENTAJE DE VACÍOS	TIEMPO (t) (seg)	ALTURA INICIAL (h1) (cm)	ALTURA FINAL (h2) (cm)	DIÁMETRO MUESTRA (cm)	LONGITUD MUESTRA (cm)	ÁREA DEL TUBO (a) (cm <sup>2</sup> )	ÁREA DE LA MUESTRA (A) (cm <sup>2</sup> )	PERMEABILIDAD (K) (cm/seg)
M1	15%	28.83	45	30	10	15	157.08	157.08	0.211
M2	20%	24.71	45	30	10	15	157.08	157.08	0.246
M3	15%	19.57	45	30	10	15	157.08	157.08	0.311
M4	20%	14.85	45	30	10	15	157.08	157.08	0.410

Tabla 024: Resumen del Cálculo de Permeabilidad (K) Cantera Isla

Fuente: Elaboración Propia

DESCRIPCIÓN	PORCENTAJE DE VACÍOS	TIEMPO (t) (seg)	ALTURA INICIAL (h1) (cm)	ALTURA FINAL (h2) (cm)	DIÁMETRO MUESTRA (cm)	LONGITUD MUESTRA (cm)	ÁREA DEL TUBO (a) (cm <sup>2</sup> )	ÁREA DE LA MUESTRA (A) (cm <sup>2</sup> )	PERMEABILIDAD (K) (cm/seg)
M1C	15%	24.34	45	30	10	15	157.08	157.08	0.250
M2C	20%	18.24	45	30	10	15	157.08	157.08	0.334
M3C	15%	16.33	45	30	10	15	157.08	157.08	0.372
M4C	20%	13.03	45	30	10	15	157.08	157.08	0.467

Tabla 025: Resumen del Cálculo de Permeabilidad (K) Cantera Cabanillas

Fuente: Elaboración Propia

La interpretación en cada muestra ensayada varia de menor a mayor desde el grupo de mezclas 1 (M1 y M1C), mezclas 2 (M2 y M2C), mezclas 3 (M3 y M3C) hasta las mezclas 4 (M4 y M4C). Como era de suponerse las probetas con 20% de vacíos son más permeables que las probetas con 15% de vacíos y se evidencia también que las probetas elaboradas con agregados de la cantera Cabanillas (Piedra chancada) son más permeables que las probetas elaboradas con agregados de la cantera Isla (Canto rodado), se aprecia el cuadro estadístico en el gráfico. N°07.

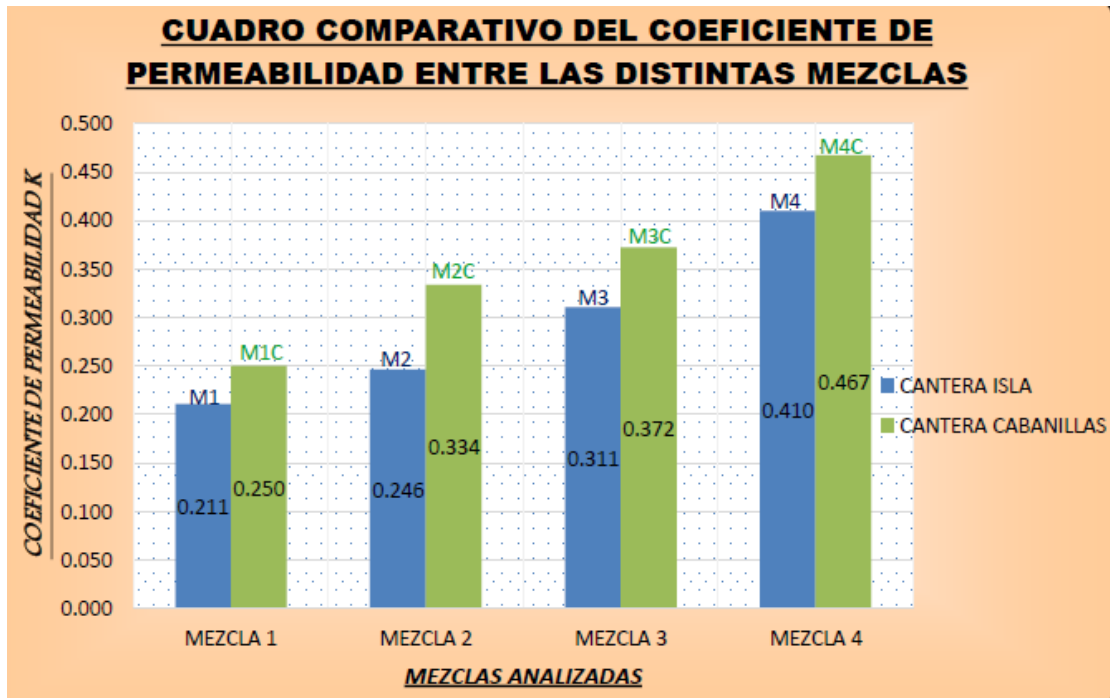


Figura 071: Cuadro Comparativo de Permeabilidades alcanzadas

Fuente: Elaboración Propia

Haciendo una comparación de la permeabilidad del concreto convencional y la del concreto poroso la diferencia es importante ya que el coeficiente de permeabilidad de concreto convencional se encuentra alrededor de  $2 \times 10^{-1}$  y en el concreto poroso entre  $2 \times 10^{-3}$  /  $1 \times 10^{-3}$  para un porcentaje de 15% y 30% de vacíos respectivamente, esto quiere decir, el concreto convencional es casi impermeable y concreto poroso es 100 millones de veces más permeable, gracias a esta propiedad es que este tipo de concreto puede ser utilizado en pavimentos permeable, drenajes, etc.

### 5.1.2.3 Módulo de elasticidad ( $E_c$ )

La prueba del El Módulo de Elasticidad  $E_c$ , se calculó analíticamente a través de la fórmula propuesta por el ACI 318.83.

Se aprecia un cuadro comparativo del módulo de elasticidad alcanzado entre las diferentes grupos de mezclas de concreto permeable elaborado. Notamos que en las mezclas M1 y M2 alcanzaron un mayor módulo de elasticidad a los 28 días de edad en relación con las mezclas M1C y M2C, pero en cambio

las mezclas M3C y M4C alcanzaron un mayor módulo de elasticidad a los 28 días de edad en relación con las mezclas M3 y M3, esto ocurre debido al tipo de huso granulométrico y textura de agregados empleados en sus dosificaciones.

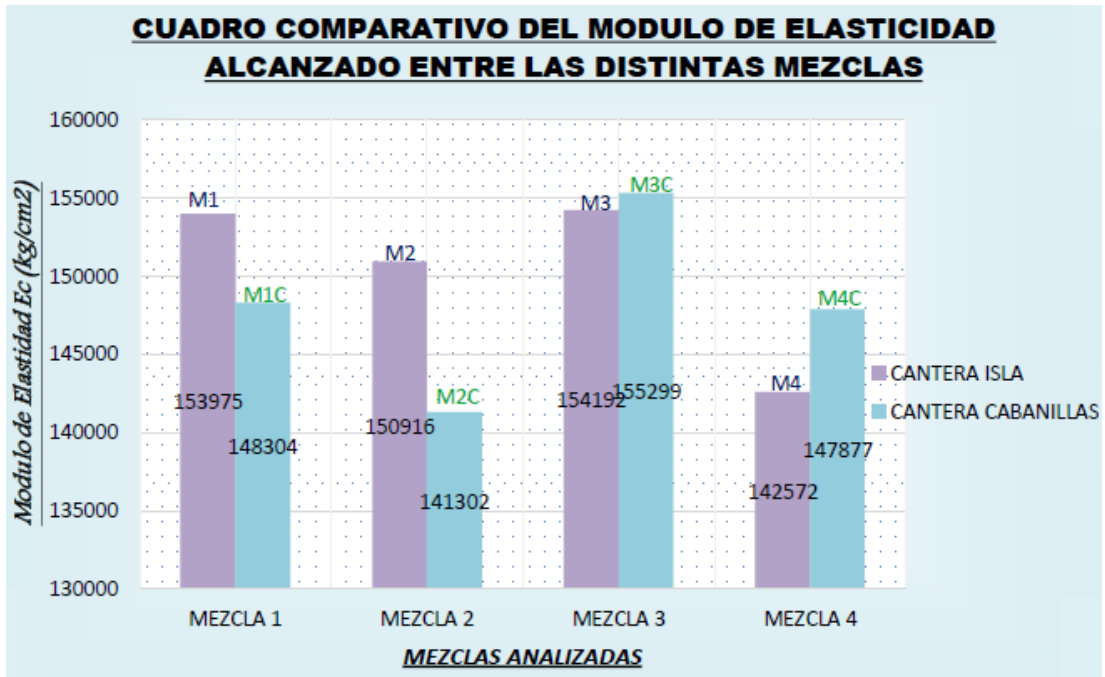


Figura 072: Cuadro Comparativo del módulo de elasticidades alcanzadas

Fuente: Elaboración Propia

## CONCLUSIONES

**PRIMERA:** Se observó que la granulometría influye en la resistencia mecánica y permeabilidad del concreto permeable, lo cual se comprobó empleando un huso granulométrico de mayor tamaño (N° 67 de  $\frac{3}{4}$ "-N° 4) en la dosificación de la mezcla, se obtiene un concreto permeable de buena resistencia mecánica y adecuada permeabilidad, pues a mayor tamaño de agregado mayor es la permeabilidad, se ha obtenido una mayor permeabilidad con mezclas elaboradas con agregados de la cantera Cabanillas (piedra chancada) por que con este agregado no se ha tenido un buen acomodo entre sus partículas durante su elaboración, dejando mayores cavidades vacías en su estructura, esto con relación a las mezclas elaboradas con agregado de Cantera Isla (canto rodado).

Con respecto al huso granulométrico N°8 ( $\frac{3}{8}$ "-N°8) que son agregados de menor tamaño, en donde la permeabilidad es menor, debido también a que los intersticio o espacios vacíos interconectados en su composición es de menor tamaño, razón por la cual la permeabilidad ha sido inferior, en cuanto a la resistencia mecánica, no difiere en gran medida a los resultados obtenidos con el huso granulométrico N° 67. Así mismo se puede verificar que los valores obtenidos de resistencia a la compresión y permeabilidad de todas las mezclas experimentadas se encuentran en el rango esperado para mezclas de concreto permeable (28,5 a 285 kg/cm<sup>2</sup>) y (0.20 a 0.54 cm/seg).

**SEGUNDA:** Se comprobó que a mayor porcentaje de caras fracturadas (angularidad) en los agregados se tendrá un incremento en la resistencia mecánica (resistencia a la compresión y módulo de elasticidad) del concreto permeable endurecido, lo cual se evidencio con los resultados obtenidos en las mezclas M3C y M4C agregados de la Cantera Cabanillas con relación a las mezclas M3 y M4 de la cantera Isla.

Asimismo se evidencio que la forma de los agregados (angularidad) influye en la compactación del concreto al ser colocado, determinándose que los agregados de piedra chancada, necesita mayor energía de compactación en comparación a los agregados de piedra chancada.

De la misma forma se comprobó en los agregados del huso granulométrico N° 8 no es muy perceptible la angularidad del agregado de piedra chancada con relación al canto rodado esto debido al reducido tamaño que presenta.

**TERCERA:** Se demostró que a mayor contenido de vacíos se obtiene un concreto permeable de mayor permeabilidad pero de menor resistencia, así también se evidencio que las mezclas elaboradas con agregados de la cantera Cabanillas (piedra chancada) presentan una mayor permeabilidad en relación a las mezclas elaboradas con agregados de la cantera ISLA esto debido a que como ya se mencionó los agregados de canto rodado muestran mejor acomodo entre sus partículas, dejando espacios u cavidad vacías mínimas en su estructura.

La permeabilidad de las muestras M1, M2, M3 y M4 variaron entre 0.21 – 0.42 cm/s y la permeabilidad de los cilindros M1C, M2C, M3C y M4C variaron entre 0.24 – 0.47 cm/s; los cuales están dentro del rango que normalmente se espera en concretos permeables, por lo que se puede decir que las mezclas cumplen con esta característica para ser considerados como concretos permeables

**CUARTA:** Se evidencio que los agregados que muestran una mayor superficie de contacto con la pasta de cemento, lograran una mayor adherencia y por lo tanto una mejor resistencia mecánica característica que se tuvo con los agregados de Cantera Cabanillas (piedra chancada).

La resistencia a compresión varía de 187 a 226 kg/cm<sup>2</sup>. Este rango de resistencias puede emplearse en variadas aplicaciones, una de ellas para el tránsito vehicular ligero. El módulo de elasticidad promedio fue del orden de 140000 kg/cm<sup>2</sup>

## RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** Se recomienda seguir investigando sobre este tipo de material, ya que como se dijo al principio de esta investigación, posee muchas ventajas y aplicaciones que se pueden desarrollar en nuestra región Puno.

**SEGUNDA:** Para la elaboración del concreto permeable con los agregados de las canteras ya mencionadas, se recomienda emplear las proporciones de mezclas M4C (Cantera Cabanillas) ya que con estas proporciones donde se consigue un punto de equilibrio entre buena resistencia y buena permeabilidad en el concreto permeable.

**TERCERA:** Hubo necesidad de hacer ajustes en el contenido de la pasta, modificando las cantidades de cemento y además fue necesario añadir agregado fino para lograr las propiedades físico-mecánicas deseadas.

**CUARTA:** En cuanto a la manejabilidad del material, se observó que este es muy propenso a la segregación de la pasta, se debe controlar muy bien la preparación de la mezcla y curar la muestra, pasadas las 24 horas como lo indica la norma.

**QUINTA:** Para el parámetro “curado” es recomendable hacer un estudio de tiempos de curado; ya que en algunos textos se refieren a la poca importancia que presenta el curado para alcanzar la resistencia adecuada en este tipo de concreto, lo cual en esta investigación consideramos de mucha importancia para este tipo de concretos.

**SEXTA:** Estudiar el empleo de aditivos, de modo que se pueda verificar la viabilidad técnica y económica de estas soluciones y compararlos con otros concretos producidos.

**SETIMA:** Es evidente la necesidad de continuar con mayor investigación experimental y de campo en esta área de los concretos permeables, con el fin de impulsar el uso de este tipo de concreto y que su aplicación no sea limitada únicamente a senderos, accesos, cunetas, áreas de aparcamiento y de tránsito ligero, sino que pueda extenderse a aplicaciones de tipo estructural.



**OCTAVA:** Se recomienda realizar mayores ensayos para emplearlos en el campo de pavimentos, tales como tramos de prueba para obtener una norma que rijan este tipo de concreto en nuestro país.

## BIBLIOGRAFIA

- Aurelio Salazar Rodríguez (1998). “Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos”, Instituto Mexicano del Cemento y Concreto A.C. México D.F.
- Calixtro Yanqui Murillo (1999). Diseño Estructural de Mezclas de Concreto. Libro de Ponencias - Congreso Nacional de Ingeniería Civil - CONIC XII.
- Carlos Aire Untiveros (2010). Hormigón Permeable, Consideraciones para el diseño de mezclas, diseño de espesor de pavimento y métodos de Prueba. Rev. Técnica Cemento Hormigón
- Catalina M. Florida Concrete and Products Association, FCPA (1990).
- Ferguson, B.K (2005). Porous Pavements: Integrative Studies in Water Management and Land Development. New York: New York.
- H. de Soldimihac, C. Videla, B. Fernandez y J. Castro (2007). Desarrollo de Mezclas de hormigón poroso para pavimentos urbanos permeables. Materiales de Construcción Vol. 57, 287, 23-36. 25.
- Ming Gin Lee – Chui-Te Chiu, Yu- Cheng Kan, Tsong Yen (2009). Experimental Study of Pervious Concrete on Parking lot. Ministry of Transportation and Communications, Taiwan.
- Nor Hasanah Binti Abdul Shukor Lim (2009). Development of porous concrete using crushed concrete (reciclate agregate). University Technology of Malaysia.