

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO PERMEABLE
USANDO AGREGADOS DE LA CANTERA RÍO
JEQUETEPEQUE Y EL ADITIVO CHEMAPLAST**

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

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:
JUAN CARLOS BENITES BUSTAMANTE**

ASESOR

M Cs. Ing. TITO CHILÓN CAMACHO

CAJAMARCA - PERÚ

2014

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto dándome salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi familia que es la base de mi formación, cada uno de ustedes ha aportado grandes cosas a mi vida, siempre están impulsándome a seguir adelante.

Finalmente a mi asesor de tesis MCs. Ing. Tito Chilón Camacho por la orientación y el apoyo que me brindó.

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a Dios y a mis queridos padres quienes han sabido guiarme por el buen camino, darme fuerza para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentan, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

CONTENIDO	
RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Antecedentes teóricos de la investigación.....	3
2.1.2. Antecedentes internacionales	3
2.1.3. Antecedentes nacionales.....	5
2.1.4. Antecedentes locales.....	5
2.2. Bases teóricas	6
2.2.1. Concreto	6
2.2.2. Concreto permeable.....	6
2.2.3. Materiales	7
2.2.4. Criterios para diseño de mezclas de concreto permeable.....	12
2.2.5. Procedimiento de proporcionamiento.....	15
2.2.6. Compactación	17
2.2.6. Curado	18
2.2.7. Resistencia a la compresión.....	18
2.2.8. Permeabilidad	21
2.3. Definición de términos básicos.....	23
2.3.1. Concreto permeable.....	23
2.3.2. Revenimiento.....	23
2.3.3. Resistencia a la compresión.....	23
2.3.4. Permeabilidad	24
2.3.5. Aditivo	24
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA, MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1. Tipo, nivel, diseño y método de la investigación	25

3.1.1. Población de estudio.....	27
3.1.2. Muestra.....	27
3.1.3. Unidad de análisis.....	28
3.1.4. Técnicas e instrumentos de recolección	29
3.1.5. Ubicación geográfica donde se realiza la investigación	29
3.2. Procedimiento.....	30
3.2.1. Materiales a utilizar	30
3.2.2. Equipos a utilizar.....	30
3.2.3. Determinación de las características físicas del agregado.....	31
3.2.4. Cemento.....	36
3.2.5. Agua	36
3.2.6. Aditivo.....	36
3.2.7. Diseño de mezcla.....	39
3.2.8. Mezclado de los materiales.....	43
3.2.9. Vaciado y compactación del concreto en los moldes cilíndricos	43
3.2.10. Curado	44
3.3. Tratamiento y análisis de datos	44
3.3.1. Tratamiento y análisis de datos referentes a la resistencia a la compresión. 44	
3.3.2. Tratamiento y análisis de datos referentes a la permeabilidad.	48
3.3.3. Resumen de datos obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto permeable fabricado.....	49
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	50
4.1. Resistencia a la compresión.....	50
4.1. Permeabilidad	50
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
Conclusiones.....	51
Recomendaciones	51

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
ANEXOS.....	55

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Rangos típicos de las cantidades de los materiales en el concreto permeable (Tennis et al, citado por Pérez 2009).....	13
Tabla 2. Valores efectivos de b/b_0 (ACI 211.3R, citado por Pérez 2009).....	15
Tabla 3. Coordenadas UTM donde se realizará el estudio.....	29
Tabla 4. Coordenadas UTM de la cantera a utilizar.....	29
Tabla 5. Cálculo del peso específico y absorción del agregado (ASTM C 127).....	33
Tabla 6. Peso volumétrico del agregado (ASTM C29).....	35
Tabla 7. Contenido de humedad del agregado.....	36
Tabla 8. Materiales iniciales sin aditivo para 1 m ³ de concreto.....	40
Tabla 9. Nuevas proporciones de materiales sin aditivo para 1 m ³ de concreto.....	41
Tabla 10. Materiales finales para 1 m ³ de concreto.....	43
Tabla 11. Resistencia a la compresión del concreto permeable a los 7 días.....	45
Tabla 12. Resistencia a la compresión del concreto permeable a los 14 días.....	46
Tabla 13. Resistencia a la compresión del concreto permeable a los 28 días.....	47
Tabla 14. Permeabilidad del concreto permeable a los 28 días.....	48
Tabla 15. Datos ordenados de forma creciente de los ensayos de resistencia a la compresión y permeabilidad.....	49
Tabla 16. Resistencias promedios del concreto permeable a los 7, 14 y 28 días.....	50

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. La estructura vacía del concreto permeable permite el paso facil de agua de lluvia. (NRMCA, citado por Pérez 2009).....	6
Figura 2. Muestras de concreto permeable con diferentes cantidades de agua: (a) con poca agua, (b) adecuada cantidad de agua, (c) con demasiada agua. (Tennis et al, citado por Pérez 2009).....	14
Figura 3. Permeámetros de carga constante típico (a) y utilizando un recipiente amplio (b).	22
Figura 4. Vista satelital de la cantera río Jequetepeque – Chilete.	30

CONTENIDO DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Relación entre el contenido de vacíos y el contenido de pasta para agregado N° 8 (3/8”) (ACI 211.3R, citado por Pérez 2009).	17
Gráfica 2. Resistencia a la compresión a los 7 días.....	45
Gráfica 3. Resistencia a la compresión a los 14 días.....	46
Gráfica 4. Resistencia a la compresión a los 28 días.....	47
Gráfica 5. Permeabilidad del concreto medida a los 28 días.....	48
Gráfica 6. Resumen de resistencias a compresión del concreto permeable obtenidos a los 7, 14 y 28 días.....	49

RESUMEN

La no aplicación de la tecnología del concreto permeable en la ciudad de Cajamarca para revestimiento de superficies sometidas a un bajo esfuerzo como respuesta ecológica a la impermeabilización del suelo y sus consecuencias negativas, conlleva a que se desconozca sobre si dicho concreto elaborado con materiales propios cumplen con los valores establecidos en la definición que le da la norma del Instituto Americano del Concreto (ACI). Este desconocimiento puede ser uno de los factores que conllevan a la nula aplicación de este tipo de concreto para combatir el aumento de la escorrentía superficial que produce: contaminación, colapso de sistemas de drenaje pluvial, inundaciones, entre otros. En la presente investigación se busca comparar si la resistencia y permeabilidad del concreto elaborado con materiales de Cajamarca se encuentran dentro del rango definido por la norma antes mencionada. El experimento ha consistido en diseñar una mezcla utilizando el valor medio del rango recomendado de la relación agua - cemento, con un porcentaje de vacíos del 20% que es adecuado según la literatura y con el valor medio de un aditivo tipo A según su hoja técnica. A continuación en laboratorio, siguiendo los procedimientos de la literatura se han moldeado y curado probetas para luego de 7, 14 y 28 días ensayarlas a compresión y permeabilidad obteniendo resultados donde la resistencia promedio es de 6.030 MPa, 7.148 MPa y 7.556 MPa respectivamente siendo baja pero que está dentro del rango de 2.8 MPa a 28 MPa que especifica la norma ACI 522R-10 y la permeabilidad medida a través de su coeficiente de permeabilidad promedio es de 0.321 cm/s que está dentro del rango de 0.2 cm/s a 0.54 cm/s que también establece la norma antes mencionada.

Palabras Clave: Concreto permeable, resistencia a la compresión, permeabilidad, Aditivo.

ABSTRACT

The non-application of the pervious concrete technology in the city of Cajamarca for surface coating under low stress as an ecological response to soil sealing and its negative consequences , this leads to is not known whether that particular made with materials comply with the values set in the definition that gives the norm of American Concrete Institute (ACI). This ignorance would be one of the factors that lead to not implementation of this type of concrete to combat increased surface runoff that produces: pollution, collapse of storm sewers, flood, among others. The present investigation seeks to compare if the strength and concrete permeability made with materials of Cajamarca are within the range defined by the above standard. The experiment has been to design a mixture using the average value of the recommended range of the ratio water - cement, with a percentage of voids of 20% which is suitable according to the literature and to the average value of an additive type by its datasheet. Then in laboratory, following the literature procedures, there have been molding and curing test specimens that after 7, 14 and 28 days compressive and permeability test them getting results where the average strength is 6,030 MPa and 7.556 MPa respectively 7.148MPa still low but is within the range of 2.8 MPa to 28 MPa which specifies the standard ACI 522R -10 and permeability measured by its average permeability coefficient is 0.321 cm / s is within the range of 0.2 cm/s to 0.54 cm /s which also provides the above standard.

Keywords: pervious concrete, compressive strength, permeability, Additive.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El incremento de la población junto con la urbanización ha creado problemas sin precedentes en las ciudades del mundo, dentro de ellos la escasez de agua, problema que se incrementa debido a que las urbanizaciones requieren de construcciones que impermeabilizan grandes superficies de terreno produciendo una pérdida de grandes cantidades de agua de lluvia aumentando la escorrentía superficial pues dicha agua ya no se infiltra en el terreno y es arrojada incluso sin tratamiento a los cauces naturales produciendo contaminación y muchas veces inundaciones en los sectores bajos.

Muchos países como EEUU, México, Inglaterra, Francia, Japón, entre otros han optado por medidas correctivas para evitar el aumento de la escorrentía superficial mediante la tecnología de concreto permeable aplicado en pavimentos, veredas, calles peatonales, parques, es decir en toda superficie que sea posible, consiguiendo buenos resultados ya que el agua de lluvia no solo puede infiltrarse en el suelo natural sino que mediante tuberías o geomembranas el agua de lluvia puede ser dirigida a almacenes temporales donde se le puede dar un tratamiento para evitar contaminar y luego de pasada la tormenta arrojar el agua a los cauces naturales o incluso utilizar el agua por ejemplo en regar jardines, en industria, etc.

El Perú no es ajeno al fenómeno de impermeabilización de suelos, podemos observarlo durante épocas de lluvia en la ciudad de Cajamarca, donde no existe una aplicación de la tecnología del concreto permeable anteriormente mencionado lo que conlleva a la pregunta ¿Están dentro de los valores establecido en la definición de la norma ACI 522R-10 las características físicas y mecánicas de permeabilidad y resistencia a la compresión del concreto permeable elaborado con agregados propios como por ejemplo de la cantera río Jequetepeque y el aditivo Chemaplast?, teniendo en cuenta que Cajamarca cuenta con buenos agregados para elaborar concreto, es necesario saber si con ellos se puede elaborar concreto permeable que tiene características ecológicas y aun cuando se elabora con los mismos materiales que para un concreto convencional difiere de este en su diseño, elaboración y en que no usa agregado fino o si lo hace es en una pequeña cantidad.

Por todo lo expuesto se justifica la realización de la presente investigación, considerando que la ingeniería debe estar orientada a la aplicación de tecnologías ecológicas como el

concreto permeable que busca que los proyectos sean sostenibles y no generen un impacto ambiental negativo.

En la presente investigación se elaboró el concreto permeable utilizando cemento Portland tipo I, agua potable, piedra chancada de 3/8" de la cantera río Jequetepeque en Chilete sin agregado fino y el aditivo tipo A de la marca Chema denominado Chemaplast; las características físicas y mecánicas a investigadas han sido su permeabilidad y resistencia a la compresión.

Los objetivos que se desea alcanzar con la presente investigación son determinar si las propiedades de permeabilidad y resistencia a la compresión del concreto permeable elaborado con agregados propios de Cajamarca como son los de la cantera río Jequetepeque ubicada en Chilete y un aditivo tipo A están dentro del rango de valores que considera la definición que da la norma ACI a dicho concreto permeable. A continuación en los siguientes capítulos expondremos toda la información y resultados obtenidos esta investigación.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes teóricos de la investigación

2.1.2. Antecedentes internacionales

Los primeros usos reconocidos del concreto permeable se dieron en Europa en el siglo XIX. Sin embargo sus aplicaciones crecieron especialmente al concluir la Segunda Guerra Mundial, como una respuesta ante la necesidad de reconstruir edificaciones y carreteras con medios limitados. La escasez de materiales, así como el alto costo de estos y su transporte, dieron paso a la utilización de un concreto sin finos que disminuía los contenidos de cemento (pasta) en las mezclas y permitía reciclar escombros. La investigación de este concreto en Costa Rica sobre el diseño de mezclas de concreto permeable utilizando agregados de río y cerro para luego someterla a ensayos de compresión uniaxial y de permeabilidad obtuvieron como resultados que ambas propiedades tienen una relación inversa pues por lo general las variables que afectan de manera positiva la resistencia lo hacen de forma negativa con la permeabilidad. (Fernández y Navas 2011)

Para demostrar la efectividad del concreto permeable, se soltaron 6815 litros de agua en un pavimento en USA, lo que excedía la lluvia más pesada posible, y se halló que el agua drenó con efectividad sin fuga (Chusid y Paris, citado por Subramanian 2009)

El concreto permeable tiene 15-25% de estructura vacía, lo que permite el paso de 120-320 litros de agua a través de cada metro cuadrado, con una tasa de flujo típica de 3.4 mm/s (200L/m²/min) o más. Esta tasa de flujo es mayor que el generado durante cualquier evento de lluvia, lo que permite al agua fluir a través de este. Por lo tanto, cuando se usan pavimentos de concreto permeable, el agua de lluvia se filtra al suelo debajo, recargando la capa freática natural en lugar de fugarse y causar erosión. El primer raudal de una tormenta (los primeros 25 mm a 35 mm de agua de lluvia) se lleva el 90 por ciento de contaminantes encontrados en el pavimento, los cuales pueden contaminar corrientes y ríos, puesto que normalmente se les permite fluir a las vías fluviales sin tratamiento previo. (Subramanian 2009).

En Paraguay se realizó un estudio sobre concreto poroso utilizando como agregado piedra triturada, y para el diseño de mezclas utilizó el rango que recomienda la norma ACI 522R-06 sobre la relación agua - cemento y agregado grueso - cemento, además para la elaboración de las muestras se elaboraron losetas de concreto permeable de las cuales se extra extrajeron las probetas que luego se sometieron a los ensayos de laboratorio determinando así la resistencia y permeabilidad del concreto, como conclusiones obtuvo que dichos valores cumplen con lo referido en la norma ACI. (Gustavo 2013)

En la Universidad Autónoma de México UNAM, ha realizado estudios de investigación sobre el concreto permeable así por ejemplo el estudio experimental que consistió en realizar todos los ensayos básicos de laboratorio para determinar las propiedades del concreto permeable en estado fresco y endurecido, para ello eligió como variables independientes para el diseño de mezclas la relación agua - material cementante y el porcentaje de vacíos. (Pérez 2009).

También hemos encontrado referida a caracterizar al concreto permeable mediante parámetros mecanicistas como el módulo de ruptura y el porcentaje de desgaste para estar en condiciones de diseñar mezclas de concreto permeable óptimas para pavimentos urbanos, para ello utilizó tres tipos de mezcla, en la primera no usó ningún tipo de aditivo usándola como punto de comparación para ver cuánto influye el usar o no aditivo, en la segunda y tercera mezcla usó látex aniónico HM y microfibra de polipropileno respectivamente que son aditivos que en el concreto tradicional mejoran el módulo de ruptura y con estos fabricó cinco mezclas variando solo la cantidad de cemento, obteniendo mejores resultados en aquellas probetas en que se utilizó aditivos y recomendando usar ciertas mezclas para usarlas en áreas de tráfico peatonal respecto a los resultados obtenidos de su módulo de ruptura. (Flores 2010)

En artículos científicos se han estudiado las dosificaciones para pavimentos de hormigón poroso, utilizando como variables independientes para el diseño de mezclas el porcentaje real de vacíos fijando tres valores y la relación agua - cemento fijando seis valores, además se utilizó solo agregado grueso de tamaño máximo nominal de 10 mm granulometría N° 8 según la norma ASTM C33. Se elaboraron losetas de concreto permeable y de ellas se extrajeron las probetas para los ensayos de laboratorio. En dicha investigación se presentó la deducción de ecuaciones que permiten dosificar mezclas de

hormigón permeable basado en el requerimiento del porcentaje interconectado de vacíos en la mezcla endurecida, asimismo a partir de sus resultados nos recomiendan utilizar razones de agua - material cementante ω/c entre 0.35 y 0.38. (Castro *et al.* 2009)

2.1.3. Antecedentes nacionales

En Perú encontramos el boletín informativo de la Asociación de Productores de Cemento ASOCEM referido a la investigación del concreto poroso o permeable en Arequipa por Calderón Colca, YM; Charca Chura, J.A alumnos de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, en esta investigación se aborda el estudio del concreto permeable para su aplicación en la construcción y la influencia de parámetros como la forma de los agregados, granulometría de los agregados, porcentaje de vacíos y la permeabilidad. Para el diseño de sus mezclas siguen las recomendaciones de la norma ACI - 211.3R, 2000 eligiendo tres diseños de mezclas con tres diferente contenido de vacíos y manteniendo constante la relación agua - cemento, además se utilizaron tres diferentes tipos de agregado grueso redondeado, angular y reciclado. Sus resultados fueron que las mezclas elaboradas con agregado angular presentan mayor permeabilidad para un mismo porcentaje de vacíos, pero que necesita de más pasta y por ello también muestra mayor resistencia. (Calderón *et al.* 2013)

2.1.4. Antecedentes locales

En la Universidad Nacional de Cajamarca UNC encontramos la tesis titulada “Diseño de Mezcla de Concreto Poroso con Agregados de la Cantera Victoria, Cemento Portland tipo I con adiciones de Tiras de Plástico, y su Aplicación en Pavimentos, en la ciudad de Cajamarca” de los alumnos Azañedo M., Juanito C. y Valdivia M. Que diseñaron la mezcla mediante el método del Comité 211 3R – 97, obteniendo como resultados que con el uso de cemento Sol tipo I se obtienen resistencias ligeramente mayores que con el cemento Pacasmayo Tipo I mejorado, que las mayores resistencias a compresión y a flexión de concreto poroso se obtienen con mezclas que contienen aditivo reductor de agua.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Concreto

El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesto de cemento Portland y agua, une a los agregados (arena y grava o piedra triturada), para formar una masa semejante a una roca ya que la pasta endurece debido a la reacción química entre el cemento y el agua. (Polanco 2012)

2.2.2. Concreto permeable

Es un material de estructura abierta con revenimiento cero, compuesto por cemento Portland, agregado grueso, poco o nada de finos, aditivo y agua. La combinación de estos ingredientes produce un material endurecido con poros interconectados, cuyos tamaños varían de 2 a 8 mm lo que permite el paso del agua. El contenido de vacíos puede variar de 18 a 35% con resistencia a la compresión típica de 2.8 a 28 MPa. Su capacidad de drenaje depende del tamaño del agregado y de la densidad de la mezcla, pero generalmente varía en el rango de 81 a 730 l/min/m² lo que equivale a un factor de permeabilidad comprendido entre 0.2 a 0.54 cm/s. (ACI 522R-10, citado por Pérez 2009)

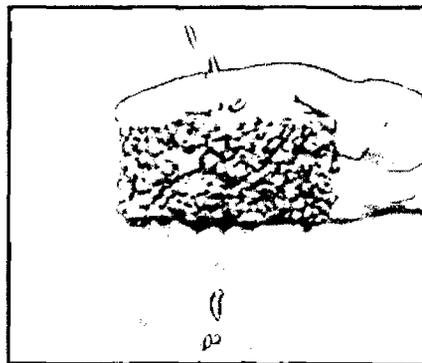


Figura 1. La estructura vacía del concreto permeable permite el paso fácil de agua de lluvia. (NRMCA, citado por Pérez 2009).

Según la literatura existente, las mezclas permeables deben tener como mínimo un 15% de vacíos. Sin embargo, también es muy importante la tasa de infiltración de las mezclas. Las mismas investigaciones permiten establecer que asociado a un 15% de huecos se encuentra una tasa de infiltración cercana a 0.35 cm/s. Adicionalmente, las mezclas con

un contenido de huecos entre 15 y 20% permiten obtener mezclas con una adecuada resistencia y permeabilidad (Meininger, citado por Pérez 2009).

2.2.3. Materiales

Los agregados generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos. Los agregados finos consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que pueden llegar hasta 10 mm; los agregados gruesos son aquellos cuyas partículas se retienen en la malla No. 16 y pueden variar hasta 152 mm. El tamaño máximo del agregado que se emplea comúnmente es el de 19 mm o el de 25 mm. (Polanco 2012)

La pasta está compuesta de cemento Portland, agua y aire atrapado o aire incluido intencionalmente. Ordinariamente, la pasta constituye del 25 al 40 por ciento del volumen total del concreto. (Polanco 2012)

El concreto permeable usa los mismos materiales que el concreto convencional, con las excepciones que el agregado fino normalmente se elimina casi por completo, y la distribución del tamaño del agregado grueso se mantiene uniforme. (Pérez 2009)

2.2.3.1. Materiales cementantes

El cemento Portland es un producto comercial de fácil adquisición el cual se mezcla con agua, ya sea sólo o en combinación con arena, piedra u otros materiales similares, tiene la propiedad de combinarse lentamente con el agua hasta formar una masa endurecida. Esencialmente es un clinker finamente pulverizado, producido por la cocción a elevadas temperaturas, de mezclas que contiene cal, alúmina, fierro y sílice en proporciones, previamente establecidas, para lograr las propiedades deseadas. (Polanco 2012)

El cemento Portland que satisface las normas ASTM C150, C595, o C1157, se usa como el aglomerante principal. También pueden usarse materiales suplementarios como la ceniza volante, el cemento de escoria, y el humo de sílice, los cuales deben de satisfacer los requisitos de las normas ASTM C618, C989, y C1240, respectivamente (ACI 522, 2006). Una mayor dosis de cemento generará un concreto más resistente, pero demasiado cemento disminuirá el porcentaje de vacíos interconectados en el concreto, perdiendo esta su capacidad de infiltración (De Solminihac et al, citado por Pérez 2009).

Es recomendable utilizar una cantidad que fluctúe entre los 270 a 415 kg/m³, según requisitos de resistencia y permeabilidad (Tennis et al, citado por Pérez 2009).

2.2.3.2. Agua

Casi cualquier agua natural que sea potable y que no tenga un sabor u olor pronunciado, se puede utilizar para producir concreto. Las impurezas excesivas en el agua no sólo pueden afectar el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto, sino también pueden ser causa de eflorescencia, manchado, corrosión del esfuerzo, inestabilidad volumétrica y una menor durabilidad. El agua que contiene menos de 2,000 partes por millón (ppm) de sólidos disueltos totales generalmente puede ser utilizada de manera satisfactoria para elaborar concreto. (Polanco 2012).

Carbonatos y bicarbonatos alcalinos.- Los carbonatos y bicarbonatos de sodio y potasio tiene diferentes efectos en los tiempos de fraguado de cementos distintos. El carbonato de sodio puede causar fraguados muy rápidos, en tanto que los bicarbonatos pueden acelerar o retardar el fraguado. En concentraciones fuertes estas sales pueden reducir de manera significativa la resistencia del concreto. Cuando la suma de sales disueltas exceda 1,000 ppm, se deberán realizar pruebas para analizar su efecto sobre el tiempo de fraguado y sobre la resistencia a los 28 días. También se deberá considerar la posibilidad que se presenten reacciones álcali-agregado graves. (Polanco 2012).

Cloruros.- La inquietud respecto a un elevado contenido de cloruros en el agua de mezclado, se debe principalmente al posible efecto adverso que los iones de cloruro pudieran tener en la corrosión del acero de refuerzo, o de los torones de presfuerzo. Los iones cloruro atacan la capa de óxido protectora formada en el acero por el medio químico altamente alcalino (pH 12.5) presente en el concreto. El nivel de iones cloruro solubles en el agua en el cual la corrosión del acero de refuerzo comienza en el concreto es de aproximadamente 0.15% del peso del cemento. Del contenido total de ión cloruro en el concreto, sólo es soluble en el agua aproximadamente del 50% al 85%: el resto se combina químicamente en reacciones del cemento. El Reglamento de construcción del American Concrete Institute, ACI 318, limita el contenido de ión cloruro soluble al agua en el concreto, a los siguientes porcentajes en peso del cemento: (Polanco 2012).

- Concreto presforzado. 0.06%

- Concreto reforzado expuesto a cloruros durante su servicio. 0.15%
- Concreto reforzado que vaya a estar seco protegido contra la humedad durante su servicio. 1.00%
- Otras construcciones de concreto reforzado. 0.30%

Sulfatos.- El interés respecto a un elevado contenido de sulfatos en el agua, se debe a las posibles reacciones expansivas y al deterioro por ataque de sulfatos, especialmente en aquellos lugares donde el concreto vaya a quedar expuesto a suelos o agua con contenidos elevados de sulfatos. Aunque se han empleado satisfactoriamente aguas que contenían 10,000 ppm de sulfato de sodio, el límite del producto químico sulfato, como SO₄, de 3,000 ppm, se deberá respetar a menos que se tomen precauciones especiales. (Polanco 2012).

La calidad del agua para el concreto permeable está gobernada por los mismos requisitos que para el concreto convencional, en el ACI 301. Como una norma general, el agua que es potable es adecuada para usarla en el concreto. (Pérez 2009).

2.2.3.3. Agregados¹

Los agregados, conformados por las arenas (agregado fino) y las gravas (agregado grueso), constituyen más del 70% en una mezcla para la elaboración del hormigón u concreto, material estructural y de construcción por excelencia. Se conocen también como áridos, expresión utilizada para definir un material que no debe tener reacción química de ningún tipo con el cementante, el agua o con otros aditivos naturales o químicos; sin embargo, el fenómeno de la reacción álcalis agregado descubierta muchos años atrás, muestra que esta pasividad no es tan evidente. (González 2008)

El concreto permeable no contiene agregado fino, o tal vez muy poco; y el agregado grueso utilizado debe ser de tamaño uniforme. Comúnmente las granulometrías de agregado grueso utilizadas deben de cumplir con la norma ASTM C33, estas son: No. 67

¹ El agregado que hemos utilizado en esta investigación es agregado grueso de 3/8" sin agregado fino.

(3/4" a No. 4), No. 8 (3/8" a No. 16), o No. 89 (3/8" a No. 50). La norma ASTM D448 también puede ser usada para definir las granulometrías. (Pérez 2009).

Las granulometrías del agregado usadas en el concreto permeable generalmente son, ya sea de agregado grueso de un solo tamaño o granulometría de entre 3/4" y 3/8" de pulgada (19 y 9.5 mm). Los agregados redondeados y triturados, tanto los normales como los de peso ligero, han sido usados para hacer concreto permeable y deben satisfacer los requisitos de ASTM D448 y C33. En general, los agregados finos no deben ser usados en mezclas de concreto permeable, ya que ellos tienden a comprometer la capacidad de conexión del sistema de poros. (Pérez 2009).

En el concreto permeable, a diferencia del concreto convencional, la cantidad de pasta es limitada y por esta razón, la resistencia depende de los contactos entre los agregados. Estos contactos se pueden obtener usando agregados lisos y redondeados de río. Estos agregados, por su forma y textura, disminuyen la cantidad de vacíos en comparación con las mezclas que utilizan agregados angulosos y rugosos. Las resistencias aumentan, ya que existe un menor contenido de vacíos en el material y esto genera trabazón entre las partículas. (Crouch *et al*, citado por Fernández y Navas 2011)

En el caso de la permeabilidad, no existen diferencias importantes entre el uso de agregados de forma redondeada o angulosa. Granulometrías más uniformes y de tamaño máximo menor sí disminuyen la permeabilidad del concreto poroso, pero que su efecto no es tan pronunciado como la ganancia en resistencia que se obtiene. (Crouch *et al*, citado por Fernández y Navas 2011).

2.2.3.3.1. Agregado grueso

El agregado grueso es aquel material proveniente de la desintegración natural o mecánica de la roca y queda retenido en el tamiz N° 4 (4.76 mm). (Lezama 1996)

Los agregados gruesos consisten en una grava o una combinación de gravas o agregado triturado cuyas partículas sean predominantemente mayores que 5 mm y generalmente entre 9.5 mm y 38 mm. Los agregados gruesos deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y de otros materiales

finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables. (Polanco 2012).

2.2.3.3.2. Agregado fino

Proviene de la desintegración natural o artificial de las rocas, estos agregados deben pasar por el tamiz 3/8" y quedar retenidos en la malla N° 200 (Lezama 1996).

Los agregados finos comúnmente consisten en arena natural o piedra triturada siendo la mayoría de sus partículas menores que 5 mm. Los agregados finos deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y de otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables. (Polanco 2012).

El concreto permeable no contiene agregado fino, o tal vez muy poco; y el agregado grueso utilizado debe ser de tamaño uniforme. Comúnmente las granulometrías de agregado grueso utilizadas deben de cumplir con la norma ASTM C33, estas son: No. 67 (3/4" a No. 4), No. 8 (3/8" a No. 16), o No. 89 (3/8" a No. 50). La norma ASTM D448 también puede ser usada para definir las granulometrías. (Pérez 2009).

2.2.3.4. Aditivos

Material que no siendo agua, agregado, cemento hidráulico, o fibra de refuerzo, es empleado como un ingrediente del mortero o concreto, y es añadido a la tanda inmediatamente antes o durante su mezclado. Los aditivos son utilizados como componentes del concreto o mortero a fin de modificar una o varias propiedades con el objetivo que sea adecuado al trabajo realizado, facilitar su colocación y reducir costos de operación. (ASTM C494).

Los aditivos son usados en concretos permeables para obtener propiedades especiales, como en el concreto convencional. Los aditivos deben de satisfacer los requisitos de la ASTM C494. Los aditivos reductores de agua (de mediano a alto rango) se usan dependiendo de la relación a/c. Los aditivos retardadores se usan para estabilizar y

controlar la hidratación del cemento. Con frecuencia se prefieren los aditivos retardadores cuando se está tratando con mezclas rígidas, tales como concreto permeable, especialmente en aplicaciones en clima cálido. Los aditivos retardadores pueden actuar como lubricantes para ayudar a descargar el concreto desde una mezcladora, y pueden mejorar el manejo y las características de desempeño en el lugar. Los aceleradores pueden utilizarse cuando se están colocando concretos permeables en clima frío. Los aditivos inclusores de aire no se han usado comúnmente en concreto permeables, pero pueden utilizarse en ambientes susceptibles de congelación y deshielo. Sin embargo, no existe un método confiable para cuantificar el volumen de aire incluido en estos materiales. (Pérez 2009).

2.2.4. Criterios para diseño de mezclas de concreto permeable

El procedimiento de diseño del concreto poroso o permeable difiere mucho con relación al concreto convencional ya que este se basa en la relación agua/ cemento o la resistencia del concreto, en cambio en el concreto permeable lo más importante es el porcentaje de vacíos y el volumen de pasta, ya que el porcentaje de vacíos determinara la velocidad de infiltración en consecuencia la permeabilidad del concreto poroso, en cambio el volumen de pasta asegura la adherencia entre las partículas del agregado grueso. (Colca *et al*, 2013)

El concreto permeable no se especifica o acepta en base a la resistencia, un punto aún más importante para el éxito por ejemplo de un pavimento permeable es el contenido de vacíos. La aceptación se basa normalmente en la densidad (peso unitario) del pavimento en el sitio. Una tolerancia aceptable es de más o menos 5 lb/cu.ft. (80 kg/m³) de la densidad de diseño. Esto debe ser verificado a través de mediciones de campo. La densidad fresca del concreto permeable se mide utilizando el método “jigging” descrito en la norma ASTM C 29. (NRMCA CIP 38 s.f.)

Se ha encontrado como aceptable un amplio rango de valores de cemento, dependiendo de la aplicación específica. Los aditivos químicos, además de afectar la relación a/c, se usan para influir en la trabajabilidad y los tiempos de fraguado, para mejorar las varias características del concreto permeable, y para mejorar la durabilidad a largo plazo. (Pérez *et al*, 2009)

Tabla 1. Rangos típicos de las cantidades de los materiales en el concreto permeable
(Tennis et al, citado por Pérez 2009).

Parámetro	Rango
Materiales cementantes, kg/m ³	270 a 415
Agregado, kg/m ³	1190 a 1480
Relación agua - cemento, en peso	0.26 a 0.45
Relación agregado - cemento, en peso	4 a 4.5:1
Relación agregado fino - agregado grueso, en peso	0 a 1:1

2.2.4.1. Relación agua - cemento (a/c)

En la relación agua/cemento, la importancia del agua resulta de gran magnitud, ya que ella y su relación con el cemento están altamente ligados a una gran cantidad de propiedades del material final que se obtendrá, en donde usualmente conforme más agua se adicione, aumenta la fluidez de la mezcla y, por lo tanto, su trabajabilidad y plasticidad, lo cual presenta grandes beneficios para la mano de obra; no obstante, también comienza a disminuir la resistencia debido al mayor volumen de espacios creados por el agua libre. (Guevara *et al* 2011).

En el concreto permeable la dosis de agua utilizada tiene una gran repercusión en las propiedades de la mezcla. Utilizando una cantidad insuficiente de agua dará como resultado una mezcla sin consistencia y con una baja resistencia. Una cantidad excesiva de agua, generará una pasta que sellará los vacíos de la mezcla y que, además, lavará el cemento dejando expuesto al agregado, produciendo una baja resistencia al desgaste superficial. Se supone que la trabajabilidad del concreto permeable es satisfactoria si se usa suficiente agua de mezclado para impartir a la mezcla una apariencia de un metal mojado. Al comprimir y soltar un puñado de la mezcla, se deberá tener como resultado una mezcla que no se desmorona, ni presenta huecos, y no debe fluir la pasta de cemento separándose de las partículas del agregado. La consistencia correcta usualmente se obtiene a través de un proceso de prueba e inspección, lo que asegura que cada mezcla

contenga la pasta de cemento suficiente para cubrir las partículas gruesas con una delgada capa brillante, dándole un resplandor metálico. La relación a/c es una consideración muy importante para el desarrollo de la resistencia y la estructura de vacíos del concreto. (Pérez 2009)

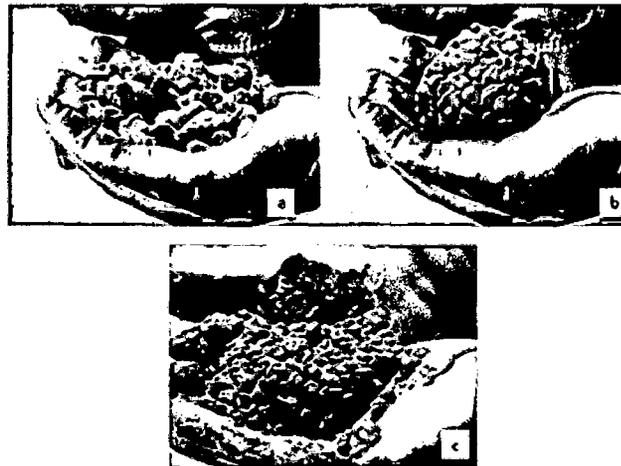


Figura 2. Muestras de concreto permeable con diferentes cantidades de agua: (a) con poca agua, (b) adecuada cantidad de agua, (c) con demasiada agua. (Tennis et al, citado por Pérez 2009).

2.2.4.2. Relación agregado - cemento

La relación agregado-cemento típica varía entre 4:1 a 4.5:1, pero ésta depende fundamentalmente del tipo de agregado. Tanto la relación agua-cemento y la relación agregado-cemento deben satisfacer las características de permeabilidad, capacidad de carga, y durabilidad.

Las pruebas de peso unitario seco - compactado de agregado grueso (b/b_0) hecho por la National Aggregates Association - National Ready Mixed Concrete Association (NAA - NRMCA) muestra que el peso unitario seco-compactado del agregado grueso determinado de acuerdo con la norma ASTM C29 puede usarse en el proporcionamiento del concreto permeable. Así:

(b/b_0): Volumen seco compactado de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

b: Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

b_o : Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de agregado grueso.

El valor b/b_o automáticamente se compensa por los efectos de las diferentes formas de las partículas de los agregados, la graduación o tamaño, y el peso específico. Además, para un rango de agregados de tamaño máximo nominal normalmente usados para concreto permeable (3/8" a 3/4") los valores b/b_o son muy similares (ACI 211.3R, 1998). La tabla 2 muestra los valores de b/b_o para agregado grueso de tamaños No. 8 (3/8") y No. 67 (3/4") para un contenido de agregado fino de 0%, 10% y 20% del total de agregado.

Tabla 2. Valores efectivos de b/b_o (ACI 211.3R, citado por Pérez 2009).

Porcentaje de agregado fino (%)	b/b_o	
	No. 8 (3/8")	No. 67 (3/4")
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

2.2.5. Procedimiento de proporcionamiento

El procedimiento de proporcionamiento para concreto permeable está basado en el volumen de pasta necesario para mantener unidas las partículas de agregado, mientras se mantiene la estructura de vacíos necesaria. La cantidad de agregado depende del peso unitario seco compactado y de los valores de b/b_o seleccionados de la tabla 2. Una vez que se determina el volumen de pasta de la gráfica 1 se selecciona la relación a/c , se determinan los pesos del agua y el cemento por metro cúbico de acuerdo con las siguientes relaciones. (ACI 211.3R, citado por Pérez 2009)

$$V_p = V_c + V_a \quad \dots(1)$$

$$V_p = \frac{c}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} \quad \dots(2)$$

Donde:

V_p : Volumen de pasta

Vc: Volumen de cemento

Va: Volumen de agua

c: Peso de cemento.

a: Peso de agua.

yc: Peso específico de cemento

ya: Peso específico de agua

Considerando que el peso específico del cemento y del agua es 3.15 y 1, respectivamente se tiene:

$$V_p = \frac{c}{3.15 \times 1000} + \frac{a}{1000} \quad \dots(3)$$

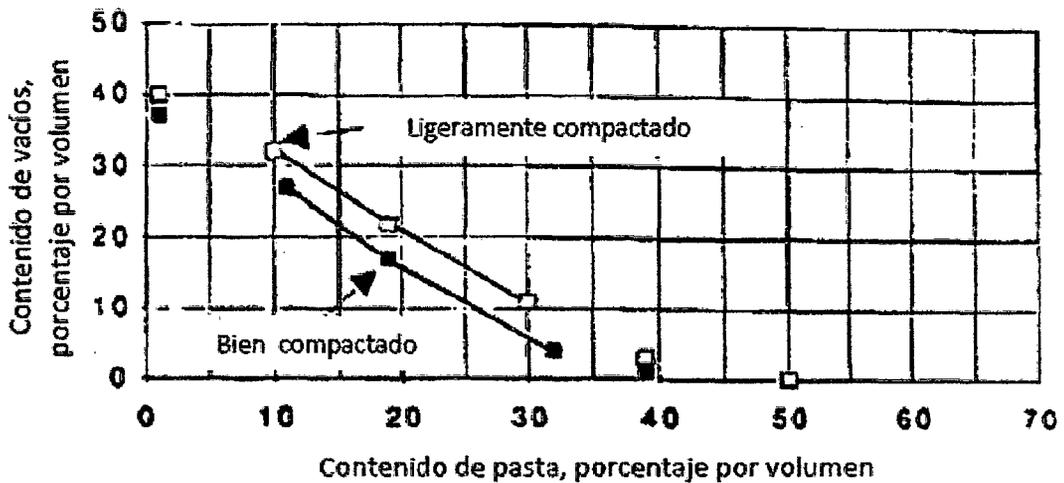
Si la relación agua - cemento es a/c entonces:

$$a = \left(\frac{a}{c}\right)c \quad \dots(4)$$

$$V_p = \frac{c}{3.15 * 1000} + \frac{\left(\frac{a}{c}\right)c}{1000} \quad \dots(5)$$

Especificando un valor del porcentaje de vacíos de la mezcla se determina el volumen de pasta de la gráfica 1, se pueden determinar el peso del cemento y el peso del agua.

Cuando se usa agregado fino, el volumen de pasta debe ser reducido por cada 10% de agregado fino 2% del total de agregado para concreto permeable bien compactado, y por cada 10% de agregado fino 1% del total de agregado para concreto ligeramente compactado. Estas reducciones son necesarias para mantener el mismo porcentaje de vacíos por volumen.



Gráfica 1. Relación entre el contenido de vacíos y el contenido de pasta para agregado N° 8 (3/8'') (ACI 211.3R, citado por Pérez 2009).

2.2.6. Compactación²

El grado de compactación puede tener efectos considerables sobre la calidad del concreto permeable. Un mayor grado de compactación se produce cuando el concreto alcanza su mayor nivel de resistencia. Esto se debe a la densificación del concreto y la eliminación de huecos. Estos son los mismos vacíos necesarios para la permeabilidad del agua. Demasiada compactación por lo tanto resultará en una pérdida de permeabilidad a través del concreto y un fracaso del sistema del concreto permeable. (Flores 2010)

De acuerdo con la experiencia internacional, las mezclas de hormigón poroso deben ser compactadas con un rodillo pesado de ancho mayor que el de la losa a hormigonar (FCPA, 1990; GCPA, 1997; Reyes & Torres, 2002; Kwiatkowski, 2003). Por esta razón los investigadores diseñaron un rodillo de 300 mm de diámetro, 600 mm de ancho y 115 kg de peso, que proporciona presiones similares a las utilizadas en terreno (0.08 MPa). (Castro *et al.* 2009)

Pérez (2009) en su investigación aplicó tres métodos de compactación hasta llegar a obtener el más aproximado al método utilizado con rodillo pesado, estos métodos fueron:

² En la presente investigación hemos utilizado para la compactación del concreto permeable en el molde de probetas el pisón del Próctor tal como especifica en su estudio Pérez 2010.

Compactación con varilla a 25 golpes en dos capas, compactado con pisón a 15 golpes en dos capas y compactado con martillo compactador por 30 segundos. De los cuales obtuvo mejor resultado con el martillo compactador.

Los cilindros de 150 x 300 mm (6 x 12 pulgadas) se moldearán en dos capas y para compactarlos se usa un martillo Próctor de acuerdo a lo especificado en la ASTM C1688 (2008) aplicando 10 golpes por cada capa. (Aire *et al.* 2013)

2.2.6. Curado

El curado es el mantenimiento de un adecuado contenido de humedad y temperatura en el concreto a edades tempranas, de manera que éste puede desarrollar las propiedades para las cuales fue diseñada la mezcla. El curado comienza inmediatamente después del vaciado (colocado) y el acabado, de manera que el concreto pueda desarrollar la resistencia y durabilidad deseada. (NRMCA CIP 11 s.f.)

La estructura porosa del concreto permeable hace que el curado sea particularmente importante, ya que el secado puede ocurrir más rápidamente. Un proceso erróneo de curado en los primeros 7 días puede reducir la durabilidad de la superficie en un 60%. El proceso de curado debe comenzar inmediatamente después de compactar el concreto permeable. (ACI 522, citado por Pérez 2009)

2.2.7. Resistencia a la compresión

Las mezclas de concreto (hormigón) se pueden diseñar de tal manera que tengan una amplia variedad de propiedades mecánicas y de durabilidad que cumplan con los requerimientos de diseño de la estructura. La resistencia a la compresión del concreto es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras. La resistencia a la compresión se mide fracturando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión. La resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida por el área de la sección que resiste la carga y se reporta en megapascales (MPa) en unidades S.I (NRMCA CIP 35 s.f.)

Un resultado de prueba es el promedio de por lo menos 2 pruebas de resistencia curadas de manera estándar o convencional elaboradas con la misma muestra de concreto y

sometidas a ensayo a la misma edad. En la mayoría de los casos, los requerimientos de resistencia para el concreto se realizan a la edad de 28 días. (NRMCA CIP 35 s.f.)

Por definición un ensayo de resistencia corresponde al promedio de las resistencias de dos cilindros de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, ensayados a los 28 días (Seminario sobre el Código ACI 318-99 2000).

El ensayo correspondiente para determinar la resistencia a la compresión del concreto permeable es el mismo que para un concreto convencional, por lo que en lo posible seguiremos las indicaciones del CIP 35 de la NRMCA referido a la prueba de resistencia a la compresión del concreto que se detalla a continuación:

- Las probetas cilíndricas para pruebas de aceptación deben tener un tamaño de 6 x 12 pulgadas (150 x 300 mm) ó 4 x 8 pulgadas (100 x 200 mm), cuando así se especifique. Las probetas más pequeñas tienden a ser más fáciles de elaborar y manipular en campo y en laboratorio. El diámetro del cilindro utilizado debe ser como mínimo 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso que se emplee en el concreto.
- El registro de la masa de la probeta antes de colocarles tapa constituye una valiosa información en caso de desacuerdos.
- Con el fin de conseguir una distribución uniforme de la carga, generalmente los cilindros se tapan (refrentan) con mortero de azufre (ASTM C 617) o con tapas de almohadillas de neopreno (ASTM C 1231). Las cubiertas de azufre se deben aplicar como mínimo 2 horas antes y preferiblemente 1 día antes de la prueba. Las cubiertas de almohadilla de neopreno se pueden utilizar para medir las resistencias de concreto entre 1500 y 7000 psi (10 a 50 MPa). Para resistencias mayores de hasta 12000 psi, se permite el uso de las tapas de almohadillas de neopreno siempre y cuando hayan sido calificadas por pruebas de cilindros compañeros con tapas de azufre. Los requerimientos de dureza en durómetro para las almohadillas de neopreno varían desde 50 a 70 dependiendo del nivel de resistencia sometido a ensayo. Las almohadillas se deben sustituir si presentan desgaste excesivo.
- No se debe permitir que los cilindros se sequen antes de la prueba.

- El diámetro del cilindro se debe medir en dos sitios en ángulos rectos entre sí a media altura de la probeta y deben promediarse para calcular el área de la sección. Si los dos diámetros medidos difieren en más del 2%, no se debe someter a prueba el cilindro.
- Los extremos de las probetas no deben presentar desviación con respecto a la perpendicularidad del eje del cilindro en más 0.5% y los extremos deben hallarse planos dentro de un margen de 0.002 pulgadas (0.05 mm).
- Los cilindros se deben centrar en la máquina de ensayo de compresión y cargados hasta completar la ruptura. El régimen de carga con máquina hidráulica se debe mantener en un rango de 20 a 50 psi/s (0.15 a 0.35 MPa/s) durante la última mitad de la fase de carga. Se debe anotar el tipo de ruptura. La fractura cónica es un patrón común de ruptura.
- La resistencia del concreto se calcula dividiendo la máxima carga soportada por la probeta para producir la fractura entre el área promedio de la sección. C 39 presenta factores de corrección en caso de que la razón longitud – diámetro del cilindro se halle entre 1.75 y 1.00, lo cual es poco común. Se someten a prueba por lo menos 2 cilindros de la misma edad y se reporta la resistencia promedio como resultado de la prueba, al intervalo más próximo de 10 psi (0.1 MPa).
- El técnico que efectúe la prueba debe anotar la fecha en que se recibieron las probetas en el laboratorio, la fecha de la prueba, la identificación de la probeta, el diámetro del cilindro, la edad de los cilindros de prueba la máxima carga aplicada, el tipo de fractura, y todo defecto que se presenten en los cilindros o sus tapas. Si se miden, la masa de los cilindros también deberá quedar registrada.
- La mayoría de las desviaciones con respecto a los procedimientos estándar para elaborar, curar y realizar el ensayo de las probetas de concreto resultan en una menor resistencia medida.
- El rango de los cilindros compañeros del mismo conjunto y probado a la misma edad deberá ser en promedio de aprox. 2 a 3% de la resistencia promedio. Si la diferencia entre dos cilindros compañeros sobrepasa con demasiada frecuencia el

8%, o el 9.5% para 3 cilindros compañeros, se deberán evaluar y rectificar los procedimientos de ensayo en el laboratorio.

- Los resultados de las pruebas realizadas en diferentes laboratorios para la misma muestra de concreto no deberán diferir en más de 13% aproximadamente del promedio de los 2 resultados de las pruebas.
- Si 1 o 2 de los conjuntos cilíndricos se fracturan a una resistencia menor a f'_c , evalúe si los cilindros presentan problemas obvios y retenga los cilindros sometidos a ensayos para examinarlos posteriormente. A menudo, la causa de una prueba malograda puede verse fácilmente en el cilindro, bien inmediatamente o mediante examen petrográfico. Si se desechan o botan estos cilindros, se puede perder una oportunidad fácil de corregir el problema. En algunos casos, se elaboran cilindros adicionales de reserva y se pueden probar si un cilindro de un conjunto se fractura a una resistencia menor.
- Una prueba a los 3 o 7 días puede ayudar a detectar problemas potenciales relacionados con la calidad del concreto o con los procedimientos de las pruebas en el laboratorio pero no constituye el criterio para rechazar el concreto.
- La norma ASTM C 1077 exige que los técnicos del laboratorio que participan en el ensayo del concreto deben ser certificados.
- Los informes o reportes sobre las pruebas de resistencia a la compresión son una fuente valiosa de información para el equipo del proyecto para el proyecto actual o para proyectos futuros. Los reportes se deben remitir lo más prontamente posible al productor del concreto, al contratista y al representante del propietario.

2.2.8. Permeabilidad

Una de las características más importantes del concreto permeable es su capacidad para filtrar el agua a través de la matriz. El coeficiente de permeabilidad del concreto permeable normalmente se encuentra en el rango de 0.2 a 0.54 cm/s. (Pérez 2009)

Para el determinar la permeabilidad del concreto permeable se utilizara un permeámetro de carga constante el cual presenta las siguientes componentes:

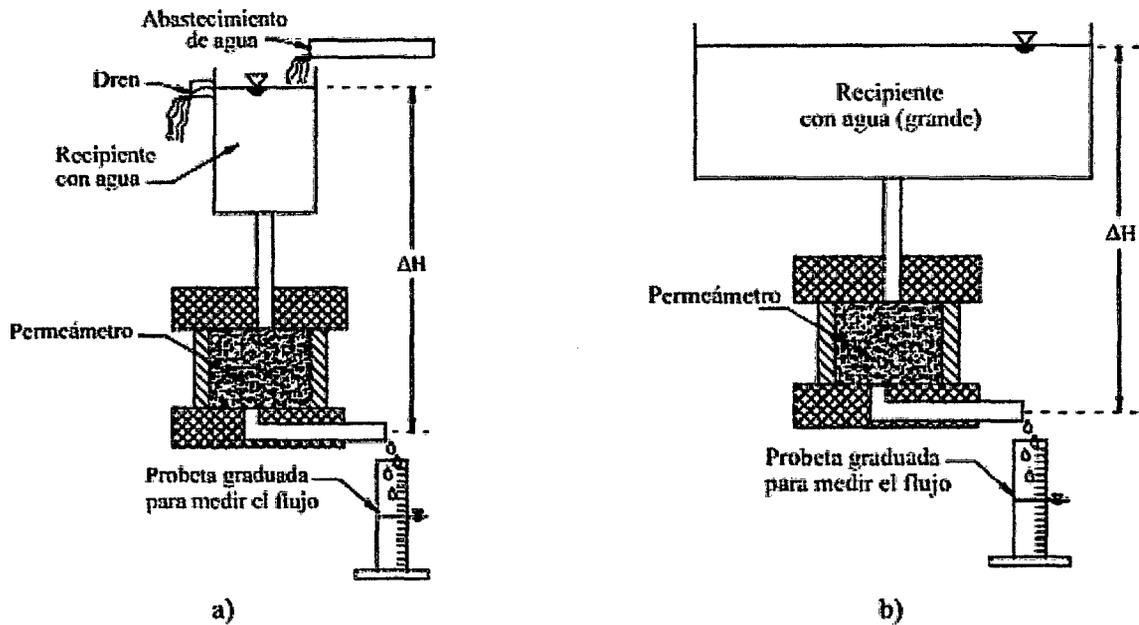


Figura 3. Permeámetros de carga constante típico (a) y utilizando un recipiente amplio (b).

El procedimiento consiste en colocando una válvula en la salida de agua hacia la probeta graduada, se cierra y se comienza a abastecer el recipiente con agua hasta que el agua salga por su tubería de rebose o dren, lo cual me indica que la muestra está saturada. A continuación se procede a abrir la válvula en la salida hacia la probeta graduada registrando el tiempo en que se llena cierto volumen de agua.

Luego en gabinete se realiza los cálculos correspondientes para calcular el coeficiente de permeabilidad mediante la siguiente fórmula:

$$K = \frac{V \times L}{A \times H \times t} \quad \dots(6)$$

Donde:

K: Coeficiente de permeabilidad (cm/s).

V: Volumen de agua que pasa por la muestra (ml).

L: Longitud de la muestra en el sentido del movimiento del agua (s).

H: Pérdida de carga (cm).

A: Área de la sección transversal (cm²).

t: Tiempo (s).

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Concreto permeable

Es un material de estructura abierta con revenimiento cero, compuesto por cemento Portland, agregado grueso, poco o nada de finos, aditivo y agua. La combinación de estos ingredientes produce un material endurecido con poros interconectados, cuyos tamaños varían de 2 a 8 mm lo que permite el paso del agua. El contenido de vacíos puede variar de 18 a 35% con resistencia a la compresión típica de 2.8 a 28 MPa. Su capacidad de drenaje depende del tamaño del agregado y de la densidad de la mezcla, pero generalmente varía en el rango de 81 a 730 l/min/m². (ACI 522R-10)

2.3.2. Revenimiento

También llamada consistencia, es la propiedad del concreto en estado fresco que define la humedad de la mezcla por el grado de fluidez de la misma entendiéndose con ello que cuanto más húmeda es la mezcla mayor será la facilidad con la que el concreto fluirá durante su colocación. La consistencia está relacionada pero no es sinónimo de trabajabilidad, así por ejemplo, una mezcla muy trabajable para pavimentos puede ser muy consistente, en tanto que una mezcla poco trabajable en estructuras con alta concentración de acero puede ser de consistencia plástica. (Lezama 1996)

El método de determinación empleado es conocido como método de cono de asentamiento, de Abrams, o de slump, y define la consistencia de la mezcla por el asentamiento, medido en pulgadas o milímetros, de una masa de concreto que previamente ha sido colocada y compactada en un molde metálico de dimensiones definidas y sección tronco cónica. (Rivva 1999).

2.3.3. Resistencia a la compresión

Propiedad del concreto endurecido que viene a ser es el máximo esfuerzo que puede ser soportado por dicho material sin romperse. Dado que el concreto está destinado

principalmente a tomar esfuerzos de compresión, es la medida de su resistencia a dichos esfuerzos la que se utiliza como índice de su calidad. (López 1999).

La resistencia a la compresión se expresa en kg/cm^2 y se obtiene en laboratorio mediante ensayos de compresión uniaxial en probetas elaboradas en moldes cilíndricos cuya longitud es el doble de su diámetro (6"x12") y que han sido adecuadamente curadas y pasado generalmente 28 días desde su colocación en el molde.

2.3.4. Permeabilidad

Se entiende por permeabilidad a la facilidad de movimiento de un flujo a través de un medio poroso. La permeabilidad puede definirse como velocidad de flujo producida por un gradiente hidráulico unitario. Se encuentra en plena votación la norma WK17606, método de prueba para evaluar la permeabilidad de pavimentos de concreto permeable por parte de la ASTM. (Flores 2010)

2.3.5. Aditivo

Material que no siendo agua, agregado, cemento hidráulico, o fibra de refuerzo, es empleado como un ingrediente del mortero o concreto, y es añadido a la tanda inmediatamente antes o durante su mezclado. Los aditivos son utilizados como componentes del concreto o mortero a fin de modificar una o varias propiedades con el objetivo que sea adecuado al trabajo realizado, facilitar su colocación y reducir costos de operación. (ASTM C494). Los aditivos se clasifican según la norma ASTM C494 en:

- Tipo A.- Reductor de agua de medio rango.
- Tipo B.- Retardador de fraguado.
- Tipo C.- Acelerador de fraguado.
- Tipo D.- Reductor de agua y retardador.
- Tipo E.- Reductor de agua y acelerador.
- Tipo F.- Reductor de agua de alto efecto.
- Tipo G.- Reductor de agua de alto efecto y retardador.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA, MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Tipo, nivel, diseño y método de la investigación

Cuadro 1. Tipo, nivel, diseño y método de la investigación.

Criterio	Tipo de investigación
Finalidad	Aplicada
Estrategia o enfoque teórico metodológico	Cuantitativa, experimental
Fuente de datos	Primaria
Control en el diseño de la hipótesis	Comparativa
Temporalidad	Transversal (sincrónica)
Contexto donde se desarrolla	Laboratorio
Intervención disciplinaria	Unidisciplinaria

La presente investigación busca conocer si con el volumen de pasta que da la consistencia adecuada al concreto permeable elaborado con agregados del río Jequetepeque - Chilete, cemento Portland tipo I y el aditivo tipo A de la marca Chema denominado Chemaplast; se logra obtener una resistencia a la compresión y permeabilidad que estén dentro del rango que da la norma ACI 522R10 citada por Pérez 2009.

Se usará cemento Portland tipo I de la marca Pacasmayo por ser de uso general y no posee propiedades específicas, además por ser el más asequible.

El uso del aditivo Chemaplast se justifica teniendo en cuenta que en la actualidad técnicamente un buen concreto se obtiene usando aditivos que modifican algunas de sus propiedades y que ya se considera el aditivo como una componente más de los materiales que conforman el concreto y siendo la relación agua - cemento es un factor influyente en las propiedades del concreto hemos optado por usar un aditivo reductor de agua de medio rango de fácil adquisición y de un costo asequible.

Para el procedimiento de proporcionamiento de materiales hemos utilizado el método de diseño de mezcla basado en el volumen de pasta³ necesario para mantener unidas las partículas del agregado, mientras se mantiene la estructura de vacíos necesaria para que tenga una buena permeabilidad. Además las variables que hemos utilizado son: variables intervinientes el porcentaje de vacíos y la relación agua - cemento, variables independientes la resistencia a la compresión y la permeabilidad; y variables dependientes el intervalo de valores sobre resistencia a la compresión y permeabilidad especificados en la definición que da la norma ACI 522R - 10 sobre el concreto permeable.

En cuanto al porcentaje de vacíos hemos elegido el valor de 20% esto debido a que según investigaciones un contenido de vacíos entre 15% y 20% permiten obtener mezclas con una adecuada resistencia y permeabilidad (Meininger, citado por Pérez 2009).

Para la relación agua - cemento usamos el promedio del rango típico cuyos valores están comprendidos entre 0.26 a 0.45 por lo que el valor usado es: 0.355. De la misma forma para el aditivo hemos utilizado el promedio del rango que recomienda su hoja técnica. Esto en razón de que estamos investigando si con el agregado y aditivo tipo A propuestos se puede fabricar concreto permeable cuya resistencia y permeabilidad estén dentro de un rango aceptable.

En laboratorio se han aplicado los ensayos necesarios al agregado obteniendo así los valores de las propiedades que requería para el diseño de mezcla como por ejemplo: peso específico, absorción, peso volumétrico seco compactado.

Realizado el diseño de mezcla, procedimos al moldeo de probetas según los criterios expuestos en el punto 2.2.4 del marco teórico, a dichas probetas las sometimos a los ensayos de compresión y permeabilidad según lo planeado y registramos los valores de dichos ensayos para luego hacer una comparación de estos con la definición de la norma ACI 522R – 10, citada por Pérez 2009, y así conocer si el concreto permeable elaborado

³ El método de diseño de mezcla basado en el volumen de pasta necesario para conseguir la consistencia necesaria que mantenga la adherencia de las partículas del agregado grueso es el que utiliza en su investigación Pérez 2009.

con el agregado del río Jequetepeque - Chilete, cemento Portland tipo I y el aditivo Chemaplast está dentro de los valores establecidos por dicha norma.

La investigación se realizará en la ciudad de Cajamarca con agregado piedra chancada del río Jequetepeque en Chilete, cemento Portland tipo I, Aditivo tipo A de marca Chema denominado Chemaplast en los meses de Septiembre y Octubre del 2014.

3.1.1. Población de estudio

Desde el punto de vista estadístico la población para el presente estudio entra dentro del rango de infinita, pues identificando que la unidad de análisis es la probeta de concreto, la población entonces está conformada por todas las probetas de concreto que podría fabricar, dependiendo entonces de factores como el presupuesto y tiempo.

3.1.2. Muestra

La muestra elegida fue tomada teniendo en cuenta la definición que da la norma ACI respecto al ensayo de resistencia a la compresión la cual dice: “Por definición un ensayo de resistencia corresponde al promedio de las resistencias de dos cilindros de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, ensayados a los 28 días” (Seminario sobre el Código ACI 318-99 2000). Así mismo la norma E60 – Cap.5 – Item 5.1.6 dice: “Se considera como un ensayo de resistencia al promedio de las resistencias de dos probetas cilíndricas hechas de la misma muestra de concreto y ensayadas a los 28 días o a la edad de ensayo establecida para la determinación de $f'c$ ” (Norma E060 – 2009)

Así que partiendo de estas definiciones decidimos como muestra 24 probetas de concreto permeable que las dividiremos en 4 partes para realizar los ensayos, es decir 6 probetas para ensayos de resistencia a la compresión para cada edad de 7, 14 y 28 días y 6 probetas para ensayos de permeabilidad.

Es necesario indicar que existen varias fórmulas estadísticas que permiten encontrar la muestra de una población infinita las cuales generalmente están orientadas a estudios observacionales, es decir en aquellos donde no se manipulan variables y simplemente se registra el fenómeno no obstante se debe coordinar y evaluar si el valor de la muestra que se obtiene es necesaria y factible de realizar desde varios puntos de vista como: presupuesto, tiempo, recursos, etc.

Aplicaremos una de estas fórmulas⁴ para calcular un tamaño de la muestra de una población infinita:

$$n = \frac{p \times q}{\varepsilon^2} \quad \dots(7)$$

Donde:

n: Muestra.

p: Probabilidad a favor. (p=0.50)

q: Probabilidad en contra. (q=0.50)

ε : Error de estimación ($\varepsilon=5\%$)

Reemplazando valores en la fórmula (7) tenemos que la muestra debería ser:

$$n = \frac{0.5 \times 0.5}{0.05^2}$$
$$n = 100$$

A partir de la fórmula (7) despejamos ε :

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{p \times q}{n}} \quad \dots(8)$$

Entonces, como hemos elegido una muestra de $n=24$, calcularemos el error ε al que incurrimos según la fórmula (8)

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{0.5 \times 0.5}{24}}$$
$$\varepsilon = 10.21\%$$

3.1.3. Unidad de análisis

Es la probeta fabricada de concreto permeable.

⁴ Fórmula tomada de la monografía titulada "Como Determinar el Tamaño de una Muestra Aplicada a la Investigación Archivística" del Lic. Salvador Elías Rodríguez Solís 2008.

3.1.4. Técnicas e instrumentos de recolección

Las técnicas e instrumentos de recolección que se utilizarán en la presente investigación son las que se muestran en el cuadro a continuación:

Cuadro 2. Técnicas e instrumentos de recolección.

Variables	Recolección de datos		
	Fuente	Técnica	Instrumento
Permeabilidad	Primaria o directa	Observación directa	Permeámetro de carga constante.
Resistencia a la compresión	Primaria o directa	Observación directa	Máquina de ensayos de compresión

3.1.5. Ubicación geográfica donde se realiza la investigación

Tabla 3. Coordenadas UTM donde se realizará el estudio.

Lugar	Coordenadas UTM		
	Este	Norte	Cota
Cajamarca	774618.00 m	9207527.00 m	2720 m.s.n.m

El agregado a utilizar pertenece a la cantera del río Jequetepeque en Chilete frente al centro poblado Tabacal a la altura del km 92 de la carretera Cajamarca – Chilete

Tabla 4. Coordenadas UTM de la cantera a utilizar.

Lugar	Coordenadas UTM		
	Este	Norte	Cota
Cantera río Jequetepeque – Chilete	739516.00 m	9200698.00 m	870 m.s.n.m

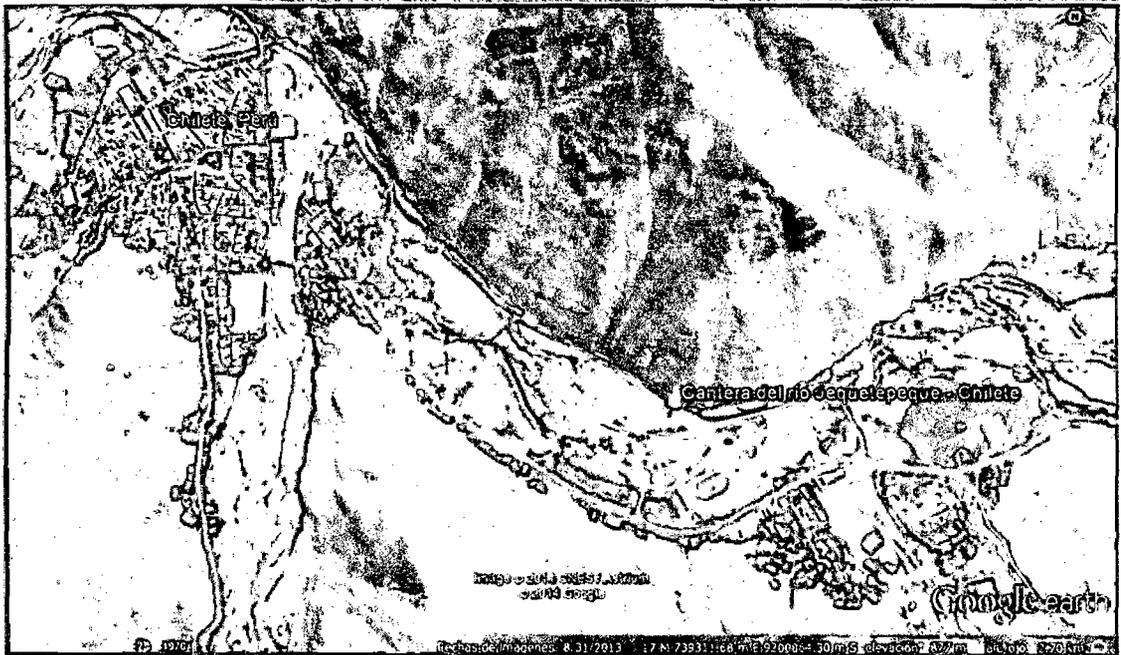


Figura 4. Vista satelital de la cantera río Jequetepeque – Chilete.

3.2. Procedimiento

3.2.1. Materiales a utilizar

- Piedra chancada de 3/8" sin de agregado fino de la cantera río Jequetepeque en Chilete.
- Cemento Portland tipo I.
- Agua potable.
- Aditivo tipo A marca Chema denominado Chemaplast.

3.2.2. Equipos a utilizar

- Tamices: 3/8" y N°4 (4.76).
- Balanza electrónica digital.
- Canastilla.
- Horno eléctrico.
- Taras de todos los tamaños.

- Mezcladora.
- Moldes estándar de acero galvanizado para el moldeo de probetas.
- Martillo o Pisón del Próctor.
- Permeámetro de carga constante.
- Máquina de compresión hidráulica marca STYE – 200 Digital Display Compression Testing Machine.

3.2.3. Determinación de las características físicas del agregado⁵

3.2.3.1. Peso específico

Para calcular este valor usaremos el siguiente equipo:

- Balanza electrónica digital.
- Canastilla.
- Horno eléctrico.
- Taras de diferentes tamaños.

Mediante el método del cuarteo seleccionamos aproximadamente 5 kg del agregado que se desea ensayar (piedra chancada de 3/8"), rechazando todo el material que pase el tamiz N°4 (4.76 mm).

Luego de un lavado completo para eliminar el polvo y otras impurezas superficiales de las partículas, secamos la muestra hasta peso constante a una temperatura de 100°C a 110°C y luego la sumergimos en agua durante 24 horas +/- 4 horas.

Sacamos la muestra del agua y la colocamos sobre un costalillo al sol haciéndola rodar sobre un paño grande absorbente, hasta hacer desaparecer toda la película de agua visible,

⁵ Para determinar las características físicas del agregado hemos utilizado como guía la separata del Ingeniero José Lezama Leiva docente de la UNC

aunque la superficie de las partículas aun parezca húmeda. Teniendo cuidado en evitar la evaporación durante la operación de secado de la superficie.

Obtenemos el peso de la muestra bajo la condición de saturación con la superficie seca... (B)

Después de pesar, colocamos de inmediato la muestra saturada con superficie seca en la cesta de alambre y determinamos su peso en agua a temperatura de 20°C a 25°C... (C)

Secamos la muestra en horno hasta peso constante, a temperatura de 100°C a 110°C (110°C +/-5), dejándola enfriar hasta temperatura ambiente y la pesamos... (A)

Luego aplicaremos las siguientes fórmulas:

$$\text{Peso específico de masa (g/cm}^3\text{)...} \quad P.e = \frac{A}{B-C} \quad \dots (9)$$

$$\text{Peso específico de masa saturada con su superficie seca (g/cm}^3\text{)...} \quad P.e.s.s.s \equiv \frac{B}{B-C} \quad \dots (10)$$

$$\text{Peso específico aparente (g/cm}^3\text{)...} \quad P.e.a = \frac{A}{A-C} \quad \dots (11)$$

$$\text{Porcentaje de absorción (%)...} \quad Ab \equiv \frac{B-A}{A} \times 100\% \quad \dots (12)$$

Tabla 5. Cálculo del peso específico y absorción del agregado (ASTM C 127).

Ensayo	1°	2°	Promedio
Peso en el aire de la muestra seca al horno en gramos... A	5668.50	5631.00	5649.75
Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca en gramos... B	5725.00	5687.00	5706.00
Peso en el agua de la muestra saturada en gramos... C	3544.00	3571.00	3557.50
Peso específico de masa en g/cm ³ ... $P.e=A/(B-C)$	2.60	2.66	2.630
Peso específico de masa saturada con su superficie seca en g/cm ³ ... $P.e.s.s=B/(B-C)$	2.625	2.688	2.657
Peso específico aparente en g/cm ³ ... $P.e.a=A/(A-C)$	2.668	2.733	2.701
Absorción en %... $Ab=[(B-A)*100]/A$	0.997	0.994	0.996

3.2.3.2. Análisis granulométrico

Teniendo en cuenta que para la presente investigación se ha propuesto usar solo agregado grueso de 3/8" sin finos tenemos que el equipo a usar para el análisis granulométrico es:

- Tamices de 3/8" y N° 4 (4.76 mm)

Obteniendo un tamaño máximo de 3/8", usando lo que se retiene en la malla N°4 (4.76 mm) y rechazando lo que pasa.

3.2.3.3. Forma y textura superficial del agregado

La forma del agregado depende en gran medida de la dureza y resistencia de la roca original. Influye apreciablemente en el concreto tanto fresco como endurecido, en el porcentaje de agua que necesita para la colocación en obra, en la resistencia mecánica, así como en la adherencia de los áridos con la pasta de cemento. En los agregados se presentan formas tales como: redondeados, alargados, laminados, irregulares, angulares, elongados y laminados. (Lezama 1996)

La textura superficial se basa en el grado de suavizado o aspereza que presenta la superficie de una partícula, esta característica depende de la dureza, tamaño del agregado y la porosidad de la roca de origen. Influye principalmente en la adherencia de la pasta de cemento con los áridos, ya que mientras más rugosa sea la superficie de contacto, mayor será la adherencia y generalmente en partículas cuya textura superficial no permita la penetración, la adherencia será menor. Entre los diferentes grupos de textura superficial podemos encontrar los siguientes: vítrea, lisa, granular, áspera, cristalina y aplanada. (Lezama 1996)

Para el agregado utilizado en el presente estudio obtenemos que:

- La forma del agregado es predominantemente irregular, presentando además formas alargadas y laminadas.
- La textura superficial del agregado es predominantemente lisa.

3.2.3.4. Peso unitario

Para calcular este valor conocido también como Peso volumétrico usaremos el siguiente equipo:

- Balanza electrónica digital.
- Barra compactadora de acero de 60 cm de largo y extremos semiesféricos de 5/8" de diámetro.
- Recipiente cilíndrico y de metal, suficientemente rígido para condiciones duras de trabajo, cuyas medidas se especifican en la tabla N° 4

Calibración del recipiente

El recipiente se calibrará determinando con exactitud el peso del agua requerida para llenarlo a 16.7°C para cualquier unidad, el factor (f) se obtendrá dividiendo al peso unitario del agua a 16.7°C (1000 kg/m³) por el peso del agua a 16.7°C necesario para llenar el recipiente [W_a(16.7°C)]

$$f = \frac{1000}{W_a(16.7^\circ\text{C})} \quad \dots(13)$$

Entonces los valores de los ensayos realizados al agregado piedra chancada de 3/8" de la cantera río Jequetepeque - Chilete son:

Tabla 6. Peso volumétrico del agregado (ASTM C29).

Ensayo	1	2	3
Peso del recipiente (g)	8563.5	8563.5	8563.5
Peso del recipiente con material suelto (g)	13007.0	12961.5	12948.0
Peso del recipiente con material compactado (g)	13303.5	13288.5	13296.5
Peso del material suelto (g)	4443.5	4398.0	4384.5
Peso del material compactado (g)	4740.0	7425.0	4733.0
Factor... $f=1000/W_a$	324.359	324.359	324.359
Peso unitario suelto (Kg/m ³)	1441.3	1426.5	1422.2
Peso unitario compactado (Kg/m ³)	1537.5	1532.6	1422.2
Peso unitario suelto promedio (Kg/m ³)		1430.0	
Peso unitario compactado promedio (Kg/m ³)		1531.5	

El peso del agua en para llenar el recipiente es... $W_a=3082.5g=3.083Kg$

3.2.3.5. Contenido de humedad

Es la cantidad de agua que contiene el agregado en un momento dado. Cuando dicha cantidad se expresa como porcentaje de la muestra seca, se denomina porcentaje de humedad pudiendo ser mayor o menor que el porcentaje de absorción. Los agregados generalmente se los encuentra húmedos y varían con el estado del tiempo, razón por la cual se debe determinar frecuentemente el contenido de humedad, para luego corregir las proporciones de una mezcla.

Para calcular este valor usaremos en siguiente equipo:

- Balanza electrónica digital.
- Recipiente adecuado para colocar la muestra de ensayo.

- Horno eléctrico capaz de mantener una temperatura de 105 a 110°C.

Entonces los valores de los ensayos realizados al agregado piedra chancada de 3/8" de la cantera río Jequetepeque - Chilete son:

Tabla 7. Contenido de humedad del agregado.

Ensayo	1	2	3
Peso del recipiente (g)	30.50	33.50	33.00
Peso del recipiente con muestra húmeda (g)	379.00	304.50	327.00
Peso del recipiente con muestra seca (g)	373.5	300.50	322.5
Peso del agua (g)	5.50	4.00	4.50
Peso de la muestra seca (g)	343.00	267.00	289.50
Contenido de humedad (%)	1.60	1.50	1.55
Promedio del contenido de humedad (%)		1.55	

3.2.4. Cemento

Para la presente investigación se utilizará cemento portland tipo I (de uso general y sin propiedades especiales) que cumple con las normas NTP 334.009 Y ASTM C-150-99.

3.2.5. Agua

En la presente investigación el agua para lavar los agregados, saturarlos y para mezcla será potable.

3.2.6. Aditivo

Para la presente investigación hemos utilizado un aditivo tipo A (reductor de agua de medio rango) de la marca Chema denominado Chemaplast.

Su hoja técnica dice lo siguiente:

Chemplast

Aditivo reductor de agua. Mejora la trabajabilidad del concreto aumentando la resistencia a la penetración de la humedad.

Descripción:

El **Chemplast** si bien es básicamente un plastificante, tiene además otras propiedades. Es un producto adecuado a las especificaciones ASTM C - 494 tipo A. Es un concretado de color marrón listo para usarse, fabricado a base de agentes dispersantes de alta eficacia exento de cloruros. No es toxico ni corrosivo.

Hace posible diseñar mezclas de concreto de fácil colocación con un contenido de hasta 10% menos de agua, generando el aumento correspondiente a la compresión y durabilidad del concreto. Reduce⁶ la permeabilidad del concreto.

Usos:

Como reductor de agua o como plastificante.

- En concretos estructurales de edificaciones y en elementos esbeltos.
- En concreto caravista.
- En concretos pretensados y postensados.
- En concretos para elementos prefabricados: postes, buzones, cajas, tuberías, etc.
- En concretos para pavimentos y puentes.
- En concretos que deben ser desencofrados a temprana edad.
- En construcciones frente al mar se recomienda usarlo desde los cimientos, en el mortero de asentado y en el tarrajeo.

⁶ El concreto permeable debe su permeabilidad a los vacíos que se generan en su estructura los cuales se generan debido al diseño de mezcla y forma de fabricación, por lo que aun cuando en la hoja técnica del aditivo Chemplast en su descripción se mencione que también reduce la permeabilidad esta no influye en el concreto poroso pues en nuestro caso lo usamos como un reductor de agua de medio rango.

- En esculturas de concreto.

Ventajas:

El concreto tratado con **Chemplast** tiene las siguientes propiedades:

1. **Mejor acabado:** La plasticidad permite un mejor acabado, por lo tanto, aumenta la durabilidad.
2. **Aumenta la trabajabilidad** y facilita la colocación del concreto en elementos con alta densidad de armadura sin necesidad de aumentar la relación agua - cemento.
3. **Disminución de la contracción debido a la mejor retención del agua** así como mayor aglomeración interna del concreto en estado plástico.
4. **Aumenta la resistencia a la compresión y flexión** a todas las edades; mejora la adherencia al acero de construcción.
5. **Aumenta la hermeticidad al agua** impermeabilizándolo y produciendo mayor resistencia a la penetración de la humedad y por consiguiente al ataque de sales.
6. **Aumenta la durabilidad** hasta un 100% adicional, debido a su alto grado de resistencia al salitre, sulfatos y cloruros.

Características físico - químicas

Pe: 4.2 kg/gl

Color: Marrón oscuro

Aspecto: Líquido

Solubilidad: Con agua

Efectos fisiológicos: En contacto con los ojos lavarse con abundante agua.

Dosificación

- Para condiciones promedio de temperatura y de diseño utilice de 145 a 360 ml por bolsa de cemento debiendo realizarse pruebas previas.

- Añada **Chemaplast** al agua de amasado sin combinarlo con otros.
- Para morteros impermeables use diseño de 1:3 (1 de cemento + 3 arena fina)

Almacenamiento

Mínimo un año en un lugar fresco y ventilado en su envase original cerrado.

Presentación

Envase de 1 gal, 5 gal y 55 gal

3.2.7. Diseño de mezcla

Para el diseño de mezcla o proporcionamiento de los materiales para la elaboración de las probetas de concreto permeable utilizaremos los criterios y ecuaciones expuestas en los ítems 2.2.4 y 2.2.5 del marco teórico. Entonces:

Datos requeridos

.- Relación agua - cemento ⁷ ...	$a/c=0.355$
.- Porcentaje de vacíos ⁸ ...	20%
.- Peso específico del cemento...	3.150 g/cm ³
.- Peso específico del agregado...	P.e.s.s = 2.657 g/cm ³
.- Absorción...	$Ab = 0.996\%$

Resolución

.- De la gráfica 1 a partir del porcentaje de vacíos obtengo el volumen de pasta necesario, así...	$V_p=0.165 \text{ m}^3$
.- Volumen de vacíos...	$V_v=0.20 \text{ m}^3$

⁷ Es el promedio del rango correspondiente a la tabla 1.

⁸ Es el 20%, pues según literatura el concreto permeable que posee un porcentaje de vacíos comprendido entre 15% y 20% presentan mejor comportamiento mecánico e hidráulico.

- Volumen del agregado... $V_g = 1 - (V_p + V_v) = 1 - (0.165 + 0.20) \rightarrow V_g = 0.635 \text{ m}^3$

- Peso del agregado... $g = P.e.s.s * V_g = 2.567 * 0.635 \rightarrow g = 1687.195 \text{ kg}$

- Despejando c de la ecuación 5 obtenemos el peso del cemento, así:

$$V_p = \left(\frac{c}{3.15 \times 1000} \right) + \left(\frac{\left(\frac{a}{c} \right) c}{1000} \right)$$

$$c = \frac{63000 \times V_p}{20 + 63 \left(\frac{a}{c} \right)}$$

$$c = \frac{63000 \times 0.165}{20 + 63(0.355)}$$

$$c = 245.368 \text{ Kg}$$

- Volumen de cemento... $V_c = c / (3.15 * 1000) = 245 / (3.15 * 1000) \rightarrow V_c = 0.078 \text{ m}^3$

- La cantidad de agua de la ecuación (4)... $a = (a/c)c = (0.355)245.368 \rightarrow a = 87.106 \text{ Kg}$

- El volumen de agua... $V_a = a / 1000 = 87.106 / 1000 \rightarrow V_a = 0.087 \text{ m}^3$

Tabla 8. Materiales iniciales sin aditivo para 1 m³ de concreto.

Material	Peso en Kg	Volumen en m ³
Cemento	245.368	0.078
Agua	87.106	0.087
Agregado	1687.195	0.635
Total	2019.669	0.800

- Confirmamos el % de vacíos usando el volumen total de materiales calculados, así:

$$\%V = (1 - V_t) * 1000 = (1 - 0.800) * 1000 = 20\%$$

Con pruebas iniciales de laboratorio usando estas cantidades de materiales y sin aditivo obtengo una mezcla sin cohesión por lo que aumentaremos la cantidad de cemento, manteniendo la relación agua - cemento y agregaremos el aditivo propuesto. Entonces:

- Aumentamos la cantidad de cemento a... $c'=350.000 \text{ kg}$

- Como la relación $a/c=0.355$ la nueva cantidad de agua es... $a'=(a/c)c=(0.355)*350$

$$a'=124.250 \text{ kg}$$

- En base al porcentaje de vacíos, se iguala la siguiente relación y se obtiene la cantidad de agregado, así:

$$(1 - \%V) = \frac{c}{P.e \times 1000} + \frac{a'}{1000} + \frac{g'}{P.e.s.s.s \times 1000}$$

$$0.80 = \frac{350}{3.15 \times 1000} + \frac{124.250}{1000} + \frac{g'}{2.675 \times 1000}$$

$$g' = 1500.246 \text{ kg}$$

- El volumen de cemento... $V'c=c'/(3.15*1000)=350/3150 \rightarrow V'c=0.111 \text{ m}^3$

- El volumen de agua... $V'a=a'/1000=124.250/1000 \rightarrow V'a=0.124 \text{ m}^3$

- El volumen de agregado... $V'g=g'/(P.e.s.s.s*1000)=500.246/2657 \rightarrow V'g=0.565 \text{ m}^3$

Tabla 9. Nuevas proporciones de materiales sin aditivo para 1 m³ de concreto.

Material	Peso en Kg	Volumen en m ³
Cemento	350.000	0.111
Agua	124.250	0.124
Agregado	1500.246	0.565
Total	1974.496	0.800

- Confirmamos el % de vacíos usando el volumen total de materiales calculados, así:

$$\%V = (1 - V_t) * 1000 = (1 - 0.800) * 1000 = 20\%$$

Ahora calculamos la cantidad de aditivo a usar y reducimos la cantidad de agua según especificación de la hoja técnica del aditivo.

- De la hoja técnica del aditivo usamos el promedio del rango que se especifica...

$$V_{adi.hoj.téc} = 252.5 \text{ ml/bls cem.}$$

.- Al usar el aditivo por especificación en su hoja técnica reducimos el agua en 10%.
Entonces la nueva cantidad de agua es:

$$a'' = a' - 10\%a' = 124.250 - 10\%(124.250)$$

$$a'' = 111.825 \text{ kg}$$

.- El nuevo volumen de agua es:

$$V_{a''} = a'' / 1000 = 111.825 / 1000$$

$$V_{a''} = 0.112 \text{ m}^3$$

.- El volumen del aditivo por m³ de concreto es:

$$V_{adi.} = V_{adi.esp.tec.} \times N^{\circ}bol.cem. \times 10^{-6} \quad \dots(14)$$

.- Entonces calcularemos el número de bolsas de cemento por m³ de concreto es:

$$N^{\circ}bol.cem. = \frac{c}{42.5}$$

$$N^{\circ}bol.cem. = \frac{350}{42.5}$$

$$N^{\circ}bol.cem = 8$$

.- Reemplazando valores en la ecuación (13)

$$V_{adi.} = 252.5 \times 8 \times 10^{-6}$$

$$V_{adi.} = 0.002 \text{ m}^3$$

.- Peso del aditivo por m³ de concreto:

$$W_{adi.} = P.e.adi. * V_{adi.} \quad \dots(15)$$

.- El peso específico del aditivo según su hoja técnica es: 4.2 kg/gal. Entonces:

$$P.e.adi. = \frac{4.2 \text{ kg}}{\text{gal}} \times \frac{246.17205 \text{ gal}}{1 \text{ m}^3}$$

$$P.e.adi. = 1109.523 \text{ kg/m}^3$$

.- Reemplazando valores en la ecuación (15)

$$W_{adi} = 1109.523 * 0.002$$

$$W_{adi} = 2.219\text{kg}$$

Tabla 10. Materiales finales para 1 m³ de concreto.

Material	Peso en Kg	Volumen en m ³
Cemento	350.000	0.111
Agua	111.825	0.112
Agregado	1500.246	0.565
Aditivo	2.219	0.002
Total	1964.290	0.790

- Confirmamos el % de vacíos usando el volumen total de materiales calculados, así:

$$\%V = (1 - V_t) * 1000 = (1 - 0.790) * 1000 = 21\%$$

Las proporciones de la mezcla calculadas deben ser verificadas en el laboratorio por un conjunto de pruebas y hacer los ajustes necesarios hasta encontrar las propiedades requeridas del concreto.

3.2.8. Mezclado de los materiales

Para el mezclado de los materiales se empleará una mezcladora eléctrica, la cual tiene capacidad para dar 3 probetas por tanda.

3.2.9. Vaciado y compactación del concreto en los moldes cilíndricos⁹

Para el vaciado y compactación de la mezcla se usará el siguiente equipo:

- Moldes cilíndricos estándar de 6" de diámetro y 12" de alto de acero galvanizado los cuales serán llenados con la mezcla en dos capas.

⁹ Usamos el método experimental estudiado por Pérez 2009

- Para compactar cada capa usamos el pisón del Próctor (4.5 kg y la altura de caída de 45.7 cm) dando 15 golpes cada capa.

3.2.10. Curado

En el caso específico del concreto el curado es el proceso con el cual se mantienen una temperatura y un contenido de humedad adecuados, durante los primeros días después del vaciado, para que se puedan desarrollar en él las propiedades de resistencia y durabilidad.

Para el concreto permeable que se utiliza en pavimentos de bajo tránsito su curado normalmente utilizado es el de cubrir la superficie expuesta con un material de polietileno claro de 0.15 mm o más grueso en la dimensión suficiente para que pueda cubrir el ancho completo de un carril a lo largo de una distancia razonable, los materiales tejidos, tales como yute o una tela geotextil, no deben usarse, ya que no retendrán la humedad en el concreto. Los componentes de curado a base de cera no producen resultados aceptables. (Pérez 2009)

Las probetas serán desmoldadas después de 24 horas posteriormente cubiertas con plástico durante 7 días. (Castro, *et al* 2009)

3.3. Tratamiento y análisis de datos

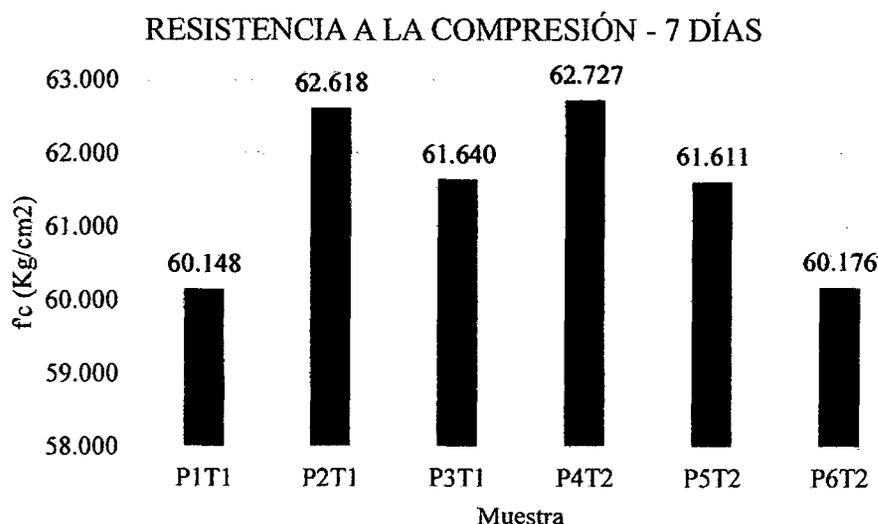
Para el tratamiento y análisis de datos se ha codificado cada probeta según un número ordinal y la tanda a la que correspondió, así por ejemplo: P4T2 me indica que la probeta es la número 4 y pertenece a la segunda tanda.

3.3.1. Tratamiento y análisis de datos referentes a la resistencia a la compresión.

La resistencia a la compresión la obtenemos al ensayar las probetas en una máquina hidráulica cargando la probeta hasta la ruptura de la misma registrando el valor de esta carga y luego dividiéndola entre el área de la probeta cilíndrica.

Tabla 11. Resistencia a la compresión del concreto permeable a los 7 días.

E.1. Resistencia a la compresión									
Muestra: Concreto permeable de 3/8" sin finos, 20% de vacíos									
Edad: 7 días									
Muestra	Peso (kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga aplicada (kN)	Carga aplicada (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _c promedio (kg/cm ²)	f _c promedio (MPa)
P1T1	9.989	15.12	30.2	179.553	105.91	10799.814	60.148		
P2T1	10.108	15.14	30.1	180.029	110.55	11272.963	62.618		
P3T1	10.065	15.13	30.2	179.791	108.68	11082.276	61.640	61.487	6.030
P4T2	10.070	15.12	30.1	179.553	110.45	11262.766	62.727		
P5T2	10.120	15.13	30.2	179.791	108.63	11077.177	61.611		
P6T2	10.085	15.14	30.2	180.029	106.24	10833.465	60.176		

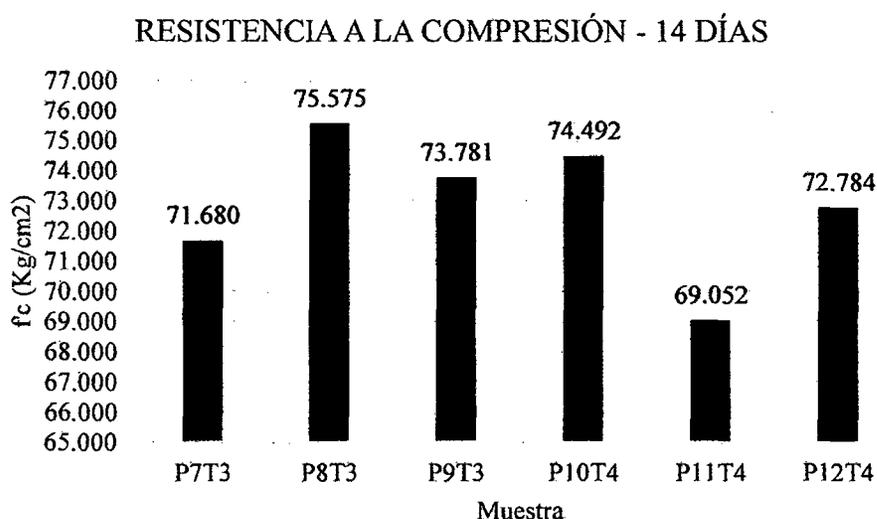


Gráfica 2. Resistencia a la compresión a los 7 días.

Como se puede observar la resistencia a la compresión promedio de las probetas ensayadas a los 7 días es de 6.030 MPa que aunque baja se encuentra dentro del rango de 2.8 a 28 MPa, que indica la definición de la norma ACI 522-R10 sobre el concreto permeable.

Tabla 12. Resistencia a la compresión del concreto permeable a los 14 días.

E.2. Resistencia a la compresión								
Muestra: Concreto permeable de 3/8" sin finos, 20% de vacíos								
Edad: 14 días								
Muestra	Peso (kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga aplicada (kN)	Carga aplicada (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _c promedio (kg/cm ²) (MPa)
P7T3	10.083	15.00	30.1	176.715	124.22	12666.915	71.680	
P8T3	10.031	15.00	30.1	176.715	130.97	13355.223	75.575	
P9T3	10.192	15.00	30.2	176.715	127.86	13038.091	73.781	
P10T4	10.042	15.10	30.1	179.079	130.82	13339.927	74.492	72.894
P11T4	10.180	15.30	30.2	183.854	124.50	12695.467	69.052	7.148
P12T4	10.074	15.10	30.1	179.079	127.82	13034.013	72.784	

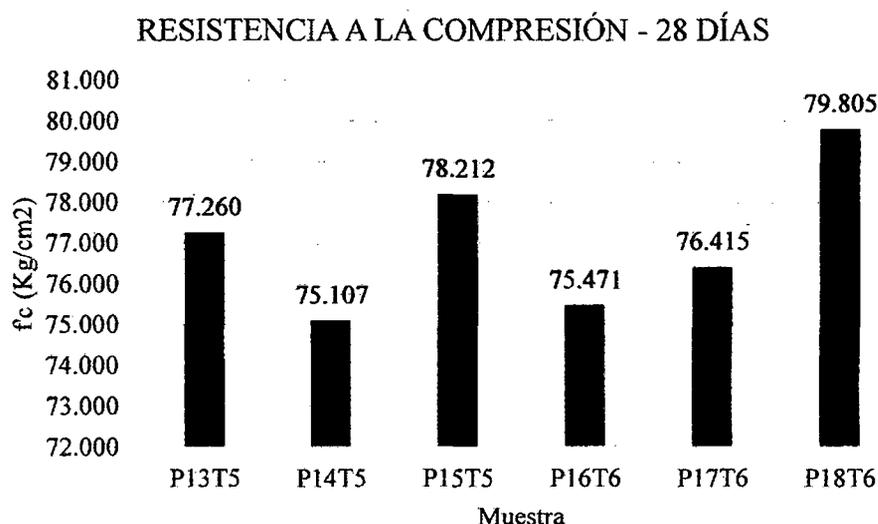


Gráfica 3. Resistencia a la compresión a los 14 días.

Como se puede observar la resistencia promedio a los 14 días es de 7.148 MPa que es mayor respecto a la resistencia a los 7 días y se mantiene con tendencia al extremo izquierdo del rango de 2.8 a 28 MPa que indica la definición de la norma ACI 522-R10 sobre el concreto permeable.

Tabla 13. Resistencia a la compresión del concreto permeable a los 28 días.

E.3. Resistencia a la compresión									
Muestra: Concreto permeable de 3/8" sin finos, 20% de vacíos									
Edad: 28 días									
Muestra	Peso (kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga aplicada (kN)	Carga aplicada (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _c promedio (kg/cm ²)	f _c promedio (MPa)
P13T5	10.27	15.12	30.2	179.553	136.04	13872.219	77.260		
P14T5	10.174	15.14	30.3	180.029	132.60	13521.437	75.107		
P15T5	10.102	15.26	30.2	182.894	140.28	14304.579	78.212	77.045	7.556
P16T6	10.165	15.10	30.1	179.079	132.54	13515.319	75.471		
P17T6	10.105	15.20	30.1	181.458	135.98	13866.101	76.415		
P18T6	10.18	15.10	30.2	179.079	140.15	14291.323	79.805		



Gráfica 4. Resistencia a la compresión a los 28 días.

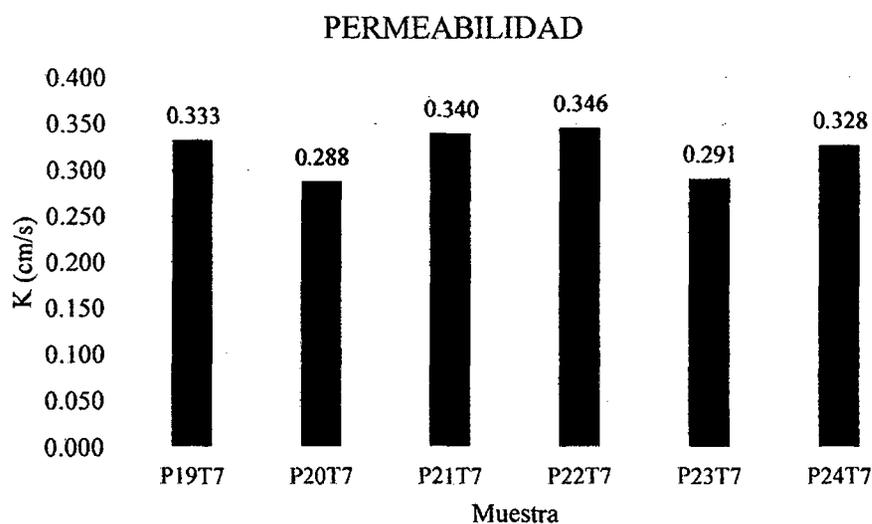
Como se puede observar la resistencia promedio a los 28 días es de 7.556 MPa que es mayor respecto a la resistencia a los 7 y 14 días, su tendencia se mantiene al extremo izquierdo del rango de 2.8 a 28 MPa que indica la definición de la norma ACI 522-R10 sobre el concreto permeable.

3.3.2. Tratamiento y análisis de datos referentes a la permeabilidad.

Como se ha indicado anteriormente los datos acerca del ensayo permeabilidad se obtendrán por medio del uso de un permeámetro de carga constante que hemos fabricado y los resultados son los siguientes:

Tabla 14. Permeabilidad del concreto permeable a los 28 días.

E.4. Permeabilidad								K promedio
Muestra: Concreto permeable de 3/8" sin finos, 20% de vacíos								
Edad: 28 días								
Muestra	V (ml)	L (cm)	Diámetro (cm)	t (s)	H (cm)	A (cm ²)	K (cm/s)	
P19T7	1000	12.20	15.20	2.04	99.00	181.458	0.333	0.321
P20T7	1000	7.90	15.18	1.53	99.00	180.981	0.288	
P21T7	1000	13.20	15.20	2.16	99.00	181.458	0.340	
P22T7	1000	13.50	15.17	2.18	99.00	180.743	0.346	
P23T7	1000	8.25	15.18	1.58	99.00	180.981	0.291	
P24T7	1000	12.55	15.20	2.13	99.00	181.458	0.328	



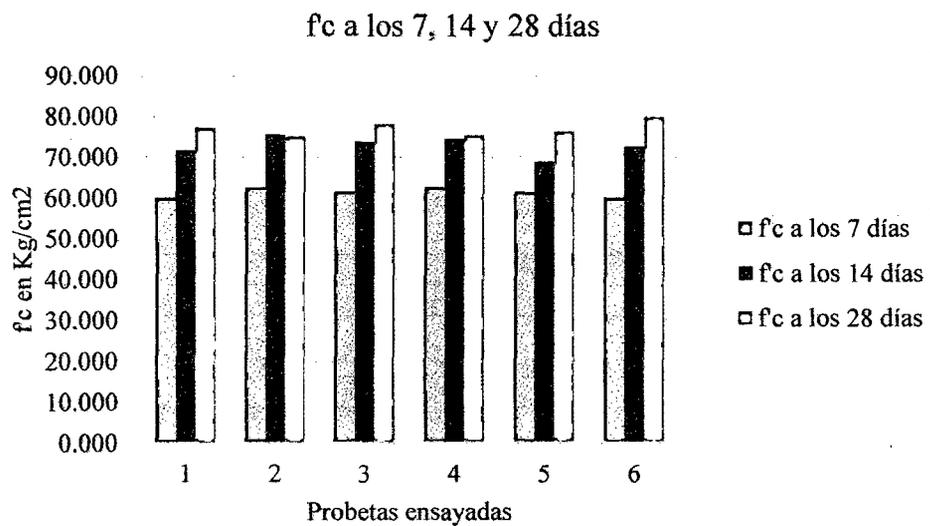
Gráfica 5. Permeabilidad del concreto medida a los 28 días.

Como se puede observar el ensayo de permeabilidad presenta valores uniformes, además presenta un coeficiente de permeabilidad promedio de 0.321 el cual está dentro del rango de 0.2 a 0.54 cm/s que normalmente presenta el concreto permeable.

3.3.3. Resumen de datos obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto permeable fabricado.

Tabla 15. Datos ordenados de forma creciente de los ensayos de resistencia a la compresión y permeabilidad.

fc a los 7 días (kg/cm ²)	fc a los 14 días (kg/cm ²)	fc a los 28 días (kg/cm ²)	k a los 28 días (cm/s)
60.148	69.052	75.107	0.288
60.176	71.680	75.471	0.291
61.611	72.784	76.415	0.328
61.640	73.781	77.260	0.333
62.618	74.492	78.212	0.340
62.727	75.575	79.805	0.346



Gráfica 6. Resumen de resistencias a compresión del concreto permeable obtenidos a los 7, 14 y 28 días.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. Resistencia a la compresión

Los ensayos de compresión fueron aplicados a 24 probetas estándar en total, separándolas en 3 partes para los 7, 14 y 28 días luego de moldeadas y curadas.

Los resultados de dichos ensayos mostraron una baja resistencia a la compresión en todos los periodos de tiempo teniendo como promedios sin aumentos significativos con el transcurso del tiempo así los promedios de la resistencia a la compresión obtenidos son:

Tabla 16. Resistencias promedios del concreto permeable a los 7, 14 y 28 días.

$f'c$ a los 7 días (MPa)	$f'c$ a los 14 días (MPa)	$f'c$ a los 28 días (MPa)
6.030	7.148	7.556

El rango de la resistencia del concreto permeable según la norma ACI 522R-10 es de 2.8 a 28 MPa por lo que si comparo las resistencias promedios de las edades de 7, 14 y 28 días de los ensayos realizados puedo observar que son bajas pero se encuentra dentro de dicho rango.

4.1. Permeabilidad

Los ensayos de permeabilidad arrojan resultados que comprueban la capacidad de este concreto para permitir el paso de agua a través de su matriz, la literatura nos dice que el concreto permeable tiene un coeficiente de permeabilidad entre 0.2 a 0.54 cm/s, en los ensayos realizados obtenemos un coeficiente de permeabilidad promedio de 0.321 cm/s, el cual está dentro del rango anteriormente mencionado.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- La resistencia del concreto permeable elaborado con agregados de la cantera río Jequetepeque – Chilete a la edad de 28 días es de 7.556 MPa pero aun así se encuentra dentro del rango que define la norma ACI 522R-10.
- La permeabilidad del concreto permeable elaborado con agregados de la cantera río Jequetepeque – Chilete medida a través de su coeficiente de permeabilidad es de 0.321 cm/s y se encuentra dentro del rango que normalmente posee el concreto permeable, por lo que en lo que respecta a permeabilidad este agregado es aceptable.
- La baja resistencia hallada en el concreto elaborado se debe entre otros factores a las propiedades del agregado referente a su forma y textura, pues en cuanto a su forma y textura predominantemente es alargadas y lisas respectivamente.
- El uso del aditivo tipo A mostro buenos resultados para hallar un volumen de pasta adecuado consiguiendo que la mezcla tenga consistencia, pues en la primera mezcla de prueba no se utilizó el aditivo y el volumen de pasta no consiguió la consistencia para mantener unidas las partículas del agregado.

Recomendaciones

- Este estudio solo comprende una parte de los ensayos que se necesita realizar en el concreto permeable, por lo que se recomienda realizar otros ensayos como la resistencia de tensión en flexión, durabilidad entre otros.
- Debido a que se ha usado una cantidad de cemento considerable para lograr obtener el volumen de pasta con la consistencia adecuada para obtener el concreto permeable y aun así haber obtenido una resistencia a la compresión baja, no se recomienda usar este agregado para elaborar un concreto permeable, puesto que si el destino de este concreto sería revestir superficies en las que requiera una resistencia a la compresión regular, se tendría que adicionar más cemento y someter a ensayos hasta alcanzar la resistencia deseada, siendo desde el punto de vista económico no rentable.

- Debido a la baja resistencia a la compresión se recomienda usar una combinación de aditivos para lograr mejorar esta propiedad del concreto permeable elaborado con los agregados de la cantera elegida y así evaluar si es que es aceptable mejorando la resistencia se consideraría la fabricación de este concreto orientado como revestimiento de pavimentos de bajo volumen de tránsito.
- Siendo este concreto un material ecológico se recomienda también evaluar desde el punto de vista ambiental su impacto en el medio ambiente, puesto que también influye en la decisión de si se usa o no.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aire, C; Calderón Y; Charca J; Yanqui C. 2013. Estudio del comportamiento frente a la colmatación de hormigón poroso fabricado con áridos naturales y reciclados. Investigación, desarrollo e innovación de estructuras y materiales nov. 2013: 1, 19.

Fernández Arrieta, RJ; Navas Carro, A. 2011. Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad. Infraestructura vial 13(24): 40-49.

Castro, J; De Solminihac, H; Videla, C; Fernández, B. 2009. Estudio de dosificaciones para pavimentos porosos de hormigón. Ingeniería de Construcción. 24(3): 271-284.

Chávez Chaparro, G. 2013. Estudio y análisis de dosificaciones para la elaboración de hormigón poroso con materiales locales. Estudios e Investigaciones del Saber Académico no. 7: 18-22.

Calderón Colca, VY; Charca Chura, JA; Yanqui Murillo, C. 2013. Investigación en concreto poroso. Asociación de productores de cemento sep. 2013: 1-14.

Flores Prieto, JR. 2010. Caracterización del concreto permeable usando el módulo de ruptura y el porcentaje de desgaste. Tesis Mag. en Ing., México, UNAM. 76p

Fernández Arrieta, RJ; Navas Carro, A. 2011. Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad. Infraestructura Vial. 13(24): 40-49.

Pérez Ramos, D. 2009. Estudio experimental de concretos permeables con agregados andesíticos. Tesis Mag. en Ing., México, UNAM. 157p.

Subramaniam, N. 2009. Concreto permeable – un material ecológico que contribuye al ahorro de los recursos hídricos frente a la escases de agua. Asociación de productores de cemento jul. 2009: 1, 18.

González Salcedo, LO. 2008. Conceptos generales sobre agregados. Módulo para las asignaturas: estructuras y materiales de construcción y construcciones agrícolas. Colombia sede Palmira. UNC.

Polanco Rodríguez, A. 2012. Manual de prácticas de laboratorio de concreto. México, UACH. 70p.

Lezama Leiva, JL. 1996. Tecnología del concreto. Perú, UNC.

Guevara Fallas, G. Hidalgo Madrigal, C. Pizarro García, M. Rodríguez Valenciano, I. Rojas Vega, LD. Segura Guzmán, G. 2011. Efecto de la variación agua/ cemento en el concreto. Tecnología en marcha.

Seminario sobre el Código ACI 318-99. (2000, Bogotá, Colombia)

NRMCA (National Ready Mixed Concrete Association, US). s.f.

Rodríguez Solís, SE. 2008. Como Determinar el Tamaño de una Muestra Aplicada a la Investigación Archivística. México. ENBA.

ANEXOS



Chemaplast

Aditivo reductor de agua. Mejora la trabajabilidad del concreto aumentando la resistencia a la penetración de humedad.

Version: Agosto 2015

DESCRIPCIÓN:

El CHEMAPLAST si bien es básicamente un plastificante, tiene además otras propiedades. Es un producto adecuado las especificaciones ASTM C-494 tipo A. Es un concentrado de color marrón listo para usarse, fabricado a base de agentes dispersantes de alta eficacia exento de cloruros. No es tóxico ni corrosivo.

Hace posible diseñar mezclas de concreto de fácil colocación con un contenido de hasta 10% menor de agua, generando el ahorro correspondiente a la compresión y durabilidad del concreto. Reduce la permeabilidad del concreto.

USOS:

Como reductor de agua o como plastificante.

- o En concretos estructurales de edificaciones y en elementos esbeltos.
- o En concreto caravista.
- o En concretos pretensados y postensados.
- o En concretos para elementos pre-fabricados: postes, buzones, cajas, tuberías, etc.
- o En concretos para pavimentos y puentes.
- o En concretos que deban ser desmoldados a temprana edad.
- o En concretos de reparación en general.
- o En construcciones frente al mar se recomienda usarlo desde las cimentaciones, en el mortero de asentado y en el terraje.
- o En esculturas de concreto.

VENTAJAS:

El concreto tratado con CHEMAPLAST tiene las siguientes propiedades:

1. **MEJOR ACABADO:** La plasticidad permite un mejor acabado, por lo tanto, aumenta la durabilidad.
2. **AUMENTA LA TRABAJABILIDAD** y facilidad de colocación del concreto en elementos con alta densidad de armadura sin necesidad de aumentar la relación agua / cemento.
3. **DISMINUCION DE LA CONTRACCION** DEBIDO A LA MEJOR RETENCION DEL AGUA así como mayor aglomeración interna del concreto en estado plástico.
4. **AUMENTA LA RESISTENCIA A LA COMPRESION** y flexión a todas las edades; mejora la adherencia al acero de construcción.
5. **AUMENTA LA HERMETICIDAD AL AGUA** impermeabilizándolo y produciendo mayor resistencia a la penetración de la humedad y por consiguiente al ataque de sales.
6. **AUMENTA LA DURABILIDAD** hasta un 100% adicional, debido a su alto grado de resistencia, al salitre, sulfatos y cloruros.

CARACTERÍSTICAS FISICO - QUIMICAS

Pe	: 4.2 Kg/gl.
Color	: Marrón oscuro
Aspecto	: Líquido
Solubilidad	: Con agua
Efectos fisiológicos	: En contacto con los ojos lavarse con abundante agua.

DOSIFICACION:

- Para condiciones promedio de temperatura y de diseño utilice de 145 ml. a 360 ml. por bolsa de cemento debiendo realizarse pruebas previas.
- Añada CHEMAPLAST al agua de amasado sin combinarlo con otros.
- Para morteros impermeables use diseño de 1:3 (1 de cemento + 3 arena fina).

La información que suministramos está basada en ensayos que consideramos seguros y correctos de acuerdo a nuestra experiencia. Los usuarios quedan en libertad de efectuar las pruebas y ensayos previos que así lo requieran convenientemente para determinar el uso apropiado para un uso particular. El uso, aplicación y manejo de los productos, queda fuera de nuestro control y de nuestra responsabilidad del usuario.



IMPORTADORA TÉCNICA INDUSTRIAL Y COMERCIAL S.A.

Av. Industrial 765, Lima 1, Telef. (511) 336-8407 - Fax (511) 336-8408
e-mail: chema@ticsa.com web: www.ticsa.com



ALMACENAMIENTO:

Mínimo un año en un lugar fresco y ventilado en su envase original cerrado.

PRESENTACION:

Envases de 1 gal., 5 gal y 55 gal.

PRECAUCIONES:

Producto tóxico, MORTGÉER, mantenga el producto fuera del alcance de los niños.
 No comer ni beber líquidos después de usarlo.
 Lave las manos luego de manipular el producto.
 Use los guantes de seguridad, gafas y ropa protectora de trabajo.
 Almacene el producto bajo sombra y en ambientes ventilados.
 En caso de contacto con los ojos y la piel, lávelos con abundante agua.
 Si es ingerido, no provocar vómitos, procure buscar ayuda médica inmediata.

CUADRO DE IMPERMEABILIZANTES INTEGRALES CHEMA

PRODUCTO	DESCRIPCION	USOS	DOSES
CHEMA POLVO	El CHEMA POLVO es un polvo integral resistente al agua que le da a los muros y concretos características técnicas de masa e impermeabilidad. El CHEMA POLVO sella obstruyendo la porosidad de los muros o concreto y evita la succión capilar interna. Disminuye la permeabilidad dentro de las líneas consideradas en el ASTM.	<ul style="list-style-type: none"> - Obras hidráulicas, represas, canales de irrigación o riego. - Tanques de agua, piscinas, jardines. - El asentado de las primeras líneas de albañilería que evitan la succión capilar de humedad y el salitre. - Sobrecimientos y paredes, especialmente estructuras expuestas a la intemperie. - Pisos, techos pisos y contrapisos, cubiertas de azotea. - En general en estructuras que se encuentran sometidas a grandes presiones de agua. 	1 KILÓ POR BOLSA DE CEMENTO
CHEMA LIQUIDO	El CHEMA LIQUIDO es un polvo integral de alta calidad que disminuye la permeabilidad dentro de las líneas consideradas en el ASTM y evita la succión por capilaridad, tanto en muros como en concretos.	<ul style="list-style-type: none"> - Obras hidráulicas, represas, reservorios, canales de irrigación. - Tanques de agua potable y piscinas. - Muros para el asentado de las primeras líneas de albañilería que evitan la succión capilar de la humedad y el salitre, evitando futuros problemas. - Sobre estructuras, bóvedas y paredes, especialmente estructuras expuestas a la intemperie y la lluvia. - Pisos, techos pisos y contrapisos, cubiertas de azotea. - En general en estructuras de concreto que se encuentran lejos del agua o a lo intemperie. 	12 GALÓN POR BOLSA DE CEMENTO
CHEMA	CHEMA es un impermeabilizante integral que le otorga a los muros y concretos características técnicas de masa, Obstruye la porosidad dentro del mortero o concreto reduciendo la absorción del agua. Obstruye la permeabilidad dentro de los límites considerados en el ASTM.	<ul style="list-style-type: none"> - Obras hidráulicas, represas, canales de irrigación o riego. - Tanques de agua, piscinas, jardines. - El asentado de las primeras líneas de albañilería para evitar la succión capilar de humedad y el salitre. - Sobrecimientos y paredes, especialmente estructuras expuestas a la intemperie. - Pisos, techos pisos y contrapisos, cubiertas de azotea. - En general en estructuras que se encuentran sometidas a grandes presiones de agua. 	1 KILÓ POR BOLSA DE CEMENTO
CHEMA PLAST	El CHEMA PLAST es un impermeabilizante integral, tiene además otras propiedades. Satisface las especificaciones ASTM C-703 tipo A. Es un concentrado de color blanco para usarse, mezclado a base de agua, dispensando de una eficaz especie de pintura en su modo de empleo. Hace posible crear morteros de concreto de alta calidad reduciendo hasta el 50% de agua, generando el aumento correspondiente en la compactación y durabilidad del concreto. Reduce la permeabilidad del concreto.	<ul style="list-style-type: none"> - Como recubridor de agua o contra plastificación. - En concretos estructurales de edificaciones y en superficies de concreto. - En concreto curado. - En concreto reforzado y pretensado. - En concreto para elementos prefabricados: postes, columnas, cajas, tuberías, etc. - En concreto para pavimentos y puentes. - En concreto que deberá ser desmenuzado a temperatura normal. - En concreto de reparación en general. - En construcciones frente al mar se recomienda usarlo desde las cimentaciones, en el mortero de acortamiento y en el terrazo. - En estructuras de concreto. 	145 - 360 cc por bolsa de cemento, 34 l. por bolsa de cemento.
CHEMA ISOLATE	El CHEMA ISOLATE es un producto que contiene incorporados de aire y microburbujas que al ser añadido al mortero o cemento su volumen, reduce su densidad por lo que reduce el peso del mortero y mejora su aislamiento térmico sobre concreto o mader.	<ul style="list-style-type: none"> - Masas para impermeabilizar y mejorar el aislamiento térmico en cubiertas de techos de madera, concreto, fibrocemento o plásticos. - Economía en su costo y aplicación. - Alta resistencia a los cambios de temperatura debido al alto grado de incorporados de aire que contiene. - Alta durabilidad. - En la cubría de techos el uso de CHEMA ISOLATE reemplaza la lana de barro y perlita ahorrando el peso. - Reduce la cantidad del mortero (Ver tabla, si desea mayor información). 	10 KG. POR BOLSA DE CEMENTO



Foto 1. Tamizado del agregado para separar agregado de 3/8" a usar.



Foto 2. Secado al aire del agregado lavado



Foto 3. Secado del agregado con un paño para obtener la condición de húmedo superficialmente seco

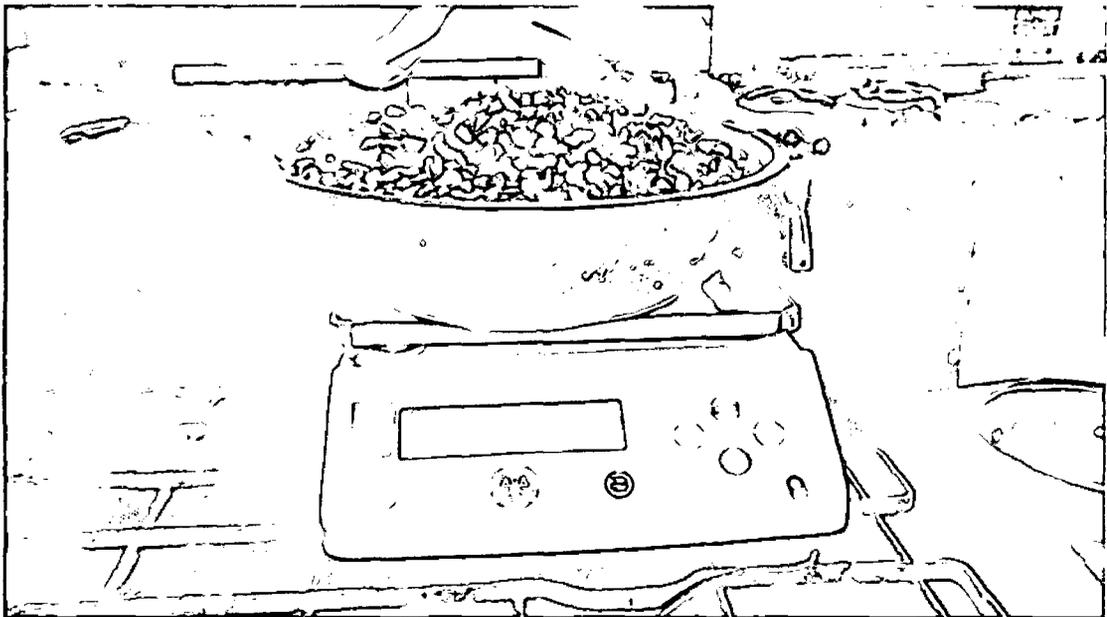


Foto 4. Medidas de peso para cálculos de peso específico.

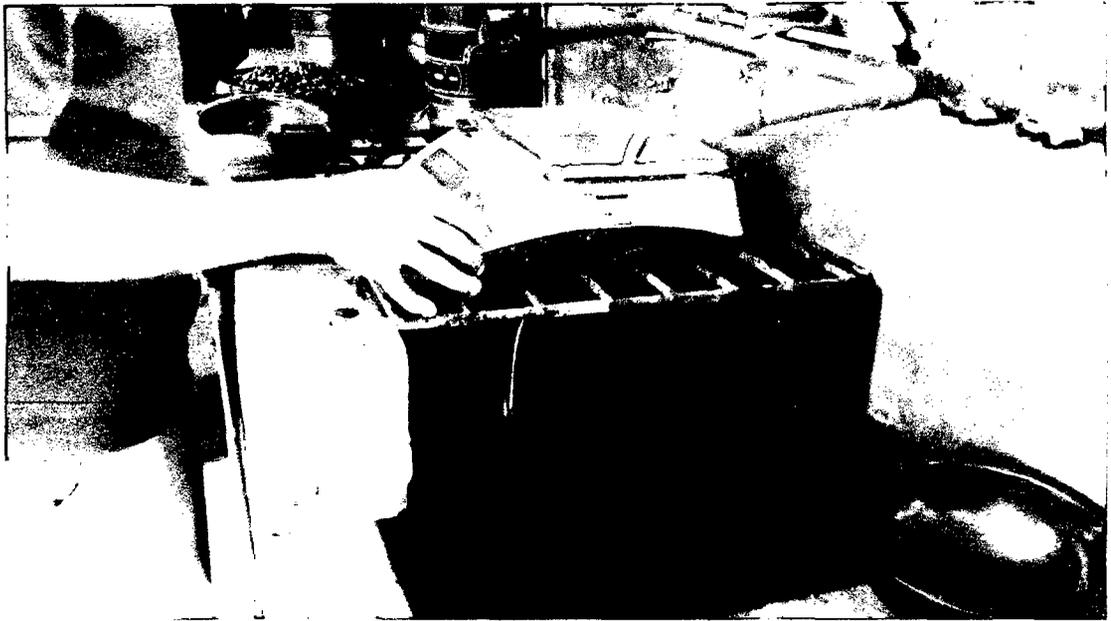


Foto 5. Medidas de pesos del agregado colocado en la canastilla y sumergido.



Foto 6. Cemento Portland tipo I y aditivo tipo A Chemaplast.

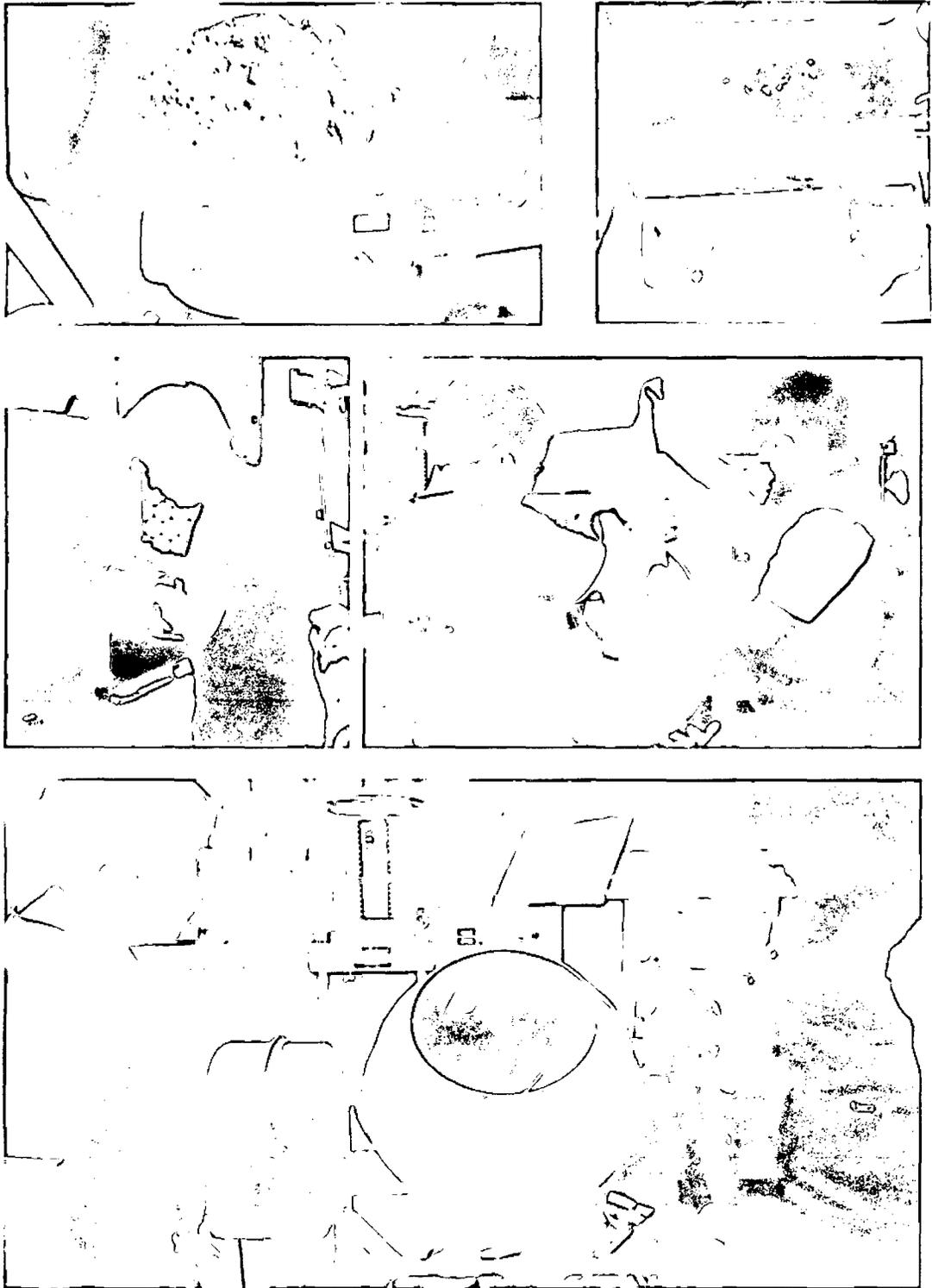


Foto 7. Medidas de las proporciones de los materiales y mezclado del concreto



Foto 8. Moldeo de probetas (tres probetas por tanda).

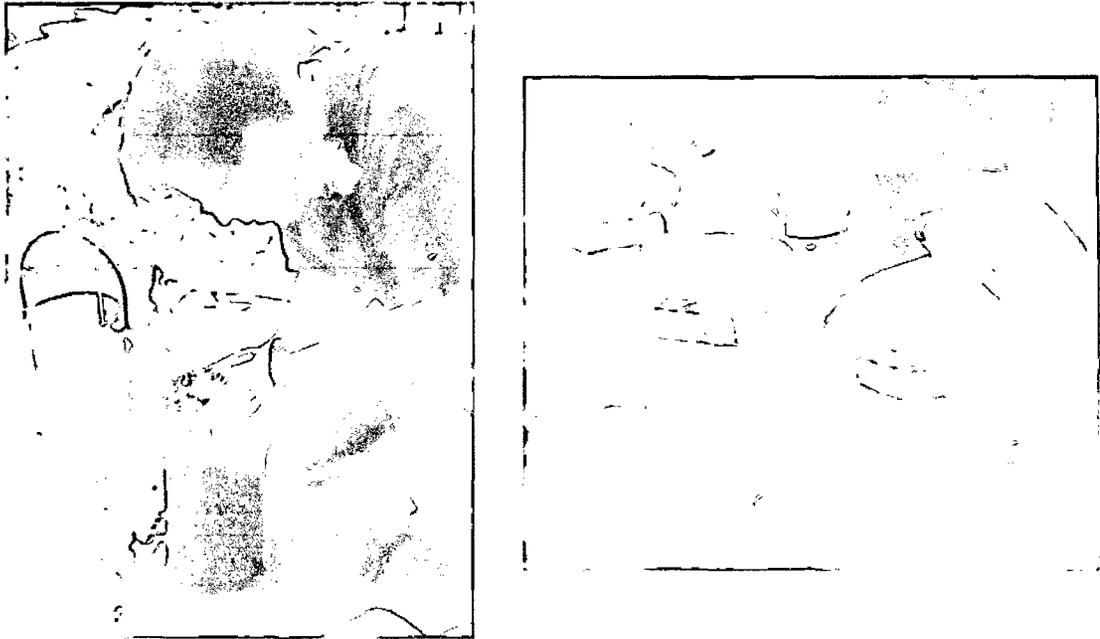


Foto 9. Desencofrado de las probetas que a continuación son puestas en bolsas plásticas.



Foto 10. Medidas de las probetas antes de ser ensayadas a la compresión.



Foto 11. Colocación de tapas de neopreno en los extremos de la probeta.

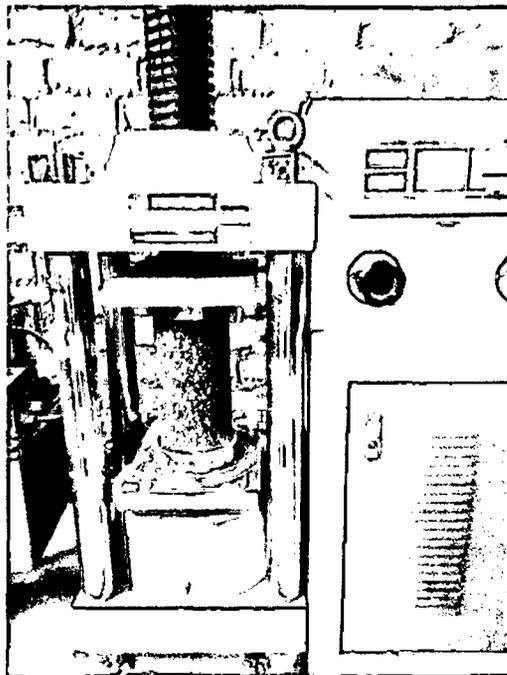


Foto 12. Probeta de concreto permeable colocada en la máquina hidráulica.



Foto 13. Aplicación de carga sobre la probeta de concreto permeable.

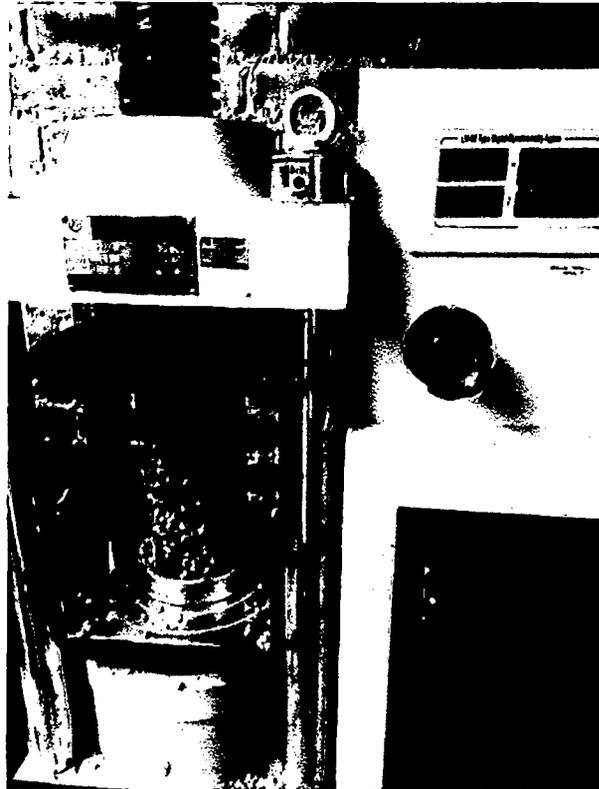


Foto 14. Falla de la probeta sometida a compresión.

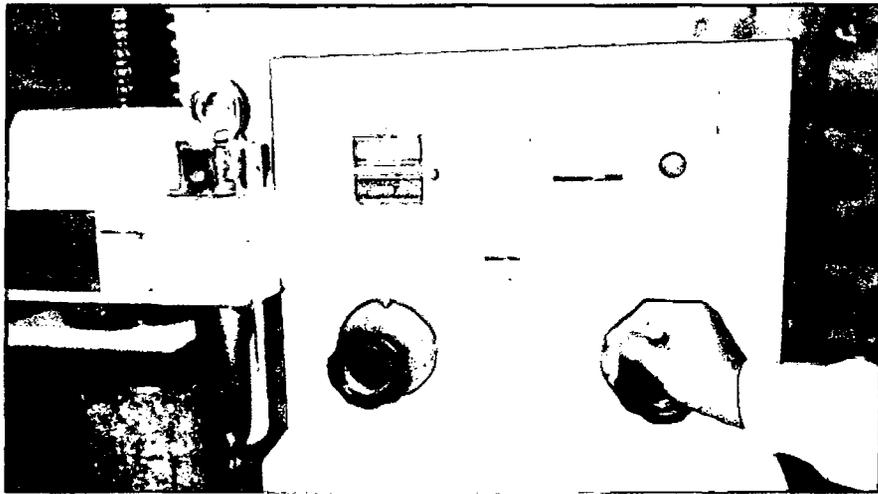
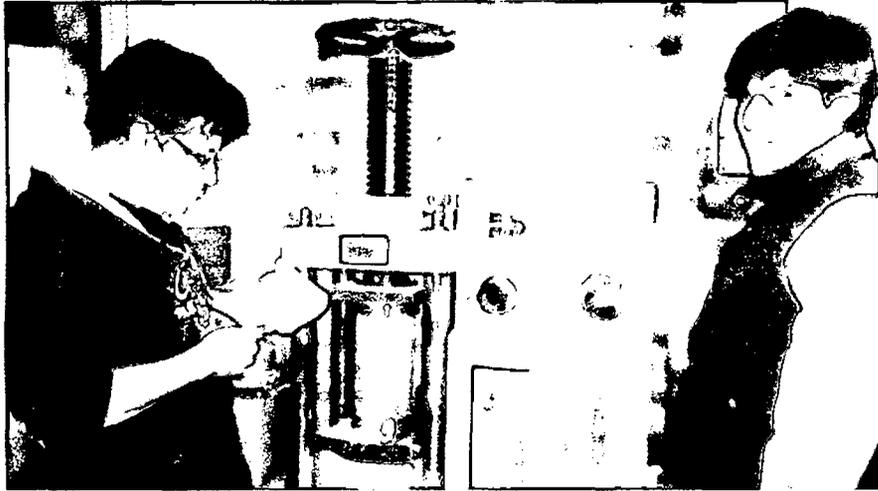


Foto 15. Falla de la probeta sometida a ensayo de compresión.

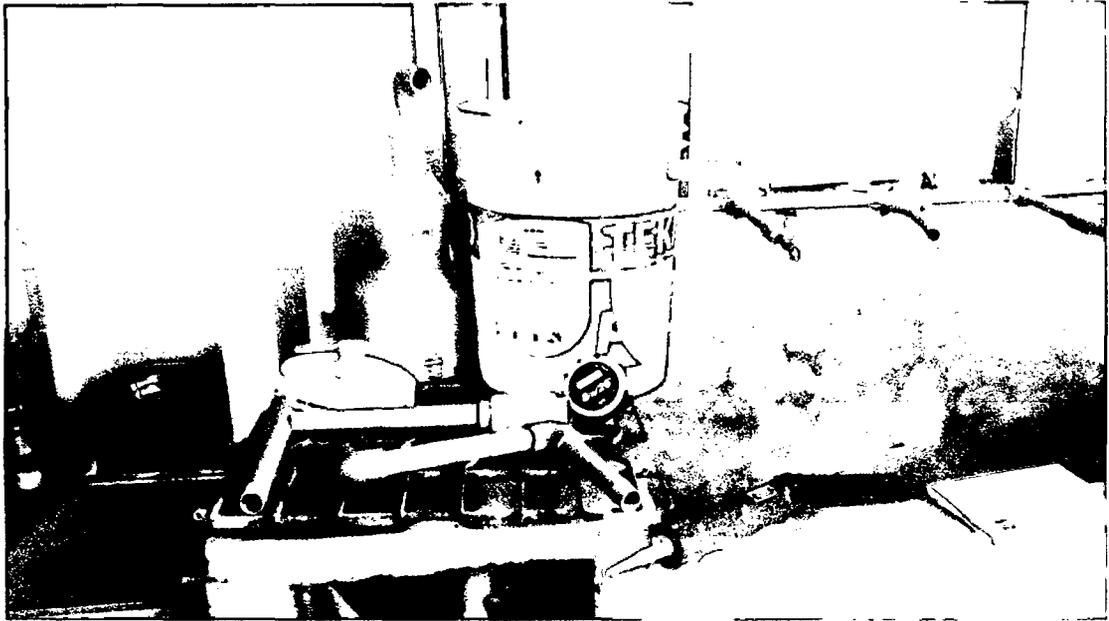


Foto 16. Materiales empleados para la fabricación del permeámetro de carga constante.

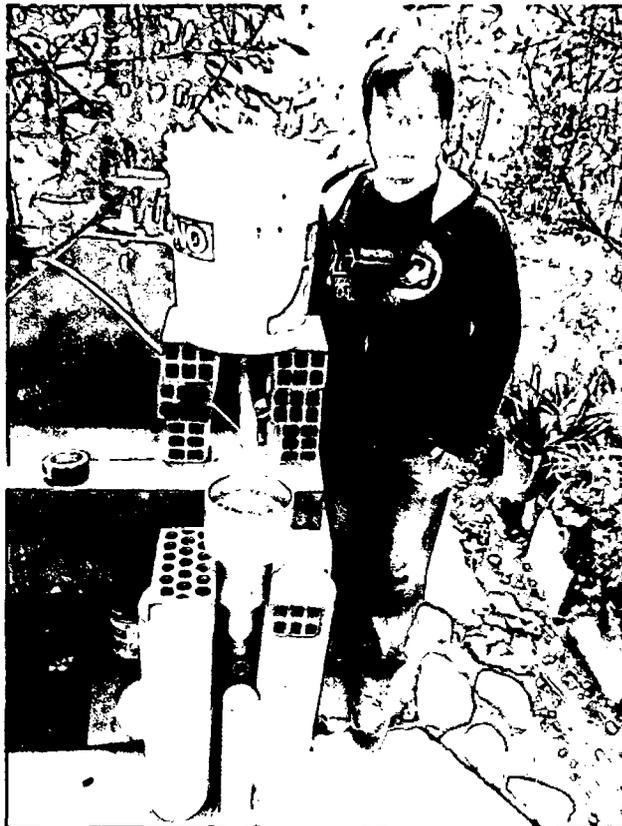


Foto 17. Armado parcial del permeámetro de carga constante.

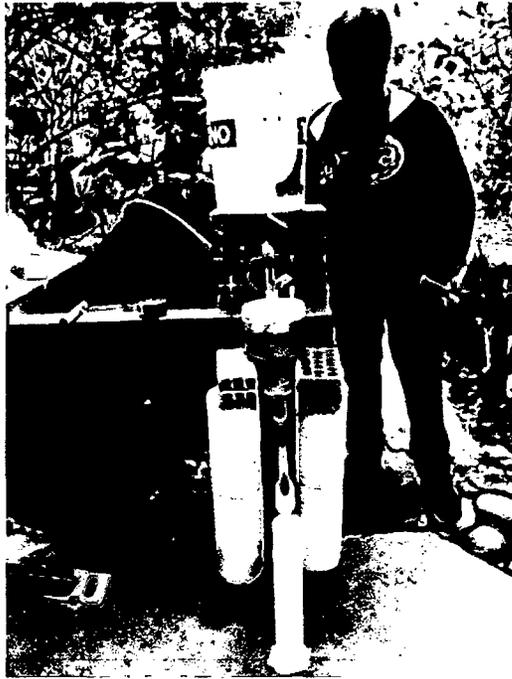


Foto 18. Armado completo del permeámetro de carga constante.



Foto 19. Medida de la pérdida de carga (H) en el permeámetro de carga constante.

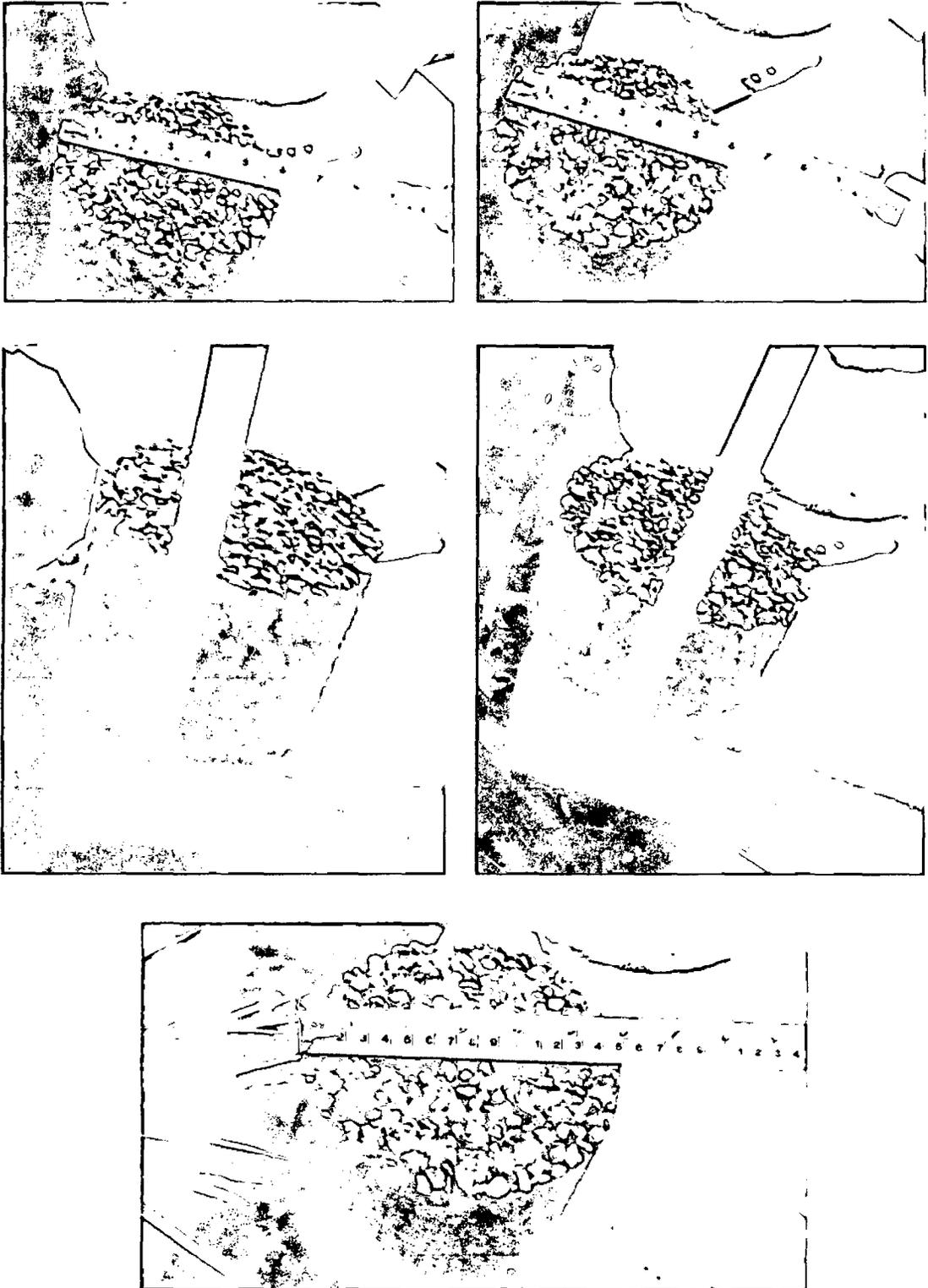


Foto 20. Toma de medidas de las probetas chatas para someterlas a ensayo de permeabilidad.



Foto 21. Ensayo de permeabilidad.



Foto 22. Permeabilidad.