

Analysis of concrete $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, 210 kg/cm^2 , 245 kg/cm^2 and 280 kg/cm^2 of low permeability, subjected to high water pressures

Llanos Soto Jheyemi Thalía, Estudiante¹, Sota Solis Enrique Gustavo, Estudiante², Huaricallo Vilca Yvan, Doctor³, Romero Cueva Yoner Jaime⁴

¹Universidad Privada del Norte, Perú, N00219301@upn.pe

²Universidad Privada del Norte, Perú, N00039194@upn.pe

³Universidad Privada del Norte, Perú, yvan.huaricallo@upn.edu.pe

⁴Universidad Privada del Norte, Perú, yoner.romero@upn.edu.pe

Abstract– The purpose of the research was to analyze the behavior of low permeability concrete with compressive strength $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, 210 kg/cm^2 , 245 kg/cm^2 and 280 kg/cm^2 under high water pressure. During the development of the research, 56 specimens were prepared at the age of 28 days, mainly for tests of compressive strength, indirect tensile strength and water penetration depth at a pressure of 50 m.c.a. (meters of water column), according to the European standard UNE-EN-12390-08. Subsequently, through the analysis it was determined that the properties of concrete such as: slump, fresh unit weight, dry unit weight, compressive strength, indirect tensile strength, porosity, absorption, water penetration in the concrete. These last two values are necessary to determine the permeability coefficient using the VALENTA equation. Finally, concluding that concrete with a design of 210 kg/cm^2 is the most adequate for hydraulic construction, since it favors economic savings and avoids damage to society.

Translated with www.DeepL.com/Translator (free version)

Keywords-- Concrete, low permeability, compressive strength, water pressure.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

Análisis del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, 210 kg/cm^2 , 245 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2 de baja permeabilidad, sometido a altas presiones de agua

El propósito de la investigación fue analizar el comportamiento del concreto de baja permeabilidad con resistencia a la compresión $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, 210 kg/cm^2 , 245 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2 bajo alta presión de agua. Durante el desarrollo de la investigación se trabajó en laboratorio de concreto y se prepararon 56 probetas a la edad de 28 días, principalmente para ensayos de resistencia a compresión, resistencia a tracción indirecta y profundidad de penetración de agua a una presión de 50 m.c.a (metros de columna de agua), Según la norma europea UNE-EN-12390-08. Posteriormente, a través del análisis se determinó, que las propiedades del concreto tales como: asentamiento, peso unitario fresco, peso unitario seco, resistencia a la compresión, fuerza de tracción indirecta, porosidad, absorción, penetración de agua en el concreto. Siendo estos 2 últimos valores necesarios para determinar el coeficiente de permeabilidad utilizando la ecuación de VALENTA. Finalmente, concluyendo que el concreto con un diseño de 210 kg/cm^2 es el más adecuado para la construcción hidráulica, ya que favorece en ahorro económico y evita daños en la sociedad.

Palabras clave-- Hormigón, baja permeabilidad, resistencia a la compresión, presión de agua.

I. INTRODUCCIÓN

Las obras hidráulicas sirven para utilizar, tratar, planificar y gestionar correctamente el uso del agua ya que es esencial para el bienestar de la sociedad y el medio ambiente [1].

El Perú tiene logros significativos en la tecnología de la construcción utilizando concreto en obras hidráulicas, demostrando gracias a los avances tecnológicos que pueden brindar un mejor rendimiento y una vida más larga de estas estructuras gracias a su mayor resistencia y durabilidad. [2].

En Cajamarca se ha dado una gran expansión de áreas urbanas. En este crecimiento se identificó la necesidad de que las obras hidráulicas deberían aprovechar al máximo el agua, teniendo en cuenta que hay muy pocas investigaciones relacionadas al tema. Al intentar aprovechar este líquido vital se observaron grandes pérdidas debido a filtraciones en algunas estructuras de concreto, siendo este un material muy utilizado en obras de este tipo. Dichas filtraciones pueden producirse por fuertes lluvias [3], [4] y [5].

Para que un concreto sea de baja permeabilidad debe obtener un coeficiente (k) menor a 10-12 m/s con una profundidad de penetración por presión de agua menor a 30mm. Considerando que los fenómenos frecuentes que causan penetración son en el siguiente orden: capilaridad, penetración de agua bajo presión o permeabilidad [6], [7] y [8]. Por consiguiente, es necesario establecer la influencia de las

presiones del agua en un concreto de baja permeabilidad de $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, 210 kg/cm^2 , 245 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2 .

El estudio tiene el propósito de evaluar la resistencia a la compresión y determinar las propiedades físicas del concreto expuesto a alta presión de agua. El desarrollo de este estudio se llevó a cabo en el laboratorio de concreto de la Universidad Privada del Norte realizando estos ensayos de resistencia a diferentes edades. Luego se determinaron las propiedades afectadas del concreto para determinar cuál de las cuatro resistencias de diseño evaluadas es favorable para una construcción hidráulica libre de fugas.

La estructura interna del concreto es muy compleja y heterogénea, por ello es útil estudiar la relación entre su estructura y sus propiedades a medida que cambian para influir en ellas y adaptarlas a la estructura que se está construyendo [9] y [10].

La porosidad en el concreto ocurre porque los agregados, el cemento y el agua generalmente se mezclan y durante ese proceso el aire ingresa a los espacios de mezcla, incluso cuando el concreto se encuentra en las primeras etapas de curado [11] y [12]

Una de las propiedades más importantes del concreto es la permeabilidad ya que diferentes líquidos pueden fluir a través de él debido a las presiones diferentes entre las superficies opuestas del material. Depende del tamaño, la distribución y la continuidad de poros, ya que la estructura final de la pasta de cemento tiene poros y estructuras numerosas pequeñas y sólidas [13]. La hermeticidad se refiere a que el concreto es capaz de retener la humedad sin fugas significativas y, en el caso de los sistemas de impermeabilización o sellado, se refiere a que la cantidad de agua que pasa a través del concreto es menor que la cantidad que se evapora dentro de él [14].

La relación agua-cemento, los agregados, el curado y el tipo de cemento son factores que intervienen en la permeabilidad del concreto [11]

Las razones antes mencionadas sirven para realizar la formulación del problema en este estudio ¿Cuál es el comportamiento del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, 210 kg/cm^2 , 245 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2 de baja permeabilidad, sometido a altas presiones de agua?

El objetivo de este estudio es evaluar la baja permeabilidad del concreto como alternativa de solución a las pérdidas de agua por infiltración en estructuras hidráulicas. También se considerará como un recurso bibliográfico para estudiantes de ingeniería, técnicos de hormigón, profesionales de la industria de la construcción y como un alcance para los ingenieros diseñadores de concreto, ya que enmarcan sus hallazgos en relación con los contextos demográficos y sociales.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

II. METODOLOGÍA

El trabajo sigue un estudio que busca cuantificar el efecto de penetración de cada resistencia de concreto de acuerdo con su diseño, según el conocimiento perseguido se está haciendo uso del tipo de investigación aplicada, la cual utiliza información existente y determina si los problemas actuales pueden ser resueltos. Además, cabe señalar que, si bien el diseño se desarrolló, los resultados obtenidos se pueden usar en cualquier momento y lugar, siempre que se realice el diseño de mezcla adecuado, ya que el conocimiento generado por este tipo de investigaciones no depende de la ubicación geográfica. Basado en la recolección de datos, es un estudio prospectivo porque está orientado hacia el futuro. Finalmente, basado en el número de mediciones durante un periodo de tiempo es una investigación longitudinal porque se utilizan los instrumentos en diferentes momentos [15]. Por ello, se realizaron una serie de pruebas para evaluar el comportamiento del concreto en función de cada diseño de resistencia. La variable independiente es el concreto con resistencias $f_c = 175 \text{ kg/cm}^2$, 210 kg/cm^2 , 245 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2 , que fue manipulada para cambiar el comportamiento de la presión del agua sobre las muestras de concreto.

La población de referencia son los concretos de baja permeabilidad con resistencias $f_c = 175 \text{ kg/cm}^2$, 210 kg/cm^2 , 245 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2 , ya que lo único que cambió es el diseño de mezclas y otras propiedades, esperando que solo se vea afectada por este diseño o un factor externo.

La Fig. 1 presenta La cantera de donde se obtuvo el material para realizar dicho concreto fue "La Victoria", ubicada con un rumbo de $S 69^\circ E$ a 6 km de la ciudad de Cajamarca, a orillas del río Cajamarquino, la cual está compuesta de agregado fino (arena) y agregado grueso de río (grava).

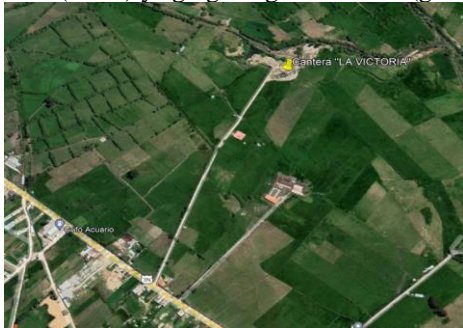


Fig. 1 Ubicación de la cantera "La Victoria".
Tomado de Google Earth 2022.

TABLA I
COORDENADAS DE UBICACIÓN DE LA CANTERA "LA VICTORIA"

Ubicación	Coordenadas UTM (Norte)	Coordenadas UTM (Este)
Ciudad Cajamarca	9206784	7777333
Cantera "La Victoria"	9205033.5	779896.7

El tipo de muestra no es probabilística ya que la selección y el tamaño de la muestra se determinaron en base a resultados, pruebas de laboratorio o la propia experiencia, luego estos datos se interpretaron y pasan a formar parte de la discusión de resultados. Por lo tanto, es posible interpretar los resultados de la relación del diseño de cada resistencia del concreto [16].

Con base en las razones anteriores, se optó realizar 56 probetas, 14 muestras de cada grupo de resistencia con un curado húmedo continuo de 28 días y 16 muestras para la prueba de alta presión de agua (En tiempos de 1h, 4h, 12h, 24h) para determinar pruebas comparativas al presente estudio.

Las técnicas de recolección de datos usada fueron la observación, utilizada para percibir cómo se comportó el concreto ante la variación de acuerdo con cada resistencia. Y el análisis de documentos, la cual es una técnica adaptada que tomó como referencia tesis, libros y artículos que complementaron nuestros conocimientos y de esta manera apoyaron a la información de este estudio.

Los instrumentos utilizados son una adaptación que brinda validez y confiabilidad, son guías de documentos, los cuales contienen las guías de laboratorio de la Norma Técnica Peruana (NTP) [17]. y ASTM (American Society for Testing and Materials) [18] empleadas siguiendo los pasos indicados para la buena ejecución de los ensayos en la Universidad Privada del Norte.

La Fig 2 presenta el diagrama de flujo de procesos, el cual es el procedimiento de recolección de datos.

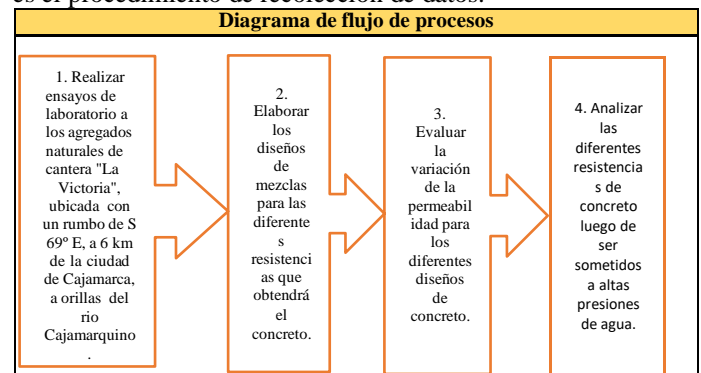


Fig. 2 Diagrama de procedimiento y análisis de datos.

Partiendo del trabajo de laboratorio, los agregados fueron trasladados desde la cantera "La Victoria" hacia el laboratorio de la Universidad Privada del Norte. Luego, se procedió a realizar los siguientes ensayos:

- Análisis de granulometría.
- Contenido de humedad.
- Peso específico y absorción de agregados.
- Fórmulas de peso unitario suelto de los agregados (grueso y fino).
- Peso unitario compactado de los agregados (grueso y fino).

Los materiales complementarios fueron:

- Cemento tipo I (Pacasmayo), con 3.13 gr/cm^3 de peso específico.
- Agua.

A. Validación y confiabilidad de instrumentos

En la investigación se trabajó con el método del módulo de fineza de la combinación de agregados, logrando una dosificación en estado fresco, trabajable, económico, y

resistente, porque este método tiene cantidades similares de agregado fino y grueso.

El concreto fue utilizado para elaborar probetas que son moldeadas y se realizaron ajustes al diseño de mezcla de acuerdo con la dosificación. Para la elaboración de las probetas se tuvo en cuenta la norma NTP 339.033. [17]

❖ **Ensayo a compresión de las probetas de edad de 28 días de las diferentes resistencias de 175,210,245 y 280kg/cm²**

La medida se tomó cuando la probeta se fue fracturando en la máquina de ensayos de compresión.

La resistencia a compresión se calculó a partir de la ruptura que es dividida por el área de la sección de la probeta bajo carga y su unidad de medida es en kg/cm².

❖ **Peso unitario de las probetas**

El peso de la muestra se calculó dividiéndolo entre su volumen. El peso unitario tiene que ir entre 2200 y 2400kg/cm²

❖ **Prueba de la profundidad (penetración de agua bajo presión) (Norma en 12390-8)**

• **Gestión del equipo de penetración.**

La máquina fue fabricada para funcionar con una compresora de aire conectada a manguera que iba hacia la cámara de agua y al ser activada se iba aplicando presión de agua fluyendo hacia la muestra.

y, esta se conectó **Proceso ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión.**

Disposición de las probetas

- Tuvieron medidas de 12" x 6".
- Todas tuvieron un curado de 28 días.

- Se tomó el peso de las probetas en seco.
- Fueron secadas en el horno durante 24 horas a 110°C y nuevamente se pesaron, con esto se pudo hallar la porosidad y absorción con:

$$V_v$$

$$\text{Porosidad} = \frac{V_v}{V_t} \times 100 \text{----- (1)}$$

Ecuación 1: Ecuación porosidad

$$\text{Absorción} = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100 \text{----- (2)}$$

Donde:

- V_v=Vol. de vacíos.
- V_t=Vol. total
- P_h=Peso de probeta (húmeda)
- P_s=Peso de probeta (seca)

Ecuación 2: Ecuación absorción

Fue importante que la probeta esté seca por completo para que así se puede observar la penetración del agua en el concreto.

• **Recopilación y procesamiento de datos**

Cuando los resultados se registraron en el formato de ensayos para determinar la profundidad de penetración del agua

a baja presión EN 12390-8. Se reportó el valor promedio de la profundidad de penetración máxima bajo presión de agua en ambas secciones de la probeta y se graficó según sus características.

Ley de Darcy [19]

Se debe conocer el coeficiente de permeabilidad k.

$$v = KI = K \frac{Hr}{x} \text{----- (3)}$$

Donde:

- Hr: presión.
- x: profundidad de la penetración.

Ecuación 3: Ley de Darcy

Para sistemas continuos de poro abierto todas las pruebas de laboratorio de permeabilidad tuvieron esta propiedad física, necesaria para la investigación. En el caso de flujo inestable:

$$v = K \frac{Hr}{X}, dx = V dt, X^2 = 2K Hr t$$

$$K = \frac{X^2 P}{2Hr t} \text{----- (4)}$$

Ecuación 4: Ley de Darcy para sistemas continuos

Para cualquier Hr, X y t se debe medir k, y en el caso de que un flujo sea estable:

$$v = K \frac{Hr}{L}, Q = fV, \frac{Q}{f} = K \frac{Hr}{L}$$

$$K = \frac{QL}{fHr} \text{----- (5)}$$

Donde:

- Q: Caudal.
- f: Sección del flujo.
- L: Espesor de muestra.

Ecuación 5: Ley de Darcy para cualquier Hr

Coefficiente de permeabilidad [20]

Se tiene la ecuación de Valenta. El resultado fue una medición de la profundidad máxima de penetración según la Norma EN 12390-8. Sin embargo, no determina directamente la permeabilidad. Para esto se usó esta ecuación, sumando la masa de cada probeta para poder determinar la fracción de volumen de poros, esto no es parte de la EN 12390-8.

Fórmula de Valenta:

$$k = \frac{P^2 V}{2TH} \text{----- (6)}$$

Donde:

- k= Coeficiente (permeabilidad).

- p= Profundidad (penetración en m)
- V= Porosidad (%)
- T= tiempo de ensayo (seg)
- H= Presión (en m.c.a)

Ecuación 6: Fórmula de Valenta

Cada prueba realizada se complementó con la normativa correspondiente. En ausencia de normativa peruana que sustente la prueba se utilizó la norma extranjera, en cuyo caso se trate de una prueba no normada fue respaldada por algunos trabajos de investigación que hayan hecho uso de esta. En cuanto a la fiabilidad de los resultados, las pruebas se realizaron en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte. Es importante señalar que la confiabilidad de los ensayos depende en gran medida de la calibración de los instrumentos, es por ello por lo que se realizaron 14 probetas para cada resistencia.

B. Aspectos éticos

A lo largo del desarrollo de este estudio, se han respetado los derechos del autor, citando todos los textos que no son de nuestra autoría. Además, este documento es desarrollado para enriquecer el conocimiento sobre el concreto de baja permeabilidad y fomentar su uso para obras hidráulicas, con resultados válidos y confirmados por la normativa NTP y ASTM. En cualquier caso, la ética profesional nos obliga a desarrollar este trabajo de la mejor manera para que sirva como guía o referencia a futuras investigaciones.

III. RESULTADOS

Se presentan los principales resultados de esta investigación.

A. Análisis de peso unitario de concreto fresco

- **Peso unitario del concreto $f'c=175\text{kg/cm}^2$, 210kg/cm^2 , 245kg/cm^2 y 280kg/cm^2 .**

TABLA II
PESO UNITARIO CONCRETO FRESCO DE $f'c=175\text{KG/CM}^2$, 210KG/CM^2 , 245KG/CM^2 Y 280KG/CM^2 A EDAD DE 28 DÍAS

RESISTENCIA DEL CONCRETO ($f'c$)	PESO UNITARIO 28 DÍAS (kg/m ³)
$f'c=175$	2500.201
$f'c=210$	2460.956
$f'c=245$	2408.062
$f'c=280$	2435.809

De la TABLA II se puede determinar que los valores obtenidos del peso unitario del concreto en estado fresco están en el rango de 2500kg/m^3 y 2400kg/m^3 . El objetivo fue obtener el peso del concreto en m^3 para posteriormente poder verificar los rendimientos de los diferentes concretos diseñados, esto nos sirvió para determinar la porosidad y la absorción del concreto. Según los datos, el menor peso unitario en estado fresco se da en las probetas diseñadas con $f'c=245\text{kg/cm}^2$ a 28 días, y el mayor peso unitario en $f'c=175\text{kg/cm}^2$ a los 28 días. Los datos fueron obtenidos en el laboratorio de la Universidad Privada del

Norte, sacando el promedio del peso de 6 probetas de cada resistencia justo después de haber cumplido su tiempo de curado, por lo que la probeta contenía agua en su interior.

B. Peso unitario del concreto seco.

- **Análisis peso unitario del concreto $f'c=175\text{kg/cm}^2$, 210kg/cm^2 , 245kg/cm^2 y 280kg/cm^2 .**

TABLA III
PESO UNITARIO DEL CONCRETO SECO DE $f'c=175\text{KG/CM}^2$, 210KG/CM^2 , 245KG/CM^2 Y 280KG/CM^2 A EDAD DE 28 DÍAS

RESISTENCIA DEL CONCRETO ($f'c$)	PESO UNITARIO 28 DÍAS (kg/m ³)
175	2263.904
210	2352.401
245	2304.110
280	2346.513

De la TABLA III se puede determinar que los valores obtenidos del peso unitario seco están en el rango de 2400kg/m^3 y 2200kg/m^3 , valores recomendables por Aceros Arequipa en su artículo sobre "Tipos de concreto según su peso unitario" Donde se indica que el concreto que solemos utilizar para construcciones es de 175 a 350kg/cm^2 y la variación del peso se debe a la diferente composición de agregados, agua y cemento [21].

El objetivo es determinar el volumen absoluto de los agregados, los cuales fueron sometidos a compactación en la elaboración de probetas, esto nos sirvió para determinar la porosidad y la absorción del concreto. En los datos se observa que el menor peso unitario en estado seco se da en las probetas diseñadas con $f'c=175\text{kg/cm}^2$ a 28 días, y el mayor peso en $f'c=280\text{kg/cm}^2$ a los 28 días. Los datos fueron obtenidos en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte, sacando el promedio del peso de 6 probetas de cada resistencia justo después de haberlas curado durante 28 días.

C. Análisis de porosidad y absorción del concreto $f'c=175\text{kg/cm}^2$, 210kg/cm^2 , 245kg/cm^2 y 280kg/cm^2 .

TABLA IV
POROSIDAD Y ABSORCIÓN DEL CONCRETO DE $f'c=175\text{KG/CM}^2$, 210KG/CM^2 , 245KG/CM^2 Y 280KG/CM^2 A EDAD DE 28 DÍAS

RESISTENCIA DEL CONCRETO ($f'c$)	POROSIDAD	ABSORCIÓN
175	9.608	4.311
210	8.715	3.821
245	7.395	3.264
280	6.450	2.660

Observando la TABLA IV se puede determinar que la porosidad y la absorción disminuyen a medida que aumenta la resistencia. Esto es indicado por Juan López en sus estudios sobre la porosidad del concreto, quien dice que la porosidad de cada componente de las estructuras es producida por el límite a la resistencia del concreto [22]

El objetivo de obtener la porosidad-absorción vs resistencia de cada concreto es determinar cómo estas influyen en la durabilidad y resistencia del concreto. Debido a que mientras más poroso sea el concreto, menor será su resistencia mecánica y será vulnerable ante los diferentes componentes del medio ambiente. Según nuestros resultados, en el caso de las probetas diseñadas con $f'c=175\text{kg/cm}^2$ se tiene el máximo porcentaje de porosidad y absorción con un 9.608% y 4.311% respectivamente, y en el caso de las probetas diseñadas con $f'c=280\text{kg/cm}^2$ se tiene el mínimo porcentaje de porosidad y absorción con un 6.450% y 2.660% respectivamente. Estos resultados indican que los ensayos se han realizado correctamente porque cumple con la disminución de porosidad a mayor resistencia. Los datos fueron obtenidos en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte, restando el peso saturado menos el peso seco dividiéndolo entre 1000 y el resultado de esto es dividido entre el área por la altura entre 1000000, para finalmente multiplicar por 100 al resultado, esto fue realizado con 4 probetas de cada resistencia y los datos mostrados son el promedio de estas.

D. Resistencia a compresión

- **Análisis de la resistencia a compresión del concreto de $f'c=175\text{kg/cm}^2$, 210kg/cm^2 , 245kg/cm^2 y 280kg/cm^2 a los 28 días.**

TABLA V

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO DE $f'c=175\text{KG/CM}^2$, 210KG/CM^2 , 245KG/CM^2 Y 280KG/CM^2 A EDAD DE 28 DÍAS.

RESISTENCIA ($f'c$)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN 28 DÍAS
175	187.06
210	252.97
245	266.76
280	302.27

De la TABLA V se observa que, a los 28 días, a mayor resistencia esperada, la resistencia a compresión obtenida aumentó. El objetivo de este ensayo es verificar que el diseño de mezclas se haya realizado correctamente. De los resultados obtenidos, se observa que sometiendo la resistencia de 175kg/cm^2 a compresión se obtuvo 187.06kg/cm^2 , de la resistencia de 210kg/cm^2 a compresión se obtuvo 252.97kg/cm^2 , de la resistencia de 245kg/cm^2 a compresión se obtuvo 266.76kg/cm^2 y de la resistencia de 280kg/cm^2 a compresión se obtuvo 302.27kg/cm^2 . Los datos fueron obtenidos en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte, sometiendo 6 probetas de cada resistencia a compresión, con la máquina compresora, determinando la carga aplicada y el tipo de falla de cada una, los datos mostrados son el promedio de estas.

E. Permeabilidad concreto de $f'c=175\text{kg/cm}^2$, 210kg/cm^2 , 245kg/cm^2 y 280kg/cm^2 .

- **Análisis de la permeabilidad del concreto $f'c=175\text{kg/cm}^2$ a los 28 días.**

TABLA VI

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD DEL CONCRETO DE $f'c=175\text{KG/CM}^2$ A EDAD DE 28 DÍAS.

TIEMPO (HORAS)	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PATRÓN (m/s)
1	1.80E-10
4	5.89E-11
12	3.87E-11
24	2.77E-11

De la TABLA VI se determina que el coeficiente de permeabilidad de la resistencia de concreto $f'c=175\text{kg/cm}^2$ a mayor tiempo que es sometido al ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión, baja de $1.80 \times 10^{-10}\text{m/s}$ (en 1 hora) a 2.77×10^{-11} (en 1 día), entrando al rango de concreto de impermeabilidad.

El objetivo de la investigación fue obtener la permeabilidad de cada concreto para posteriormente realizar una comparación de todas las resistencias diseñadas. Por lo que se puede decir que el diseño del concreto con resistencia de 175kg/cm^2 cumple con ser de baja permeabilidad. Los datos fueron obtenidos en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte, realizando 4 probetas de 175kg/cm^2 y multiplicando la permeabilidad por la porosidad entre 100 y el resultado de esto es dividido entre la multiplicación de dos veces el tiempo por la presión de cada probeta, los datos mostrados el promedio de cada resistencia.

- **Análisis de la permeabilidad del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ a los 28 días.**

TABLA VII

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD DEL CONCRETO DE $f'c=210\text{KG/CM}^2$ A EDAD DE 28 DÍAS.

TIEMPO (HORAS)	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PATRÓN (m/s)
1	3.44E-11
4	1.31E-11
12	3.00E-11
24	1.82E-11

De la TABLA VII se determina que el coeficiente de permeabilidad de la resistencia de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ a mayor tiempo que se somete el concreto al ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión, baja de $3.44 \times 10^{-11}\text{m/s}$ (en 1 hora) a 1.31×10^{-11} (en 4 horas), luego aumenta hasta 3.00×10^{-11} (en 12 horas), para volver a bajar hasta 1.82×10^{-11} (en un día), encontrándose dentro de los límites. Se se puede decir que el diseño del concreto con resistencia de 210g/cm^2 cumple con ser de baja permeabilidad.

- **Análisis de la permeabilidad del concreto $f'c=245\text{kg/cm}^2$ a los 28 días.**

TABLA VIII

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD DEL CONCRETO DE $f'c=245\text{KG/CM}^2$ A EDAD DE 28 DÍAS.

TIEMPO (HORAS)	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PATRÓN (m/s)
1	6.55E-11
4	7.91E-11

12	3.14E-11
24	2.13E-11

De la TABLA VII se determina que el coeficiente de permeabilidad de la resistencia de concreto $f'c=245\text{kg/cm}^2$ a mayor tiempo que se somete el concreto al ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión, sube de $6.55 \times 10^{-11} \text{m/s}$ (en 1 hora) a 7.91×10^{-11} (en 4 horas), luego baja hasta 3.14×10^{-11} (en 12 horas), para volver a bajar hasta 12.13×10^{-11} (en un día). Se puede decir que el diseño del concreto con resistencia de 245g/cm^2 cumple con ser de baja permeabilidad.

▪ **Análisis de la permeabilidad del concreto $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días.**

TABLA IX

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD DEL CONCRETO DE $f'c=280\text{KG/CM}^2$ A EDAD DE 28 DÍAS.

TIEMPO (HORAS)	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PATRÓN (m/s)
1	6.60E-11
4	2.65E-11
12	2.06E-11
24	1.70E-11

De la TABLA IX se determina que el coeficiente de permeabilidad de la resistencia de concreto $f'c=280\text{kg/cm}^2$ a mayor tiempo que se somete el concreto al ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión, baja de $6.60 \times 10^{-11} \text{m/s}$ (en 1 hora) a 1.70×10^{-11} (en 1 día), entrando al rango de concreto de impermeabilidad. Se puede decir que el diseño del concreto con resistencia de 280g/cm^2 cumple con ser de baja permeabilidad.

F. Promedios de coeficientes de permeabilidad vs resistencia a la compresión.

TABLA X

PROMEDIOS (COEFICIENTES DE PERMEABILIDAD) VS RESISTENCIA A COMPRESIÓN.

RESISTENCIA	COEF. PERMEABILIDAD	LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
175	0.000000000762	1E-10	1E-12
210	0.000000000239	1E-10	1E-12
245	0.000000000493	1E-10	1E-12
280	0.000000000325	1E-10	1E-12

De la TABLA X se determina que la resistencia 210kg/cm^2 tiene un valor menor de permeabilidad, comparando esta resistencia con las demás, se tiene el concreto 280kg/cm^2 incrementando su valor en un 26.46%, después está el concreto 245kg/cm^2 incrementando su valor en 51.52% y finalmente está el concreto de 175kg/cm^2 con su valor aumentado en 68.63%.

Para comprobar la segunda hipótesis de la investigación: La resistencia del concreto a compresión $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ genera una mejor impermeabilización. Se obtuvo:

G. Análisis del asentamiento de $f'c=175\text{kg/cm}^2$, 210kg/cm^2 , 245kg/cm^2 y 280kg/cm^2 .

TABLA XI

ASENTAMIENTO DEL CONCRETO DE ACUERDO CON CADA RESISTENCIA.

RESISTENCIA	SLUMP	
	Slump (pulg)	Slump (cm)
175	3.2	8.128
210	3.5	8.89
245	4	10.16
280	4.3	10.922

De la TABLA XI se puede determinar que: Con la resistencia de 175kg/cm^2 el asentamiento es 3.2", llegando a tener una consistencia plástica por estar entre 3" y 4" previsto en el diseño. Con la resistencia de 210kg/cm^2 , el asentamiento aumenta a 3.5, siendo similar que el anterior en consistencia. Con la resistencia de 245kg/cm^2 el asentamiento es 4", de la misma manera siendo de consistencia plástica. Finalmente, con la resistencia de 280kg/cm^2 el asentamiento es 4.3", siendo de consistencia fluida porque sobrepasa las 4" prevista en el diseño.

Los datos fueron obtenidos en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte, realizando un SLUMP por cada resistencia después de haber realizado la mezcla. Concluyendo que todas las resistencias diseñadas cumplen con la trabajabilidad en estado fresco, lo cual es importante para obtener las resistencias de diseño.

H. Penetración en concreto de $f'c=175\text{kg/cm}^2$, 210kg/cm^2 , 245kg/cm^2 y 280kg/cm^2 .

▪ **Análisis de la penetración del de $f'c=175\text{kg/cm}^2$ a los 28 días.**

TABLA XII

CONCRETO DE $f'c=175\text{KG/CM}^2$ SOMETIDO A PENETRACIÓN DURANTE 1H, 4H, 12H Y 24H.

TIEMPO (HORAS)	PENETRACION (m)
1	0.026
4	0.030
12	0.042
24	0.049

De la TABLA XII se determina que el coeficiente de la penetración de la resistencia de concreto $f'c=175\text{kg/cm}^2$ a mayor tiempo que es sometido al ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión, aumenta de 0.026m (en 1 hora) a 0.049m (en 1 día), lo cual indica que a mayor tiempo se obtuvo mayor penetración. El objetivo de realizar las medidas de penetración es obtener el coeficiente de permeabilidad de cada resistencia, lo cual es importante para determinar si son concretos de baja permeabilidad. Los datos fueron obtenidos en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte, realizando 4 probetas de 175kg/cm^2 , las cuales posteriormente fueron partidas en tracción indirecta para poder medir la penetración de agua a presión, los datos son el promedio de cada resistencia.

▪ **Análisis de la penetración del de**

$f'c=210\text{kg/cm}^2$ a los 28 días.

TABLA XIII

CONCRETO DE $f'c=210\text{KG/CM}^2$ SOMETIDO A PENETRACIÓN DURANTE 1H, 4H, 12H Y 24H.

TIEMPO (HORAS)	PENETRACION (m)
1	0.012
4	0.015
12	0.038
24	0.042

De la TABLA XIII se determina que el coeficiente de la penetración de la resistencia de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ a mayor tiempo que se somete el concreto al ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión, aumenta de 0.012m (en 1 hora) a 0.042m (en 1 día), lo cual indica que a mayor tiempo se obtuvo mayor penetración. Además, se demuestra que los resultados de penetración son menores a los de la resistencia 175kf/cm2.

▪ **Análisis de la penetración del de $f'c=245\text{kg/cm}^2$ a los 28 días.**

TABLA XIV

CONCRETO DE $f'c=245\text{KG/CM}^2$ SOMETIDO A PENETRACIÓN DURANTE 1H, 4H, 12H Y 24H.

TIEMPO (HORAS)	PENETRACION (m)
1	0.018
4	0.038
12	0.043
24	0.051

De la TABLA XIV se determina que el coeficiente de la penetración de la resistencia de concreto $f'c=245\text{kg/cm}^2$ a mayor tiempo que se somete el concreto al ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión, aumenta de 0.018m (en 1 hora) a 0.051m (en 1 día), lo cual indica que a mayor tiempo se obtuvo mayor penetración. Además, se demuestra que los resultados de penetración son mayores a la resistencia de 175kf/cm2 y mayores a la resistencia de 210kf/cm2.

▪ **Análisis de la penetración del de $f'c=280\text{kg/cm}^2$ a los 28 días.**

TABLA XV

CONCRETO DE $f'c=280\text{KG/CM}^2$ SOMETIDO A PENETRACIÓN DURANTE 1H, 4H, 12H Y 24H.

TIEMPO (HORAS)	PENETRACION (m)
1	0.019
4	0.025
12	0.038
24	0.046

De la TABLA XV se determina que el coeficiente de la penetración de la resistencia de concreto $f'c=280\text{kg/cm}^2$ a mayor tiempo que se somete el concreto al ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión, aumenta de 0.019m (en 1 hora) a 0.046m (en 1 día), lo cual indica que a mayor tiempo se obtuvo mayor penetración. Además, se demuestra que los resultados de penetración son mayores a los de la resistencia 175kf/cm2 y 210kf/cm2.

I. Promedios de penetración vs resistencias.

TABLA XVI

PROMEDIO (PENETRACIÓN) VS 4 RESISTENCIAS DEL CONCRETO.

RESISTENCIA	PROMEDIO DE PENETRACION
175	3.675
210	2.675
245	3.750
280	3.200

De la TABLA XVI se determina que la penetración de la resistencia de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ tiene el menor valor con 2.675cm, comparando esta resistencia con las demás se tiene como siguiente al concreto 280kg/cm2 incrementando en 0.525cm, después se encuentra la resistencia 175kg/cm2 incrementando en 1cm y por último está la resistencia 245kg/cm2 incrementando en 1.075cm. El objetivo principal de este ensayo es brindar la información necesaria para determinar el coeficiente de permeabilidad de cada resistencia para poder comprobar la segunda hipótesis planteada en la presente investigación: La resistencia del concreto a compresión $f'c=280\text{ kg/cm}^2$ genera una mejor impermeabilización.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos con relación al primer objetivo que es estudiar las propiedades físicas y mecánicas de las resistencias $f'c = 175\text{ kg/cm}^2$, 210 kg/cm^2 , 245 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2 del concreto de baja permeabilidad sometido a alta presión hidráulica, se tiene el antecedente [23]. en el que se analizaron los cambios en las propiedades físicas y mecánicas del concreto hidráulico modificado con mucílago de Huaraco en la región altoandina, donde las propiedades antes mencionadas son esenciales que pueden determinarse por observación y/o medición, se concluye que la adición de este genera impactos positivos en el concreto, brindando excelentes propiedades físicas y mecánicas incrementando trabajabilidad y resistencia a compresión y flexión. Los resultados obtenidos es este estudio fueron que se logró analizar las propiedades físicas del concreto y obtuvimos que en el diseño se tuvo buena trabajabilidad debido a que se cumplían adecuadamente los SLUMP de cada resistencia obteniendo un asentamiento mayor a medida que se iba incrementando las resistencias, con 3.2” para el concreto de 175kg/cm2, 3.5” para el concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, 4” para el concreto $f'c=245\text{kg/cm}^2$ y 4.3” para el concreto $f'c=280\text{kg/cm}^2$ (TABLA XI). Analizamos las propiedades mecánicas del concreto en las diferentes resistencias realizadas, obteniendo el incremento de la resistencia a compresión, de 175kg/cm2 a 187.06kg/cm2, de 210kg/cm2 a 252.97kg/cm2, de 245kg/cm2 a 266.76kg/cm2 y de 280kg/cm2 a 302.27kg/cm2 (TABLA V). Al realizar la comparación entre ambos estudios obtuvimos las mismas condiciones favorables y trabajables del concreto sin añadir aditivo, esto indica que lo importante es realizar un buen diseño de mezclas para obtener propiedades físicas y mecánicas favorables.

El segundo objetivo del estudio es determinar la resistencia del concreto más favorable para obtener una baja permeabilidad en el concreto y se tiene el antecedente [8]. en el que se determinó las variables que pueden influir en la resistencia de un concreto de baja permeabilidad, indicando como punto principal a la porosidad, también la capacidad del concreto de la absorción de los agregados. Se puede determinar esto gracias a la Ley de Darcy donde (k) es menor a 10-12 m/s. De acuerdo con ello. Los resultados obtenidos en este estudio fueron que al realizar los ensayos de compresión de cada resistencia pudimos determinar que la porosidad tiene un papel importante para determinar la permeabilidad de un concreto, logramos esto utilizando la Ley de Darcy en donde obtuvimos un (k) menor a 10-12 m/s. (Ecuación 4: Ley de Darcy para sistemas continuos). Al realizar la comparación entre ambos estudios obtuvimos resultados en base a las definiciones dadas por Soler, D. Debido que para determinar cuál es la resistencia más favorable del concreto utilizamos la Ley de Darcy para hallar el coeficiente de permeabilidad, obteniendo un (k) menor a 10-12 m/s, esto nos ayudó a saber si el concreto tendrá buena resistencia y será de baja permeabilidad.

Con respecto al tercer objetivo que es determinar la penetración de agua en el concreto de $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$, 210 kg/cm^2 , 245 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2 , se tiene el antecedente [24]. en el que se realizó un estudio sobre la influencia de aditivo sika y agregado chancado, lo cual influye en las propiedades físicas en concreto de baja permeabilidad. Demuestra que de las 176 probetas elaboradas 56 fueron sometidas a penetración, demostrando que es posible tener un concreto de baja permeabilidad con la ayuda del aditivo sika en 3% ya que tiene una resistencia máxima a compresión. Sin embargo, indica la posibilidad de obtener la baja permeabilidad sin aditivos. El resultado obtenido en este estudio es que se logró determinar la penetración de agua en todas las resistencias gracias a gráficos que nos muestran que la resistencia con menor penetración es la de $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con el menor valor de 2.675cm, comparando esta resistencia con las demás se tiene como siguiente al concreto 280kg/cm^2 incrementando en 0.525cm, después se encuentra la resistencia 175kg/cm^2 incrementando en 1cm y por último está la resistencia 245kg/cm^2 incrementando en 1.075cm. (TABLA XVI). Al realizar la comparación entre ambos estudios tenemos que, según Sota, H. es posible tener una penetración menor agua con un 3% de aditivo Sika. Sin embargo, indica que también se puede lograr una baja permeabilidad en el concreto sin aditivos. Esto se logrará realizando un buen diseño de mezcla. Según los resultados obtenidos todas las resistencias de concreto diseñadas cumplen con esta característica, lo que significa el buen diseño de concreto elaborado en este trabajo.

Las limitaciones que se tuvieron para el desarrollo de la investigación se centran en la poca información sobre el tema, dificultando realizar la metodología. Además, no hay Normativa peruana sobre la baja permeabilidad, por lo que hemos utilizado la Norma europea UNE-EN-12390-08,

complementando con la ecuación de Valenta (Ecuación 7: Fórmula de Valenta). ya que gracias a esta pudimos obtener los resultados del coeficiente de permeabilidad, los cuales fueron necesarios para cumplir con nuestros objetivos establecidos.

Finalmente se concluye que el planteamiento de la hipótesis es correcto debido a que se utilizó las propiedades físicas y mecánicas del concreto de resistencias 175, 210, 245 y 280kg/cm^2 de baja permeabilidad. Obteniendo buena trabajabilidad cuando el concreto se encontraba en estado fresco y buena resistencia en estado seco. Esto nos indica que es posible obtener un concreto de baja permeabilidad sin aditivos, lo cual es importante en la construcción para disminuir costos.

Después de realizar el análisis y determinar el comportamiento de cada resistencia del concreto en los gráficos mostrados en (III. Resultados) se logró determinar que la resistencia que tiene menor permeabilidad es de 210kg/cm^2 . (TABLA X). Esto es debido a que al comparar la resistencia 210kg/cm^2 con las demás, se tiene que el concreto 280kg/cm^2 incrementando su valor en un 26.46% con respecto al concreto 210kg/cm^2 , después está el concreto 245kg/cm^2 incrementando su valor en 51.52% con respecto al concreto 210kg/cm^2 y finalmente está el concreto de 175kg/cm^2 con su valor aumentado en 68.63% con respecto al concreto 210kg/cm^2 .

Gracias a los datos obtenidos en (TABLA XVI) se sabe que la resistencia de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ tiene el menor valor con 2.675cm, comparando esta resistencia con las demás se tiene como siguiente al concreto 280kg/cm^2 incrementando en 0.525cm con respecto al concreto 210kg/cm^2 , después se encuentra la resistencia 175kg/cm^2 incrementando en 1cm con respecto al concreto 210kg/cm^2 y por último está la resistencia 245kg/cm^2 incrementando en 1.075cm con respecto al concreto 210kg/cm^2 . Por lo que establecemos que el concreto con un diseño de 210kg/cm^2 es el más apto para ser utilizado en construcciones hidráulicas debido a que se verá menos afectado, favoreciendo en ahorro económico y de males que pueden afectar a la sociedad.

REFERENCES

- [1] J. Suarez, "Obras hidráulicas para el progreso de América Latina | CAF," 2020. <https://www.caf.com/es/conocimiento/visiones/2020/03/obras-hidraulicas-para-el-progreso-de-america-latina/> (accessed Jan. 18, 2023).
- [2] J. Vasquez, "Obras Hidraulicas Mas Importante Del Peru | ECLER MAMANI CHAMBI - Academia.edu," 2014. https://www.academia.edu/34294908/Obras_Hidraulicas_Mas_Importante_Del_Peru (accessed Jan. 18, 2023).
- [3] S. Luyo, "Trabajabilidad y resistencia a la compresión del concreto para diferentes relaciones agua cemento," *Universidad de San Martín de Porres*, 2020.

- <https://www.researchgate.net/profile/Aci-Usmf-Fia> (accessed Jan. 18, 2023).
- [4] L. & G. Galván, “Vulnerabilidad y riesgo sísmico en obras hidráulicas: una nueva aproximación metodológica,” 2021. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382021000400109&lng=es&nrm=iso&tlng=es (accessed Jan. 18, 2023).
- [5] L. Cordero, “Análisis de filtraciones y estabilidad de taludes en presas de tierra para suelos parcialmente saturados,” 2017.
- [6] Toxement., “CONCRETOS DE BAJA PERMEABILIDAD”.
- [7] J. C. Agunwamba, O. R. Ekwule, and C. C. Nnaji, “Performance evaluation of a municipal water distribution system using waterCAD and Epanet,” *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, vol. 8, no. 3, pp. 459–467, Sep. 2018, doi: 10.2166/WASHDEV.2018.262.
- [8] D. Soler, “CONCRETOS PARA ESTRUCTURAS QUE REQUIEREN BAJA PERMEABILIDAD - 360EN CONCRETO,” 2022. <https://360enconcreto.com/blog/detalle/concretos-para-estructuras-baja-permeabilidad/> (accessed Jan. 18, 2023).
- [9] A. Moreno, “Implementación del método de presión para medir la permeabilidad del concreto,” *Universidad Nacional de Ingeniería*, 2015. <https://docplayer.es/78606848-Universidad-nacional-de-ingenieria-facultad-de-ingenieria-civil.html> (accessed Jan. 18, 2023).
- [10] B. Robles Carrero, P. Asesor, D. S. Nunura, and G. del Socorro, “ESTUDIO DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO Y SU INFLUENCIA EN LA PERMEABILIDAD DEL CONCRETO 2017,” *Repositorio Institucional - USS*, 2019, Accessed: Jan. 18, 2023. [Online]. Available: <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/5943>
- [11] I. G. Bustamante Romero, “Estudio de la correlación entre la relación agua/cemento y la permeabilidad al agua de concretos usuales en Perú,” Jun. 2017, doi: 10.23.
- [12] “Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC).” <https://council.science/es/member/international-union-of-pure-and-applied-chemistry-iupac/> (accessed Jan. 18, 2023).
- [13] M. Mattio, “La permeabilidad al agua como parámetro para evaluar la durabilidad del hormigón - Parte I,” 2014. <https://repositoriolatinoamericanos.uchile.cl/handle/250/2334344> (accessed Jan. 18, 2023).
- [14] J. M. Porrás-Morales, “Metodología de diseño para concretos permeables y sus respectivas correlaciones de permeabilidad,” 2017, Accessed: Jan. 18, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.tec.ac.cr/handle/2238/7109>
- [15] J. , V. J. Tam, “Tipos, Métodos y Estrategias de Investigación,” 2018. <https://es.scribd.com/doc/312759298/Tam-Vera-Oliveros-Tipos-Metodos-y-Estrategias-de-Investigacion#> (accessed Jan. 18, 2023).
- [16] R. , F. C. , B. P. Hernández, “Metodología de la investigación - Sexta Edición,” *Academia.edu*, 2014. https://www.academia.edu/15266168/Metodolog%C3%ADa_de_la_investigaci%C3%B3n_Sexta_Edici%C3%B3n (accessed Jan. 18, 2023).
- [17] Norma Técnica Peruana, “Metodo de Ensayo Normalizado Para La Determinacion de La Resistencia a La Compresion Del Concreto en Muestras Cilindricas,” *Norma Técnica Peruana*, 2018. <https://pdfcoffee.com/ntp-339034-metodo-de-ensayo-normalizado-para-la-determinacion-de-la-resistencia-a-la-compresion-del-concreto-en-muestras-cilindricas-2-pdf-free.html> (accessed Jan. 18, 2023).
- [18] “UNE-EN 12390-8:2020 Ensayos de hormigón endurecido. Parte 8: P...” *UNE Normalización Española*, 2020. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0063506> (accessed Jan. 18, 2023).
- [19] Ralph B. Peck, “Ley de Darcy,” 2016. <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/ley-de-darcy/> (accessed Jan. 18, 2023).
- [20] M. Bermudez, “Permeabilidad a los cloruros del hormigón armado situado en ambiente marino sumergido.” <https://www.scielo.cl/pdf/ric/v22n1/art02.pdf> (accessed Jan. 18, 2023).
- [21] “Tipos de concreto según su peso unitario | Construyendo Seguro,” *Aceros Arequipa*, 2018. <https://www.construyendoseguro.com/tipos-de-concreto-segun-su-peso-unitario/> (accessed Jan. 18, 2023).
- [22] J. Orlando López, O. Asesorado, I. Francisco, and J. Quiñónez De La Cruz, “POROSIDAD DEL CONCRETO”.
- [23] T. Liliana Laura Falcon Nestares, “Propiedades físicas y mecánicas del concreto hidráulico modificados con muello de huaraco en zonas altoandinas, Huancayo, Junín 2021,” 2022.
- [24] H. Sota, “Influencia del aditivo sika I y agregado chancado en la resistencia a la compresión y propiedades físicas en concreto de baja permeabilidad,” *Universidad Nacional de Cajamarca*, 2017, Accessed: Jan. 18, 2023. [Online]. Available: <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/1498>