

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

El agua es un recurso natural, fundamental para la vida y el progreso de la humanidad en general. El agua para la construcción de obras civiles, así mismo es igual de importante tanto en el proceso de amasado del hormigón y durante el curado del mismo.

Las propiedades físicas, químicas y bacteriológicas del agua para la construcción en general, se recomienda en lo posible que sea potable, para evitar tener problemas con el hormigón tanto en el amasado y el proceso de endurecimiento (perdida de resistencia a las diferentes edades), en el caso de la norma boliviana CBH 87 cita lo siguiente:

“El agua, tanto para el amasado como para el curado del hormigón, debe ser limpia y deberán rechazarse las que no cumplan una o varias de las siguientes condiciones:

- Exponente de hidrógeno pH ≥ 5 (norma NB/UNE 7234)
- Sustancias disueltas ≤ 15 g/L (norma NB/UNE 7130)
- Sulfatos, expresados en SO₄ ≤ 1 g/L (norma NB/UNE 7131)
- Ion cloro Cl ≤ 6 g/L (norma NB/UNE 7178)
- Hidratos de carbono 0 (norma NB/UNE 7132)
- Sustancias orgánicas solubles en éter ≤ 15 g/L (norma NB/UNE 7235)”

En comunidades donde el agua tiene condiciones diferentes a las normales (aguas saladas, aguas de pie de montaña, aguas de tranques o represas, etc.), donde su tratamiento es mínimo y que apenas cumplen las condiciones de potabilidad, en obras muy alejadas de una fuente de agua segura y potable, donde se requiere el uso de agua de manera rápida para la construcción de cualquier obra civil, o donde el costo para el abastecimiento de agua mediante cisternas es muy elevado.

Un factor muy importante del agua es el pH, el cual nos indica el grado de acidez y basicidad del elemento líquido, el mismo que es de carácter de estudio cuando se utilizan aguas de distintas procedencias para el proceso de construcción y curado del hormigón en obras civiles, mismo que puede ser medido a través de pH-metro de campo y ver si la misma puede ser apta para el uso en la construcción (sin tomar en cuenta otros factores del agua).

1.1. El Problema

La elaboración de hormigones en general es realizada con agua potable, debido a que es de uso común y que se puede acceder a este con facilidad en zonas urbanas, pero en zonas alejadas existe el gran problema de no contar con agua potable o el agua potable tiene particularidades diferentes a las de uso común (aguas saladas que apenas cumplen los requerimientos de potabilidad, aguas provenientes de altas montañas, etc.), tales como el agua proveniente de la comunidad de El Puente y Entre Ríos.

1.1.1. Planteamiento

Por medio de la realización de ensayos en laboratorio y cálculos correspondientes, tabular la variabilidad en la resistencia a compresión del hormigón con una resistencia de 35Mpa (comúnmente usado en la construcción de puentes) cuando se presenta una variabilidad en el pH del agua de amasado en presencia del aditivo Sika Viscocrete 5-800. Así mismo se plantea realizar una validación del estudio mediante la utilización de aguas naturales, provenientes de las comunidades de El Puente y Entre Ríos, debido a que las mismas presentan particularidades de color y sabor, variable a lo largo del año, presentándose así también un pH variable a pesar de ser potable.

Finalmente dar a conocer la importancia que tiene el pH del agua de amasado en la elaboración de hormigones de 35Mpa cuando se usa Sika Viscocrete 5-800.

1.1.2. Formulación

La realización de un análisis de la resistencia a la compresión del hormigón de 35Mpa cuando en la elaboración existe una variación en el pH del agua, se debe considerar de carácter importante debido a que en lugares alejados el agua para el hormigonado tiene características muy distintivas; como el agua salada de la comunidad de El Puente, el agua salada de la

comunidad de Saladillo, las aguas carácter montaños de la comunidad de Entre Rios, etc., dichas aguas pueden ser de carácter perjudicial en la resistencia a compresión de los hormigones.

1.1.3. Sistematización

El planteamiento de un análisis en la resistencia a compresión de hormigones no convencionales con la variación del pH del agua de masado para una resistencia de 35 Mpa (comúnmente utilizado para la construcción de puentes)., nos proporcionará saber qué efectos pueden ocasionar este tipo de aguas en la resistencia a compresión del hormigón debido al reacción que se puede efectuar al contacto con los aditivos (Sika Viscocrete 5-800) que nos ayuden a alcanzar las resistencias requeridas.

Para lo cual se usará una dosificación específica a la caracterización del agregado, siendo solo variable el pH del agua a utilizar, variando en valores de 5, 6, 8 y 9; así mismo usando como agua de amasado agua natural proveniente de Entre Rios y El Puente por las características particularidades de los mismos, para contrastar resultados.

1.2. Objetivos

1.2.1. General

- ✓ Realizar un estudio de la variación de la resistencia a compresión en hormigones de 35 Mpa con aditivo Sika Viscocrete 5-800, cuando el agua de amasado tiene un pH que varía en valores de 5, 6, 8 y 9, en relación al agua neutra ($\text{pH} = 7$), a través del uso de aguas prototipos alteradas en laboratorio, evaluar el costo de fabricación del hormigón de 35 Mpa para su aplicación en obras públicas y así mismo validar el estudio mediante el uso de aguas naturales provenientes de Entre Rios y El Puente.

1.2.2. Específicos

- ✓ Realizar el hormigonado de probetas de carácter patrón para una resistencia de 35Mpa con aditivo Sika Viscocrete 5-800, mismas que serán elaboradas con agua de pH neutro (7).

- ✓ Realizar el hormigonado de probetas de hormigón para una resistencia de 35 Mpa, utilizando agua prototipo (modificada previamente en laboratorio) con diferentes pH, elaborando el hormigón de 35 Mpa. con pH de 5, 6, 8 y 9.
- ✓ Elaborar probetas de hormigón para una resistencia de 35 Mpa, utilizando agua proveniente de la localidad de El Puente (Rio San Juan del Oro) y Entre Rios (Rio Pilcomayo).
- ✓ Determinar la resistencia a la compresión mediante prensa hidráulica a 7 y 28 días. De las probetas elaboradas, agua neutra y/o patrón, probetas con pH modificado (pH de 5, 6, 8 y 9) y probetas con agua de carácter natural.
- ✓ Comparar y tabular los resultados obtenidos de cada tipo de agua utilizada, con los resultados de las probetas patrón.
- ✓ Realizar el análisis de precios unitarios para un hormigón de 35 Mpa según lo indica la SABS (formulario B2), para aplicación en obras públicas.
- ✓ Contrastar la tabulación de resultados proveniente de las probetas elaboradas con agua prototipo, con los obtenidos de los hormigones cuya agua de amasado es natural de El Puente y Entre Rios.
- ✓ Contrastar la hipótesis del estudio verificando los porcentajes de la variación de la resistencia del hormigón con respecto a las probetas patrón.

1.3. Justificación

1.3.1. Académica

Aplicar los conocimientos asimilados en las asignaturas pertinentes de la malla curricular de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, buscando un desarrollo intelectual capaz de enfrentar problemas.

1.3.2. Técnica

A través de ensayos en laboratorio y cálculos correspondientes tabular la variabilidad en la resistencia a compresión del hormigón con una resistencia de 35Mpa (comúnmente usado en la construcción de puentes) cuando se presenta una variabilidad en el pH del agua de amasado en presencia del aditivo Sika Viscocrete 5-800. Así mismo se plantea realizar una validación del estudio mediante la utilización de aguas naturales provenientes de El Puente y Entre Rios

1.3.3. Social

Dar a conocer la importancia que tiene el pH del agua de amasado en la elaboración de hormigones de alta resistencia cuando se usa Sika Viscocrete 5-800.

1.4. Alcance

Se realizará 112 probetas en total, para una resistencia proyectada de 35 Mpa con la adición del aditivo Sika Viscocrete 5-800, de las cuales 20 serán elaboradas por cada tipo de agua prototipo planteado anteriormente (pH = 5, 6, 7, 8 y 9), se procederá a la rotura de probetas a las edades de 7 y 28 días, de las cuales se realizará una tabulación de los resultados esperados para posteriormente elaborar 12 probetas, las cuales serán amasadas con aguas naturales provenientes de las comunidades de El Puente y Entre Rios, datos que se espera valide los resultados obtenidos con el agua prototipo.

1.5. Hipótesis

La pérdida de la resistencia a compresión del hormigón se reduce entre el 5 al 10% cuando el pH del agua de amasado está en el rango 5 y 6 (aguas acidas), en relación al agua neutra de pH = 7; mientras que la perdida de resistencia a compresión se reduce entre 3 a 7 % cuando el pH del agua de amasado está en el rango de 8 y 9 (aguas básicas), en relación al agua neutra de pH=7.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Generalidades de los Hormigones

2.1.1. Antecedentes Históricos del hormigón

La historia del hormigón se desarrolla desde tiempos antiguos, cuando civilizaciones como los egipcios (2500 A.C.) desarrollan el uso de la pasta de mortero (mezclas de arena con cal o yeso) para la unión de rocas y bloques de piedra en la construcción de palacios y las famosas pirámides de Guiza, buscando satisfacer las necesidades básicas de vivienda del hombre para un vivir mejor. (Diaz Ayarde, 2015).

Sin embargo, los ingenieros y constructores romanos descubrieron en depósitos volcánicos la puzolana, que mezclado con la caliza y arenas producen un mortero de gran fuerza capaz de resistir la acción del agua dulce o salada, este material fue empleado a gran escala en obras como el Coliseo (en su cimiento y paredes internas) y el Panteón, construidos en los años 80 y 120 d.C. en Roma, o bien en el puente de Alcántara, en Hispania, del 104 al 106 D.C.

La puzolana fue encontrada en un lugar muy cercano al monte Vesubio llamado Pozzuoli del cual proviene el nombre de puzolana.

Tras la caída del imperio romano, el uso del hormigón decae hasta que, en la segunda mitad del siglo XVIII se vuelve a emplear en Francia y en Inglaterra. Así, en 1758, el ingeniero John Smeaton, ideó un nuevo mortero al reconstruir el faro de Eddyston en la costa de Cornish. En esta obra se empleó un mortero adicionando una puzolana a una caliza con una alta proporción de arcilla. Este mortero se comportaba bien frente a la acción del agua del mar debido a la presencia de arcilla en las cales, permitiendo incluso fraguar bajo el agua y permanecer insoluble una vez endurecido. (Varona Moya, López Juárez, & Bañón Blázquez, 2012)

La arcilla fue un componente clave en las patentes de cementos posteriores del cemento. En 1796 el británico James Parker patentó el cemento Romano, obtenido de la mezcla de

minerales de arcilla y carbonato de calcio. (Varona Moya, López Juárez, & Bañón Blázquez, 2012).

Ya desde mediados del siglo XIX se realizaron algunas obras con hormigón armado. Al principio eran elementos parciales como terrazas y macetas jardineras (Monier 1849) o hasta barcos (Lambot 1848). El primer forjado de vigueta metálica y placa armada, lo construyó Ward en 1875 y el mismo Monier, patentan la primera viga en 1878.

Hennebique edificó en 1900 el primer edificio construido completamente con hormigón armado: muros forjados y escaleras. Aunque es más conocido el edificio que construyó, en 1903, Auguste Perret en la calle Franklin de París con estructura de hormigón armado o el garaje Ponthieu de 1905.

A partir de entonces se suceden los proyectos de puentes, chimeneas, depósitos y edificios. Pero quizá lo más significativo de la construcción en hormigón fue que tendría siempre el soporte de una intensa investigación de nuevas técnicas y sistemas que mejoraban aspectos parciales y complementarios: desde la formación de los sistemas auxiliares de encofrado hasta la composición química del propio material. La ciencia de la construcción estuvo también aportando avances en los métodos de cálculo de la estabilidad de los edificios. Y en este terreno el uso de computadoras representó un gran salto adelante desde mediados del siglo XX.

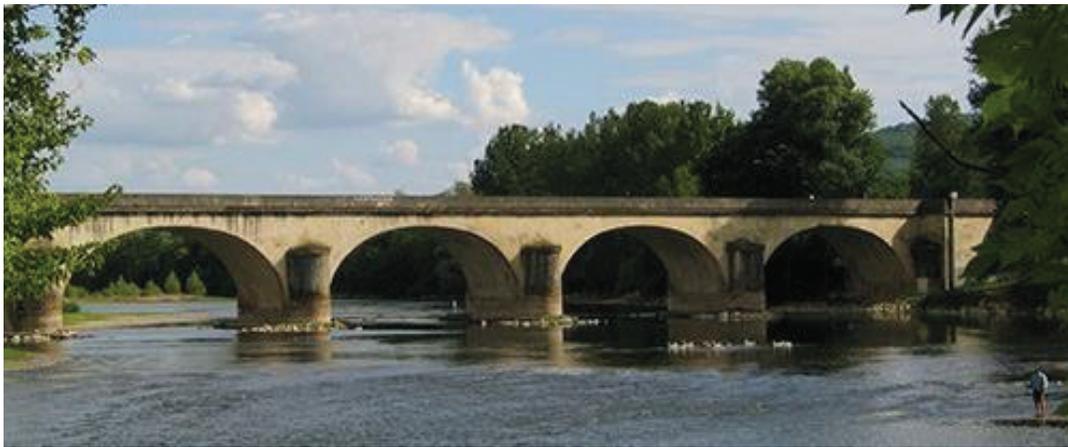
La apuesta de estos pioneros por todo un sistema constructivo y el empuje de los avances técnicos y científicos, hizo que en muy poco tiempo se hicieran grandes progresos. Nombres como Freyssinet, Maillart, Boussiron, Le Corbusier, Eduardo Torroja o Frank Lloyd Whright irán alternándose en el candelero de los primeros en hacer una propuesta o en construir una novedad técnica: la primera cúpula, el primer encofrado con apertura en la clave, la primera casa prefabricada, la primera lámina plegada o el primer rascacielos, sistemas nuevos de encofrado, desencofrado, armado u hormigonado.

Siglos IX al XVII: Se emplea nuevamente el uso de morteros propios de los romanos en Francia e Inglaterra, en la cual se reconoce el alto valor que proporciona la arcilla en las propiedades del mortero permitiendo fraguar bajo el agua. (Diaz Ayarde, 2015).

Año 1758: El ingeniero Ingles John Smeaton, ideó un nuevo mortero al reconstruir el faro de Eddyston en la costa de Cornis, en la cual se empleó un mortero adicionando una puzolana a una caliza con una alta proporción de arcilla. (Varona Moya, López Juárez, & Bañón Blázquez, 2012).

Año 1817: El Francés Louis Vicat, desarrollo un sistema de fabricación de cemento a base de arcilla que empleo durante los años 1812 a 1824 en la construcción del puente Souillac (Figura 1), de 180 metros de largo. (Varona Moya, López Juárez, & Bañón Blázquez, 2012).

Figura 1. Puente de Souillac



Año 1824: El cemento es patentado por Joseph Aspdin, quien lo bautizó con el nombre de “Cemento Portland” por la similitud que tenía el color del cemento con las piedras características de la isla de Portland. (Diaz Ayarde, 2015).

Año 1853: El Francés, François Colignet, ideó la primera aplicación del hormigón reforzado con acero, en la construcción de un inmueble de cuatro plantas en la calle 72 de la rue Charles Michels de Paris. Su invención fue presentada en la Exposición Universal de Paris en 1855. (Varona Moya, López Juárez, & Bañón Blázquez, 2012).

Año 1855: El Francés, Joseph Louis Lambot, presentó en la Exposición Universal de Paris un bote para navegar (Figura 2) construido con hormigón armado. (Varona Moya, López Juárez, & Bañón Blázquez, 2012).

Figura 2. Bote de Hormigón Armado (Joseph Louis Lambot)



Año 1867: El Francés, Joseph Monier, obtuvo su primera patente, la cual la uso para la fabricación de jardineras, usando mortero de cemento reforzado con alambres de acero encofrándolos dentro de moldes que permitirían su industrialización.

Año 1875: El Francés, Joseph Monier, construyó un puente de hormigón armado, de 13.80 metros de luz, con un ancho de 4.25 metros. El puente fue construido bajo ninguna base teórica de cálculo, todos los diseños se basaron en ensayos prototipos. (Varona Moya, López Juárez, & Bañón Blázquez, 2012).

Año 1887: Los ingenieros Alemanes Gustav Adolf Wayss y Matias koenen escribieron el primer libro en idioma alemán dedicado a las bases teóricas de cálculo de hormigón armado, titulado “Das System Monier”. (Varona Moya, López Juárez, & Bañón Blázquez, 2012).

Año 1902: El Alemán, Emil Mörsch, quien trabajaba para la empresa “Wayss and Freytag”, sentó las bases del método elástico o método clásico para el cálculo de elementos de hormigón armado. El mismo año se creó en Francia la Comisión del Cemento Armado cuya finalidad era generar un reglamento específico para estructuras de hormigón armado, para el cual se tuvo que articular una resistencia de materiales particular para el hormigón armado.

Año 1904: Se funda la institución Británica de Estándares, se publica la primera especificación del Cemento Portland por la American Society for Testing Materials (A.S.T.M.) y comienzan las investigaciones sobre las propiedades del cemento en una base científica y sistemática. (Diaz Ayarde, 2015).

Año 1932: La asociación de ingenieros y arquitectos en conjunto con la asociación alemana de hormigón, fue promulgada la primera normativa alemana para el hormigón armado llamada DIN 1045 elaborada bajo la dirección de Emil Mörsch.

Año 1978: Se aprueba en Granada el “Código Modelo”, por la CEB (Comité Européen du Béton) y FIP (Federación Internacional del Pretensado), el cual contenía recomendaciones sobre el hormigón estructural. (Varona Moya, López Juárez, & Bañón Blázquez, 2012).

Año 1990: Se redactó el “CEB-FIB 1990” la que es la versión actualmente vigente del código modelo. (Varona Moya, López Juárez, & Bañón Blázquez, 2012).

2.1.2. Principales Características de los Hormigones

El hormigón o concreto es de uso común en las estructuras civiles, el cual se produce esencialmente por la mezcla de tres componentes: Cemento, Agregados y Agua. Un cuarto componente se le puede designar como aditivo, el cual no es de uso común o esencial, sino un elemento que puede mejorar alguna propiedad del hormigón o concreto. No se debe olvidar que el aire es un elemento que se introduce en el hormigón de manera involuntaria durante el proceso de mezclado de los tres componentes principales. (Diaz Ayarde, 2015).

El hormigón común o convencional está compuesto por:

Ligantes: Cemento

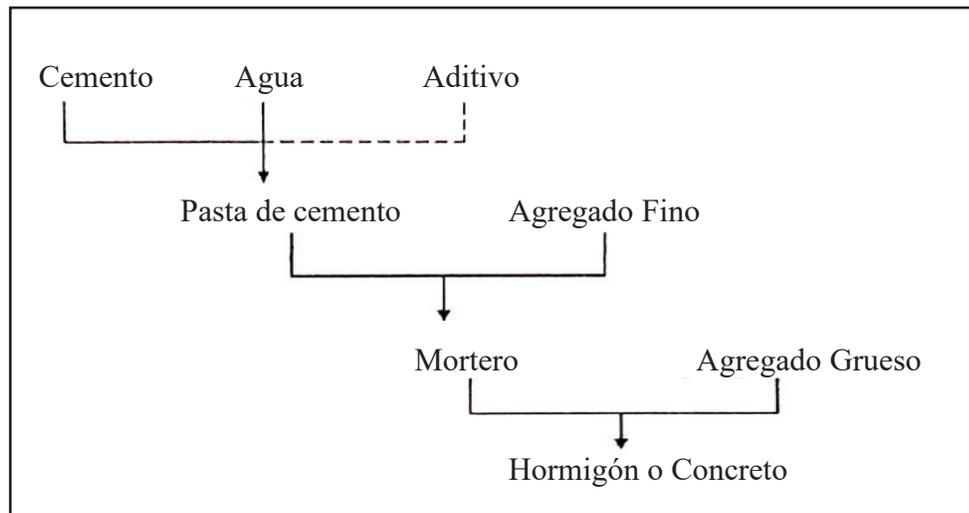
Agua

Agregados: Agregado Fino (Arena)

Agregado Grueso (Grava, Piedra chancada, Canto rodado, escoria, etc.)

La integración de los componentes del hormigón o concreto se muestra en la figura 3

Figura 3. Esquema de Integración del Hormigón



Fuente: Análisis comparativo del hormigón entre la caracterización de sus componentes y su resistencia a la tracción, *Días Ayarde Moisés Eduardo, 2005*

El principal componente del hormigón o concreto es el cemento Portland, el cual ocupa entre el 7% y el 15% del volumen de la mezcla, el cemento tiene propiedades de adherencia y cohesión que con los demás materiales integrantes de la mezcla proveen al hormigón o concreto una buena resistencia a la compresión. El cemento es un elemento industrializado producido por el hombre y proviene de la calcinación de rocas calizas y arcilla. El segundo componente es el agua, que ocupa entre 14% y 18% del volumen de la mezcla e hidrata al cemento por medio de complejas reacciones químicas. El tercer componente son los agregados (gruesos y finos), que ocupan entre el 59% y el 76% del volumen de la mezcla, los agregados son esencialmente materiales inertes de forma granular natural (canto rodado) o artificial (piedra chancada), que por conveniencia han sido separados en fracciones finas (arenas) y fracciones gruesas (gravas). (Díaz Ayarde, 2015).

Hoy en día el uso de aditivos se convierte en un integrante más de las mezclas de hormigón con el objetivo de mejorar una o más propiedades del hormigón, tales como acelerar (acelerantes de fraguado), retardar (retardantes de fraguado), mejorar la trabajabilidad y reducir los requerimientos de agua (plastificantes), incrementar resistencia (acelerantes de resistencia) o alterar otras propiedades físicas o químicas.

El hormigón involuntariamente añade, el cual es atrapado en el proceso de mezclado, que usualmente está presente entre el 1% y el 3% del volumen la mezcla de hormigón o concreto. El uso de aditivos inclusores de aire hacen que al hormigón se le pueda añadir mayor cantidad de aire que puede variar entre 1% y 8% del volumen de la mezcla de hormigón o concreto.

Si la mezcla no contiene un aditivo que lo fomente, el aire se presenta en forma de burbujas macroscópicas dispersas erráticamente en la masa, generando vacíos o poros por los cuales el hormigón se vuelve permeable por lo cual se recurre al proceso de compactado o vibrado del hormigón con la finalidad de reducir la cantidad de burbujas, con este proceso se logra reducir la cantidad de burbujas a no más de 2% del volumen de hormigón compactado. (Diaz Ayarde, 2015).

Cuando al hormigón o concreto se le provoca la formación de aire mediante algún aditivo inclusor de aire, se dice que contiene aire incluido intencionalmente con el propósito de inducirle determinadas propiedades deseadas para dicho hormigón, que a diferencia de los hormigones donde el aire esta introducido involuntariamente, este aire incluido, adopta la forma de pequeñas burbujas, casi microscópicas y sensiblemente esféricas, que se distribuyen uniformemente en la masa y representan una porción que suele fluctuar entre 3% y 8% del volumen del hormigón, dependiendo del tamaño máximo del agregado. (Diaz Ayarde, 2015).

La mezcla de los componentes principales ya mencionados, para la elaboración del hormigón convencional, producen una masa plástica que puede ser moldeada y compactada con relativa facilidad, cabe notar que gradualmente pierde esta característica al cabo de unas horas, donde la masa de hormigón posteriormente se torna rígida y comienza a adquirir el aspecto, comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido, llegando a convertirse finalmente en un material mecánicamente resistente conocido como hormigón endurecido o hormigón estructural. (Diaz Ayarde, 2015).

El comportamiento de este material y su durabilidad en servicio dependen de tres aspectos básicos:

- 1) Las características, composición y propiedades de la pasta de cemento, o matriz cementante.
- 2) La calidad propia de los agregados.
- 3) La afinidad de la matriz cementante con los agregados y su capacidad de trabajar en conjunto.

En el primer aspecto debe contemplarse la selección de un cementante apropiado, cuyas características de fabricación y almacenado sean las correctas, el empleo de una relación agua/cemento conveniente y si es necesario el uso eventual de un aditivo con el cual se pueda asegurar la calidad de la pasta de cemento o matriz cementante.

La calidad de los agregados, es importante adecuarla a las funciones que debe desempeñar la estructura, a fin de que no presenten un punto débil en el comportamiento del concreto y en su capacidad para resistir adecuadamente a diferentes fenómenos o acciones que se puedan presentar a lo largo de su vida útil o puesta en servicio.

La compatibilidad y el buen trabajo en conjunto de la matriz cementante con los agregados depende de diversos factores, tales como las características físicas y químicas del cementante, la composición mineralógica y petrográfica de las rocas que constituyen a los agregados, la forma, el tamaño máximo y textura superficial de los mismos.

Por lo cual se debe realizar un análisis mecánico y químico a cada uno de los elementos componentes para la elaboración de hormigón, para así poder asegurar la mejor compatibilidad posible entre materiales, generando así un hormigón de calidad, capaz de responder adecuadamente a las acciones resultantes de las condiciones en las que debe prestar servicio.

Hay que tener en cuenta que, si se quiere obtener estructuras resistentes y durables, se debe cumplir requerimientos de diseño, especificación, construcción y mantenimiento de acuerdo a normas vigentes del lugar a desarrollarse.

2.1.2.1. Propiedades del hormigón endurecido

El carácter de hormigón endurecido lo adquiere el hormigón a partir del final de fraguado.

Las propiedades del hormigón endurecido son:

La densidad: Es la relación de la masa del hormigón y el volumen ocupado. Para un hormigón bien compactado de áridos normales oscila entre 2300- 2500 kg/m³, en caso de utilizarse áridos ligeros la densidad oscila entre 1000-1300 kg/m³, y en caso de utilizarse áridos pesado la densidad oscila entre 3000-3500 kg/m³.

Compacidad: Es la cualidad de tener la máxima densidad que los materiales empleados permiten. Un hormigón de alta compacidad es la mejor protección contra el acceso de sustancias perjudiciales.

Permeabilidad: Es el grado en que un hormigón es accesible a los líquidos o a los gases. El factor que más influye en esta propiedad es la relación entre la cantidad de agua añadida y de cemento en el hormigón (a/c). Cuanto mayor es esta relación mayor es la permeabilidad y por tanto más expuesto el hormigón a potenciales agresiones.

Resistencia: El hormigón endurecido presenta resistencia a las acciones de compresión, tracción y desgaste. La principal es la resistencia a compresión, que lo convierte en el importante material que es. Se mide en Mpa (Mega pascales) y llegan hasta 50 Mpa en hormigones normales y 100 Mpa en hormigones de alta resistencia.

La resistencia a tracción es mucho más pequeña, pero tiene gran importancia en determinadas aplicaciones. La resistencia a desgaste, de gran interés en los pavimentos se consigue utilizando áridos muy resistentes y relaciones agua cemento muy bajas.

Dureza: Es una propiedad superficial que en el hormigón se modifica con el paso del tiempo debido al fenómeno de carbonatación. Un método de medirla es con el índice de rebote que proporciona el esclerómetro Smichtd.

Retracción: Es el fenómeno de acortamiento del hormigón debido a la evaporación progresiva del agua absorbida que forma meniscos en la periferia de la pasta de cemento, y el agua capilar. Es el agua menos fijada en los procesos de hidratación.

2.1.3. Clasificación de Hormigones

2.1.3.1. Hormigones estructurales

a) Hormigones convencionales

Aquellos hormigones cuyas resistencias y características a compresión no superiores a 35 Mpa, pero tampoco inferiores a los 14 Mpa; cuya aplicación en estructuras de hormigón armado.

b) Hormigones de alta resistencia

El American Concrete Institute (ACI) define en la siguiente forma a un **hormigón de alta resistencia**: “Es un hormigón que cumple con la combinación de desempeño especial y requisitos de uniformidad, combinación que no puede ser rutinariamente conseguida usando solamente los componentes tradicionales y las prácticas normales de mezcla colocación y curado”.

c) Hormigones con fibras

Un hormigón reforzado con fibras incluye en su composición fibras cortas, discretas y aleatoriamente distribuidas, de acero o materiales poliméricos (ej. Fibras de carbono, fibras naturales, etc.); la adición de fibras, que no deberá superar el 1,5% el volumen, es admisible en hormigón en masa, armado o pretensado; el aporte de fibras puede obedecer a un fin estructural, como la mejora del comportamiento de los estados límites últimos a edades tempranas o con el hormigón ya endurecido, también puede obtenerse a fines no estructurales como la mejora de resistencia al fuego, el control de la figuración o la modificación de otras propiedades no estructurales. (Varona Moya, López Juárez, & Bañón Blázquez, 2012).

d) Hormigones reciclados

Es posible reciclar áridos procedentes de la demolición de obras de hormigón y emplearlos en nuevas realizaciones; la Instrucción EHE-08 admite el empleo de áridos reciclados en una nueva obra hasta un 20% del peso total de áridos, sin que deba modificarse las propiedades y bases de cálculo para un hormigón convencional; el hormigón reciclado puede emplearse

para estructuras de hormigón armado de resistencia característica no superior a los 40 Mpa, no pudiendo utilizarse para hormigón pretensado. (Varona Moya, López Juárez, & Bañón Blázquez, 2012).

e) Hormigón ligero estructural

Se trata de hormigones que poseen una cierta proporción de árido ligero, natural o artificial (arcilla expandida), y cuya densidad esta entre 1200 Kg/m^3 y 2000 Kg/m^3 , siendo inferior a la de un hormigón convencional; sin embargo, debido a la naturaleza de los áridos ligeros, la densidad en estado fresco puede ser superior; la resistencia característica mínima es de 15 o 20 Mpa y la máxima de 50 Mpa, aunque existe constancia de experiencias con hormigones ligeros de alta resistencia ; suelen necesitar de una compactación más enérgica que los convencionales, pero no deberá ser excesiva, ya que puede favorecer la flotabilidad de los áridos; son hormigones adecuados cuando se trate de elementos poco cargados y en los que el peso propio suponga una fracción importante de la carga total; también debe considerarse su uso de en el caso de losas de hormigón soportadas por estructuras rehabilitadas, en cerramientos resistentes, etc. (Varona Moya, López Juárez, & Bañón Blázquez, 2012).

f) Hormigones de alta densidad

Al contrario que los hormigones ligeros, estos poseen áridos de alta densidad, naturales o sintéticos (bolitas de acero, escoria pesada, etc.), que le confieren al hormigón una densidad superior a la del hormigón convencional, en torno a 2800 a 3500 Kg/m^3 , sus ámbitos de aplicación son fundamentalmente la protección radiológica (hospitales, centrales nucleares, etc.) y el efecto de “lastre” (losas de cimentación, contrapesos de puentes móviles, etc.); estos hormigones pueden necesitar de técnicas especiales para su puesta en obra, para evitar la tendencia a la segregación que tienen los áridos pesados. (Varona Moya, López Juárez, & Bañón Blázquez, 2012).

g) Hormigones autocompactantes

Como su propio nombre lo indica, son aquellos que no precisan de ningún aporte de energía de vibración para lograr su compactación, sino que esta se consigue exclusivamente al peso propio; un hormigón autocompactante fresco debe ser capaz de fluir hasta ocupar todo el volumen del cemento sin que se produzca segregación, bloqueo del árido grueso, sangrado, ni exudación de la lechada; el concepto de hormigón autocompactante fue formulado en Japón por el profesor Okamura de la Universidad de Tokio de 1986 y el primer prototipo se desarrolló en 1988; estos hormigones deben aplicarse en piezas cuyo hormigonado sea difícil debido a una gran densidad de armado; no debe emplearse áridos con D mayor de 25mm, pero se aconseja que el tamaño máximo este entre 12mm y 20mm; además del árido grueso y del árido fino necesitan de una tercera fracción de filleres; su docilidad no puede medirse igual que la de los hormigones convencionales y llevan asociados una serie de ensayos específicos (escurrimiento, caja en L, etc.); estos hormigones necesitan de aditivos súperfluidificantes y moduladores de la viscosidad. (Varona Moya, López Juárez, & Bañón Blázquez, 2012).

h) Hormigones proyectados

Se trata de hormigones que se proyectan a gran velocidad contra un encofrado, por lo que necesitan de dosificaciones muy especiales para paliar el problema de la segregación del árido; en Norteamérica este tipo de hormigón se denomina “Shotcrete” (Shot se traduce como disparo) y en España se ha popularizado con el nombre de “gunita” (del inglés gun, pistola); existen dos tipologías de pistolas de proyección, de rotor o de pistón (flujo denso), siendo está a la que más se tiende en la actualidad; además del inconveniente de la segregación del árido, este tipo de hormigones presentan otros problemas como la pérdida de material durante la proyección del hormigón fresco y la gran emisión de polvo; no obstante, son especialmente indicados para la ejecución de las bóvedas de túneles y taludes para contención de tierras. (Varona Moya, López Juárez, & Bañón Blázquez, 2012).

2.1.3.2. Hormigones No estructurales

a) Hormigón de limpieza

Es un hormigón que tiene como finalidad el evitar la desecación del hormigón estructural durante su vertido, así como una posible contaminación de este durante las primeras horas de su hormigonado (la capa de hormigón de limpieza previa a la ejecución de un elemento de cimentación). (Varona Moya, López Juárez, & Bañón Blázquez, 2012).

b) Hormigón para acabados con árido visto

Empleados fundamentalmente en pavimentos rugosos y antideslizantes, resistentes a los agentes atmosféricos; se puede conseguir una amplia gama de efectos estéticos combinando áridos de distintos colores y con distintos ataques de profundidad. (Varona Moya, López Juárez, & Bañón Blázquez, 2012).

c) hormigón traslucido

La invención del arquitecto húngaro Aron Losonczy (2005), en la que se combina el hormigón con fibras ópticas de cristal orientadas (hasta un 4% en volumen); es un material apto para bloques de hormigón en masa, aunque la particularidad de que las fibras deban estar orientadas complica y compromete estructuralmente la intersección de elementos verticales y horizontales, especialmente si están armados; por esta razón no es adecuado para su uso estructural en la actualidad. (Varona Moya, López Juárez, & Bañón Blázquez, 2012).

2.1.4. Factores que inciden en la resistencia del hormigón

a) Relación agua/cemento

En el año de 1918 Duff Abrams (fue un investigador estadounidense en el campo de la composición y características de concreto) formuló la conocida “Ley de Abrams”, según la cual, para los mismos materiales y condiciones de ensayo, la resistencia del concreto completamente compactado, a una edad dada, es inversamente proporcional a la relación agua-cemento.

En general el factor más importante en la resistencia de un hormigón endurecido es la relación agua/cemento (a/c). Dicha ley se expresó matemáticamente en forma logarítmica de la siguiente manera:

$$r = \frac{a}{c}$$

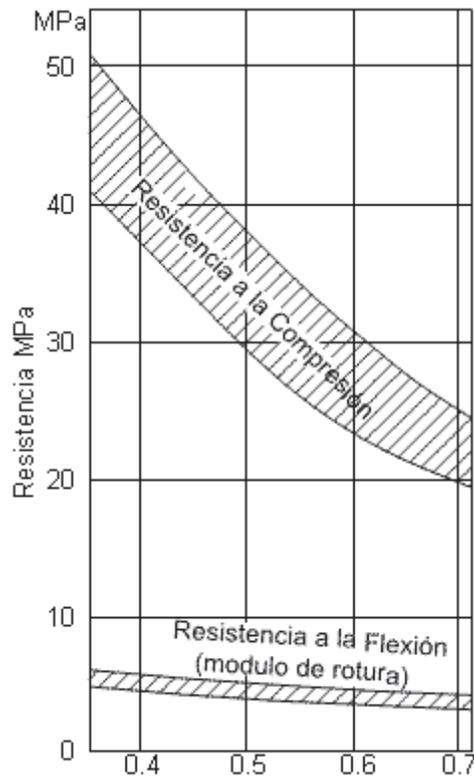
Donde, “ r ” es la relación agua/cemento, mientras que “ a y “ c ” son coeficientes numéricos que dependen de la calidad de los materiales, edad del concreto, sistema de curado, condiciones de ensayo, etc. (Diaz Ayarde, 2015).

En la figura 4 se dan las relaciones entre la resistencia a la compresión y flexión versus la relación a/c . En cada caso, se muestra una banda de valores, en lugar de una sola curva, para cubrir variaciones en los materiales y procedimientos de prueba.

La posición exacta de la curva de resistencia contra la relación A/C dependerá de las propiedades y proporciones de cada uno de los ingredientes, los métodos de mezclado, vaciado y curado.

Una mezcla dada puede tener una resistencia relativamente buena o mala, dependiendo de la cantidad de agua que se agregue. Una mayor relación A/C dará una menor resistencia, esto quiere decir que, a mayor cantidad de agua, menos resistencia.

Figura 4. Efecto de la relación A/C en la resistencia a la compresión y a la flexión a los 28 días



b) Cantidad de cemento

Generalmente se cumple que a mayor contenido de cemento se consiguen mayores resistencias. Dicha afirmación tiene su límite ya que se ha demostrado que para mezclas con una baja relación agua/cemento y con un contenido de cemento muy alto (superior a 470kg/m^3), en la resistencia surge una disminución, en especial cuando se utiliza agregado de gran tamaño. Este comportamiento se debe a los esfuerzos inducidos por la contracción, que, al ser obstruida por las partículas de agregado, causa agrietamiento de la pasta o una pérdida de adherencia entre el cemento y el agregado. (Diaz Ayarde, 2015).

c) Características de los agregados

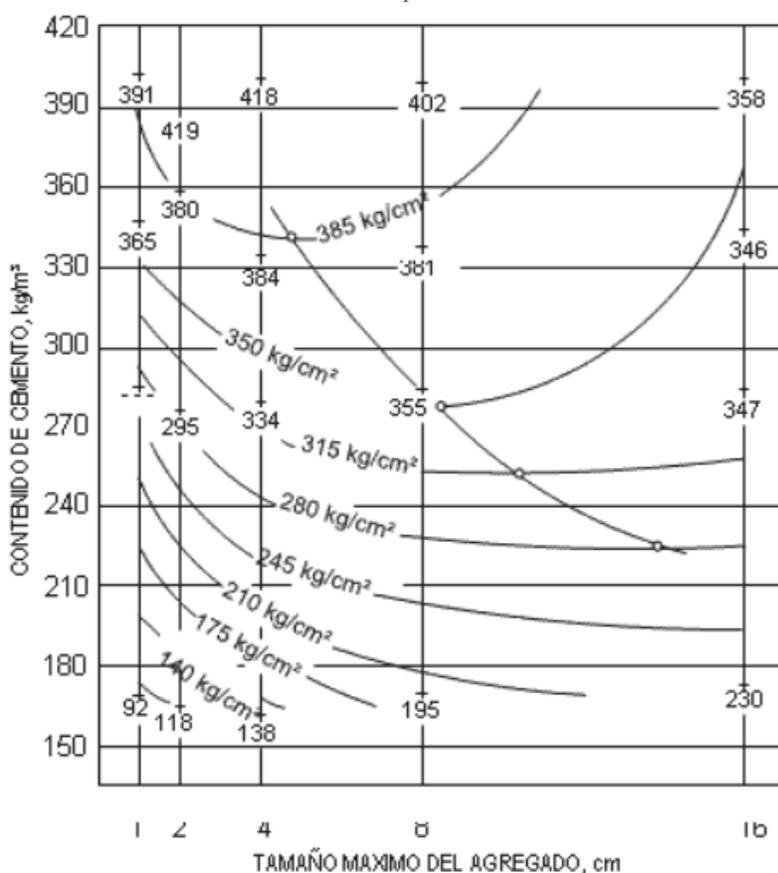
En general, se puede decir, que para una misma relación agua/cemento, las partículas de agregado con textura rugosa o de forma angular (chancado o triturado) forman hormigones más resistentes que otros redondeados o lisos (canto rodado), debido a que hay mayor trabazón entre los granos gruesos y el mortero; sin embargo, para igual contenido de cemento,

los primeros exigen mayor cantidad de agua para lograr una determinada manejabilidad y por ello el efecto neto sobre la resistencia no varía en forma apreciable.

Una masa de agregado cuya granulometría se continua, permite elaborar mezclas de alta compacidad, mucho más densos y por lo tanto se consiguen mayores resistencias.

La resistencia y rigidez propia de los granos de agregado también influyen en la resistencia del hormigón. Esto se debe a que un agregado muy poroso y de baja densidad, tiene menor resistencia que uno de alta resistencia y muy denso. (Diaz Ayarde, 2015).

Figura 5. Variación del contenido de cemento con el tamaño máximo del agregado para diversas resistencias a la compresión.



Cada punto representa un promedio de 4 cilindros de hormigón, probados a 90 días. Las mezclas tuvieron un revenimiento constante de 5 ± 2.5 cm, para cada agregado de tamaño máximo.

d) Tamaño máximo del agregado

En general, la diferencia en tamaño máximo de un mismo tipo de agregado bien gradado, tienen dos efectos opuestos en la resistencia a la compresión del hormigón.

En primer lugar, para una consistencia dada y para igual contenido de cemento, la utilización de tamaños máximos mayores requiere menos agua de mezclado que los agregados de tamaño máximo menores. Por otro lado, mezclas con la misma consistencia e igual relación agua/cemento, presenta resistencias más bajas cuando se utilizan agregados de tamaño máximo mayor.

En particular se ha logrado demostrar que, para hormigones de alta resistencia, mientras mayor sea la resistencia requerida, menor deberá ser el tamaño máximo para que la eficiencia sea máxima. Asimismo, para hormigones de baja resistencia, mientras mayor sea el tamaño máximo, mayor será la eficiencia.

Sin embargo, para hormigones de resistencia intermedia, existe un rango amplio en los tamaños máximos que se pueden usar para una misma resistencia, esencialmente con igual contenido de cemento. (Diaz Ayarde, 2015).

e) Agua

El agua es un elemento que influye considerablemente en la resistencia del hormigón. El agua de mezclado forma aproximadamente el 15% del volumen total del concreto de donde, un 5% sirve para hidratar el cemento y el 10% restante lubrica al hormigón y luego se evapora durante el proceso de fraguado, por lo que se deja poros interiores que reducen la resistencia del hormigón. Por otro lado, el agua que se utiliza en el curado del concreto, es importante, debido a que esta cumple la función de seguir hidratando al cemento después de que fragua este, por lo que la escasez de aquella puede dar lugar a menores resistencias (Diaz Ayarde, 2015).

Agua de amasado: El hidróxido de calcio que se libera durante la hidratación se combina con el ion sulfato que puede existir en el agua de amasado. Un criterio, generalmente usado en lo relativo a la tolerancia de agentes que afecten negativamente la resistencia del hormigón, es de aceptar una reducción de hasta el 10% de esa resistencia; teniendo esto en

cuenta podrá usarse un agua agresiva que produzca un descenso del 10% en comparación con los hormigones producidos con agua potable.

Es preciso hacer una clara distinción entre los efectos del agua de mezclado y el ataque al hormigón endurecido por aguas agresivas. Algunas aguas de este último tipo pueden ser inofensivas, e incluso benéficas cuando se usan en el mezclado. (Carlos Rodríguez, 2014 (Rodríguez F., Salazar Rodríguez, Escobar M., & Ovalle C., 2014).

f) Influencia del fraguado del hormigón

Las condiciones de tiempo y temperatura durante el proceso de fraguado es otro de los factores que afectan la resistencia del hormigón.

En climas fríos, el proceso de hidratación del cemento es más lento debido a que el medio ambiente le “roba” parte del calor de hidratación con el subsecuente retardo del tiempo de fraguado y, por lo tanto, la adquisición de resistencia se demora.

Por el contrario, cuando la temperatura es elevada, se aumenta la resistencia a muy temprana edad, pero se disminuye aproximadamente después de los 7 días. La razón es que una rápida hidratación inicial de los granos de cemento es superficial y parece formar una pasta con una estructura física más pobre y posiblemente más porosa. (Diaz Ayarde, 2015).

g) Curado del hormigón

Luego del proceso de fraguado del hormigón, es necesario mantener el hormigón tan saturado de agua como sea posible, con el fin de terminar de hidratar al cemento y conseguir así su máxima eficiencia.

Por esta razón, la resistencia del hormigón depende en gran medida de la atención que se le preste a este factor.

Otro factor importante en el curado es la temperatura, debido a que un aumento durante este proceso acelera las reacciones químicas de la hidratación lo cual afecta en forma benéfica la resistencia a edades tempranas del hormigón; pero, con consecuencias adversas en la resistencia posterior. (Diaz Ayarde, 2015).

h) Influencia de la edad del concreto

En la práctica, normalmente se especifica que el concreto alcanza la máxima resistencia a la compresión a la edad de 28 días. La explicación es porque de dicho tiempo el aumento de resistencia es muy poco.

Si se toma como base la resistencia máxima a la compresión a los 28 días, el aumento promedio de la resistencia con el tiempo es aproximadamente la que se indica en la tabla 1. (Diaz Ayarde, 2015).

Tabla 1. Incremento aproximado promedio de la resistencia a la compresión del hormigón con el tiempo

EDAD (días)	% RESISTENCIA CON RESPECTO A LA DE 28 DIAS
1	12
3	40
7	70
14	90
28	100
56	110
90	120
180	125

Fuente: Análisis comparativo del hormigón entre la caracterización de sus componentes y su resistencia a la tracción, Díaz Ayarde Moisés Eduardo, 2005.

2.2. Agua

El agua es un elemento fundamental para la elaboración de hormigones y para el curado del mismo, ya que esa relacionado directamente con la resistencia, trabajabilidad y las propiedades del hormigón fresco como endurecido. Por lo cual se debe tener muy en cuenta la calidad de la misma. (Diaz Ayarde, 2015).

2.2.1. Características físicas y químicas del agua

Características físicas

- a) Estado físico: sólida, líquida y gaseosa.
- b) Color: incolora

- c) Sabor: insípida
- d) Olor: inodoro
- e) Densidad: 1 g./c.c. a 4°C
- f) Punto de congelación: 0°C
- g) Punto de ebullición: 100°C
- h) Presión crítica: 217,5 atm.
- i) Temperatura crítica: 374°C

El agua químicamente pura es un líquido inodoro e insípido; incoloro y transparente en capas de poco espesor, toma color azul cuando se mira a través de espesores de seis y ocho metros, porque absorbe las radiaciones rojas.

Sus constantes físicas sirvieron para marcar los puntos de referencia de la escala termométrica Centígrada. A la presión atmosférica de 760 milímetros el agua hierve a temperatura de 100°C y el punto de ebullición se eleva a 374°, que es la temperatura crítica a que corresponde la presión de 217,5 atmósferas.

Características químicas

- a) **Reacciona con los óxidos ácidos.** - Los anhídridos u óxidos ácidos reaccionan con el agua y forman ácidos oxácidos.
- b) **Reacciona con los óxidos básicos.** - Los óxidos de los metales u óxidos básicos reaccionan con el agua para formar hidróxidos. Muchos óxidos no se disuelven en el agua, pero los óxidos de los metales activos se combinan con gran facilidad.
- c) **Reacciona con los metales.** - Algunos metales descomponen el agua en frío y otros lo hacían a temperatura elevada.
- d) **Reacciona con los no metales.**- El agua reacciona con los no metales, sobre todo con los halógenos (ej. Haciendo pasar carbón al rojo sobre el agua se descompone y se forma una mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno, gas de agua).
- e) **Se une en las sales formando hidratos.** - El agua forma combinaciones complejas con algunas sales, denominándose hidratos. En algunos casos los hidratos pierden agua de cristalización cambiando de aspecto, y se dice que son eflorescentes, como

le sucede al sulfato cúprico, que cuando está hidratado es de color azul, pero por pérdida de agua se transforma en sulfato cúprico anhidro de color blanco.

2.2.2. Potencial de hidrógeno (pH)

Potencial de hidrógeno (pH), es una medida para determinar el grado de alcalinidad o acidez de una disolución, es una característica de todas las sustancias determinadas por la concentración de iones de hidrógeno (H^+). Cuanto menor es el pH de una sustancia, mayor es la concentración de iones H^+ y menor la concentración de iones OH^- .

Según Arrhenius, un medio que presenta hidronios es ácido, y el que presenta hidróxidos es básico. Sin embargo, debemos relacionar la cantidad de ambos iones (H^+ y OH^-), lo que hace que la clasificación de un medio siga estos principios:

- Medio ácido: concentración de hidronios $>$ (mayor) que la de hidróxidos.
- Medio neutro: concentración de hidronios $=$ (igual) a de hidróxidos.
- Medio básico: concentración de hidronios $<$ (menor) que la de hidróxidos.

Así, podemos clasificar un medio por medio del valor del pH de la siguiente manera:

- Para $pH = 7$, el medio será **neutro** (indica que $[H^+] = [OH^-]$);
- Para $pH > 7$, el medio será **básico** (indica que $[H^+] < [OH^-]$);
- Para $pH < 7$, el medio será **ácido** (indica que $[H^+] > [OH^-]$).

Figura 6. La escala de medida del pH



La escala del pH puede variar de 0 a 14, y cuanto menor sea el índice del pH de una sustancia, más ácida será esta sustancia.

A continuación, se detallan algunos elementos con su valor en la escala de PH.

- **Muy ácido**

Jugos gástricos	(2,0)
Limón	(2,3)
Vinagre	(2,9)
Refrescos	(3,0)
Vino	(3,5)
Naranja	(3,5)
Tomate	(4,2)

- **Moderadamente ácido**

Lluvia ácida	(5,5)
--------------	-------

- **Ligeramente ácido**

Leche de vaca	(6,4)
---------------	-------

- **Neutro**

Saliva en reposo	(6,6)
Agua pura	(7,0)
Saliva al comer	(7,2)
Sangre humana	(7,4)

- **Ligeramente alcalino**

Huevos frescos	(7,8)
Agua de mar	(8,0)
Solución bicarbonato sódico	(8,4)

- **Moderadamente alcalino**

Dentífrico (9,5)

- **Muy alcalino**

Leche de magnesia (10,5)

Amoniaco casero (11,5)

(Bilski, s.f.)

2.2.3. Características del agua para Hormigones

El agua para amasar y curar el hormigón será satisfactoria, si esta es potable, debe estar razonablemente limpia y sin cantidades dañinas de materia orgánica, aceites, ácidos, álcalis, sales u otras sustancias que pueden resultar perjudiciales para el hormigón. (Diaz Ayarde, 2015).

Cuando las impurezas en el agua de mezclado son excesivas pueden afectar no solo el tiempo de fraguado, la resistencia y estabilidad del volumen, sino también provocar eflorescencia o corrosión en el acero de refuerzo.

Por lo general se puede usar para mezclado y curado del hormigón, sin necesidad de realizar análisis, agua clara, que no tenga sabor ni olor notorio, por ejemplo, el agua de ciénagas o lagos estancados pueden contener ácido tánico, el cual puede causar retardo en el fraguado y lento desarrollo de la resistencia.

Con la finalidad de garantizar la calidad del agua a emplearse en la preparación de hormigones, es necesario regirse a los siguientes valores máximos admisibles (Tabla 2), los mismos que son normalizados internacionalmente. (Diaz Ayarde, 2015).

Tabla 2. Sustancias Disueltas Admisibles en el Agua

Sustancias sueltas	valor máximo admisible	unidad
Potencial de Hidrogeno pH	> 7	mg/lit
Solido en suspensión	50	mg/lit
Cloruros	10	mg/lit
Magnesio	2,5	mg/lit
Impureza total	4	mg/lit
Álcalis	4,5	mg/lit
Sulfatos	3,5	mg/lit
Carbonatos	6	mg/lit
Bióxido de carbono	0,05	mg/lit
Materia orgánica	0,5	mg/lit
Grasas o aceites	0	mg/lit

Fuente: Análisis comparativo del hormigón entre la caracterización de sus componentes y su resistencia a la tracción, *Días Ayarde Moisés Eduardo, 2005.*

El agua utilizada en el presente trabajo de investigación, tanto para la preparación de probetas como su respectivo curado es procedente de la red de agua potable de la Ciudad de Tarija, cuyas características se presentan en el anexo A, mismas que fueron proporcionadas por el departamento técnico de COSAALT.

2.3. Áridos

La norma boliviana NB 594 define a los áridos como; “Material granular, generalmente inerte, resultante de la desintegración natural y desgaste de rocas o que se obtiene mediante trituración de ellas, de escorias siderúrgicas o de otros materiales suficientemente duros que permiten obtener partículas de forma y tamaños estables”

Alrededor del 75% del volumen del hormigón o concreto es ocupado por los agregados, que consisten en materiales como arena, grava, roca triturada o escoria. Los áridos quienes ocupan gran parte de la masa de hormigón contribuyen con importantes propiedades al mismo tanto en su estado fresco como endurecido, como ser; estabilidad volumétrica, peso

unitario, resistencia química a la intemperie, resistencias mecánicas, propiedades térmicas y textura.

Desde el punto de vista de durabilidad en medios agresivos, deben preferirse los áridos de tipo silíceo (gravas y arenas de ríos o canteras) y los que provienen del chancado de rocas volcánicas (basalto, andesita, etc.) o de calizas sólidas y densas, se debe tener en cuenta que las rocas volcánicas sueltas (pómez, toba, etc.) y las rocas sedimentarias (calizas, dolomitas, etc.) deben ser sujetas de un análisis previo.

Los áridos pueden ser de canto rodado o de piedra chancada. Los áridos de canto rodado nos proporcionan hormigones más dóciles y trabajables que requieren menor cantidad de agua comparando con hormigones que tiene piedra chancada.

El empleo de áridos de canto rodado se tiene la garantía de que se trata de piedras duras y limpias, con excepciones de contaminación de gravera, se debe analizar que estos áridos no se encuentren mezclados con arcillas, si es así, es imprescindible lavarlo para eliminar la camisa que envuelve a los granos y que hará que disminuya notablemente la adherencia con la pasta. El lavado a realizarse debe ser de carácter enérgico, realizado con máquinas de lavar, no sirviendo de nada el simple roseado que generalmente se hace en obra. (Diaz Ayarde, 2015).

El árido producto del chancado de piedras, debe estar limpio de polvos producidos por el mismo chancado, debido a que un incremento de finos en el hormigón, generarían mayor cantidad de agua de amasado, por tanto, una menor resistencia y mayor riesgo de fisuras en las primeras edades del hormigón. (Diaz Ayarde, 2015).

Una característica principal de los áridos es que estos se oponen a la retracción del hormigón, mejorando la adherencia entre las partículas, brindando hormigones de mayor resistencia a la compresión.

El agregado utilizado para el presente trabajo de investigación, es procedente de la planta de asfalto de Charaja (Rio Camacho), cuyas características se presentan en el anexo B, mismas que fueron realizadas mediante ensayos de caracterización de materiales, en el laboratorio de

la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho del departamento de Tarija

2.3.1. Agregado Grueso (Grava)

El agregado grueso utilizado comúnmente para hormigones en nuestro medio es denominado como “Grava”, que resulta de la desintegración y abrasión de rocas naturales a lo largo de años o procedentes de la trituración de rocas.

El tamaño del agregado grueso o Grava, está definido de acuerdo a normas, según la A.S.T.M. C-33, el agregado grueso es retenido predominantemente en el tamiz N° 4 (4,75mm).

La resistencia del agregado grueso o grava viene ligada a su dureza, densidad y módulo de elasticidad, la cual se puede apreciar claramente en los agregados procedentes de la trituración de rocas, tanto en la limpieza como en la agudeza de los cantos vivos.

Las mejores rocas para el triturado y posterior convertirse en agregado grueso o grava, son las calizas que no son rayadas por la navaja de bronce, la cual deja tan solo un ligero trazo sobre la superficie (su densidad es mayor a 2,6 y su resistencia supera los 1000 Kp/ cm²). Para asegurar que las piedras sean de calidad, se debe realizar esta prueba sobre una superficie plana y con el material totalmente seco. (Diaz Ayarde, 2015).

2.3.2. Agregado Fino (Arena)

El agregado fino utilizado comúnmente para hormigones en nuestro medio es denominado como “Arena”, que resulta de la desintegración y abrasión de rocas naturales a lo largo de años o procedentes de la trituración de rocas.

El tamaño del agregado fino o arena, está definido de acuerdo a normas, según la A.S.T.M. C-33, el agregado fino es aquella porción de agregado que pasa por en el tamiz N° 4 (4,75mm) y es retenido de modo predominante por el tamiz N° 200 (0.075mm).

El agregado fino o arena es el árido de mayor importancia para el hormigón ya que a diferencia de la grava, el agua e incluso el cemento, se puede decir que no es posible elaborar un buen hormigón sin una buena arena.

Las mejores arenas son las que se encuentran en los ríos, ya que muy pocas ocasiones se puede encontrar este material de cuarzo puro, por lo que no es necesario preocuparse sobre la resistencia y durabilidad del agregado fino. Las arenas provenientes de minas suelen estar mezcladas con arcillas, por lo cual se debe recurrir al lavado, para quitar dichas partículas de arcilla. Las arenas de mar por lo general si son limpias y pueden emplearse en la elaboración de hormigón previamente lavándolas con agua dulce. (Díaz Ayarde, 2015).

Las arenas provenientes de chancado o triturado de granito, basaltos y rocas analógicas son también excelentes, mientras se trate de rocas sanas que no presenten principios de descomposición.

Las arenas de procedencia caliza son de calidad muy variable por lo cual algunas resultan más absorbentes y requieren mayor cantidad de agua de amasado en comparación con las de origen silíceo.

La importancia del agregado fino o arena, es de gran importancia en la dosificación de hormigones, sobre todo cuando se realizará una dosificación en volumen, por lo cual es necesario tener en cuenta la calidad del mismo.

2.4. Cemento Portland

Se llama cemento Portland, a un cemento hidráulico que se obtiene de la pulverización del producto llamado Clinker, que es producto de la calcinación y hasta el punto de fusión de una mezcla de piedra caliza, arcilla desmenuzada, óxido de hierro y yeso chancado, a una temperatura que ronda entre los 1400°C y 1500°C.

Los cementantes que se utilizan para la fabricación de hormigón son de carácter hidráulico, es decir que tienen la capacidad de fraguar y endurecer al reaccionar químicamente con el agua, aun estando inmersos en ella, esta es la característica que los distingue de los cementantes aéreos, que solamente fraguan y endurecen en contacto con el aire.

2.4.1. Composición Química del Cemento Portland

La composición química del cemento Portland, se define convenientemente mediante la identificación de cuatro componentes principales (Tabla 3), cuyas variaciones relativas determinan la elaboración de los diferentes tipos de cementos Portland. (Diaz Ayarde, 2015).

Tabla 3. Composición química del Cemento Portland

Compuesto	Formula del Oxido	Notación química
Silicato Tricalcico	3CaO SiO ₂	Ca ₃ Si
Silicato Dicalcico	2CaO SiO ₂	Ca ₂ Si
Aluminato Tricalcico	3CaO Al ₂ O ₃	Ca ₃ Al
Aluminatoferrito Tetracalcico	4CaO Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	Ca ₄ Al Fe

De lo compuestos mencionado, se puede decir que el cemento Portland común está dosificado en los siguientes porcentajes:

- Ca₃ Si = 62,5%
- Ca₂ Si = 21%
- Ca₃ Al = 6,5%
- Ca₄ Al Fe = 2,5 %

El restante 7,5% está compuesto por; cal libre, Oxido magnésico, trióxido de azufre, y otros elementos en cantidades menores al 0,5%

Los compuestos principales del cemento Portland contribuyen con el comportamiento del mismo cuando este pasa del estado de pasta o plástico al estado rígido luego de producirse la hidratación:

- Ca₃ Si = Brinda al hormigón la alta resistencia inicial (Hasta los 28 días).
- Ca₂ Si = Brinda al hormigón la resistencia final (Después de los 28 días).
- Ca₃ Al = Genera el calor de hidratación.
- Ca₄ Al Fe = Controla el tiempo de fraguado con ayuda del yeso

2.4.2. Clasificación del Cemento Portland

Los cementos Portland tienen diferentes tipos de clasificaciones:

- Según la EHE-08 (RC-08):

Tabla 4. Clasificación del Cemento Portland según la norma EHE-08

Tipo	Denominación
CEM I	cemento Portland
CEM II	cemento Portland con escoria
	cemento Portland con humo de sílice
	Cemento Portland con puzolana
	Cemento Portland con ceniza volante
	Cemento Portland con esquistos calcinados
	Cemento Portland con caliza
CEM III	Cemento con escorias de horno alto
CEM IV	Cemento Puzolanico
CEM V	Cemento Compuesto

Fuente: Apuntes de Hormigón Armado, Fco. De Borja Varona Moya, José Antonio López Juárez y Luis Bañón blazquez, 2012

- Según la A.S.T.M. (C-150):

Tabla 5. Clasificación del Cemento Portland según la norma A.S.T.M.

Tipo	Característica	Ajuste principal
I	Cemento normal u ordinario, destinado a obras de concreto en general	Sin ajuste específico
II	Destinado a obras de concreto en general y obras expuestas a la acción moderada de sulfatos o donde se requiere moderado calor de hidratación	Moderado Ca ₃ Al
III	Cemento Portland de alta resistencia inicial	Alto Ca Si
IV	Cemento Portland con bajo calor de hidratación	Alto Ca Si, moderado Ca ₃ Al
V	Cemento Portland con de alta resistencia a la acción de sulfatos	Bajo Ca ₃ Al

Fuente: Análisis comparativo del hormigón entre la caracterización de sus componentes y su resistencia a la tracción, Días Ayarde Moisés Eduardo, 2005.

En cemento Portland fabricado, comercializado y utilizado es el de TIPO I (A.S.T.M.), que es equivalente al CEM I (EHE-08).

2.4.3. Resistencia Mecánica del Cemento Portland

La resistencia del cemento se la entiende como el resultado de la resistencia de un mortero normalizado, elaborado con arena de características y granulometría determinada, con una relación agua/cemento igual a 0,5, el mortero es ensayado en probetas normalizadas, curadas y rotas normalmente a los 2, 7 y 28 días (tabla 6), expresado en Mpa, Kg/cm², etc.

La resistencia del cemento influye de manera decisiva en la resistencia del hormigón, por lo cual mientras mayor sea la resistencia de este, mayor será la resistencia del hormigón. Esta característica no es la única que se debe buscar en los hormigones, pues también debe buscarse características que son de igual importancia que la resistencia, como la durabilidad, la resistencia a sulfatos, etc.

Tabla 6. Categorías estandarizadas de la resistencia de los Cementos

Categorías resistentes		Resistencias mínimas a compresión en Mpa (NB 470)		
		3 días	7 días	28 días
Alta	40 Mpa	17	25	40
Media	30 Mpa	-	17	30
Normal o corriente	25 Mpa	-	15	25

(Estas especiaciones no son las adecuadas para el control de calidad debido a que son resultados obtenidos en laboratorio en condiciones ideales y no así en obra, por lo cual las resistencias en obra pueden ser menores)

Tabla 7. Especificaciones Físicas de los Cementos

Categorías resistentes	Fraguado (NB 063)		Superficie específica Blaine en cm ² /gr (NB 472)
	Inicial (minutos)	Final (horas)	
Alta y media	> 45	< 10	> 2600
Normal o corriente	> 60	< 12	> 2600

Fuente: Análisis comparativo del hormigón entre la caracterización de sus componentes y su resistencia a la tracción, Días Ayarde Moisés Eduardo, 2005.

2.5. Aditivo

Se llaman aditivos aquellos productos que se incorporan al hormigón fresco con objeto de mejorar alguna de sus características (facilitar su puesta en obra, regular su proceso de fraguado y endurecimiento, aumentar su durabilidad, etc.). Por su importancia creciente, han sido denominados el cuarto componente del hormigón. (García Meseguer, Morán Cabré, & Arroyo Portero, 2009).

Existen en el comercio multitud de aditivos que, con el nombre de aceleradores, retardadores, plastificantes, aireantes, impermeabilizantes, etc. Su dosificación, se recomienda sea inferior a un 5 % del peso del cemento, debido a que un porcentaje mayor puede generar efectos contrarios desfavorables a lo que se busca realizando la incorporación del mismo.

El uso del Aditivo para el presente trabajo tiene como finalidad, analizar, los efectos del pH de agua de amasado sobre el mismo aditivo, es decir, la posible alteración de la funcionalidad del aditivo. Para el presente trabajo se utilizó aditivo súper plastificante de uso común.

2.5.1. Aditivo Súper – Plastificante o Súperfluidificante

Son aditivos reductores de agua de alta actividad, son productos que al ser incorporados al hormigón aumentan, significativamente su trabajabilidad, para una misma relación agua/cemento, o producen una considerable reducción de esta relación si se mantiene su trabajabilidad.

Las formulaciones de estos productos están basadas en dos materias primas, de tipo polimérico:

- a) Sales de melamina formaldehído sulfonada.
- b) Sales de naftaleno formaldehído sulfonado.

Estas moléculas pueden actuar sobre el cemento de forma tensio-activa, reconduciendo el agua por la pasta del hormigón, haciéndola más fluida, y neutralizando las cargas electrostáticas de los gránulos de cemento, produciendo su defloculación, lo cual favorece su hidratación. Ya que esta comienza por la parte exterior de los granos de cemento y los

cristales formados crean una membrana que dificulta la progresión de esta hidratación hacia el interior del grano, cuanto más pequeños sean, mayor cantidad de cemento se hidratará.

Las ventajas que aportan al hormigón este tipo de productos son importantes, ya sea en su estado fresco o endurecido.

Hormigón Fresco:

- Facilidad de bombeo.
- Facilidad de rellenar encofrados muy armados.
- Desarrollo rápido de las resistencias.
- Ausencia de segregación.
- Mayor compacidad.
- Pasta cementante más densa y homogénea.

Hormigón Endurecido:

- Menos fisuraciones.
- Menos porosidad.
- Mayor impermeabilidad.
- Mejor adherencia en la interfase pasta-árido y pasta-armadura.
- Superficie exterior y de ruptura más lisa.

(Anfah, 2018)

2.5.2. Sika Viscocrete 5 -800

El aditivo utilizado en este tema de investigación es el Sika Viscocrete 5-800 la misma que tiene como detalle la siguiente Hoja Técnica para la debida utilización del mismo:

Sika® ViscoCrete® 5-800

Aditivo para hormigón autocompactante

GENERAL	<p>Sika® ViscoCrete® 5-800 pertenece a la tercera generación de aditivos super-plastificantes para hormigón y mortero.</p> <p>Sika® ViscoCrete® 5-800 hormigón autocompactante es un concepto revolucionario para producir hormigón extremadamente fluido y cohesivo a la vez. Estas propiedades junto a la no segregación permiten una gran trabajabilidad. No contiene cloruros.</p>
USOS	<ul style="list-style-type: none">■ Hormigones donde se requiera fuerte reducción de agua o altísimas resistencias mecánicas. Mínima exudación.■ Hormigón Autocompactante, sin necesidad de vibración (Self Compacting Concrete - SCC), colocado por bombeo, colocado directamente o por intermedio de tolvas.■ Colocación de hormigón en sitios con gran cuantía de acero o poco accesibles.■ Hormigonado de elementos esbeltos y formas complicadas. Hormigón a la vista.
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none">■ Sika® ViscoCrete® 5-800 no contiene cloruros u otro ingrediente promotor de la corrosión, por lo que puede ser utilizado sin restricciones en hormigón armado y pretensado.■ Fuerte comportamiento autocompactante. Por lo mismo, es altamente apropiado para la colocación de hormigón con detalles complejos sin necesidad de vibración (Self Compacting Concrete - SCC).■ Extremadamente alta reducción de agua, lo que resulta en hormigón de alta impermeabilidad y altas resistencias iniciales y finales■ Mínima contracción debido al bajo contenido de agua.■ Debido a la baja porosidad el avance de un frente de carbonatación y el ingreso de agentes químicos agresivos son muy lentos.
DATOS BÁSICO	
APARIENCIA Y COLOR	Líquido café claro.
ALMACENAMIENTO	Mantener en sitio fresco y bajo techo, conservando el producto en el envase original bien cerrado.
TIEMPO DE VIDA ÚTIL	Como se indica en el envase.
PRESENTACIÓN	<ul style="list-style-type: none">■ Tambor 200 kg■ Tineta 20 kg■ IBC a Granel 1 kg
DATOS TÉCNICOS	
DENSIDAD	1.06 ± 0.02 kg/L

VALOR pH	4 - 6								
NORMAS	Está diseñado para cumplir con las especificaciones: ASTM C 494 Tipo F. NB 1000 - NB 1001 - NB 1225001								
APLICACIÓN									
CONSUMO	0.5 a 2.0 % referente al peso del cemento.								
MÉTODO DE APLICACIÓN	<p>El aditivo debe agregarse diluido en el agua de amasado en el momento del mezclado o agregado simultáneamente con el agua al interior del mezclador. Para un óptimo comportamiento, mezclar enérgicamente durante un mínimo de 1 minuto.</p> <p>Si se requiere la adición de agua al final del mezclado, para ajustes de precisión, se debe realizar después de por lo menos 40 segundos de realizado el mezclado, para evitar agregar exceso de agua.</p> <p>Para el uso de hormigón autocompactante (Self Compacting Concrete SCC) se requiere de un diseño especial para el hormigón. Favor consultar con nuestro Departamento Técnico.</p> <p>Sika® ViscoCrete® 5-800 puede ser utilizado en conjunto con otros aditivos Sika®, para lo cual se recomienda realizar ensayos previos con la combinación deseada. Favor consultar con nuestro Departamento Técnico.</p> <p>En la producción, colocación y curado del hormigón se deben seguir las reglas de buena práctica habitualmente usadas.</p>								
NOTAS SOBRE APLICACIÓN	<p>Ejemplo referencial de un contenido típico de finos (TMN)</p> <table border="1"> <tr> <td>0/4 mm</td> <td>≥ 650 kg/m³</td> </tr> <tr> <td>0/8 mm</td> <td>≥ 550 kg/m³</td> </tr> <tr> <td>0/16 mm</td> <td>≥ 500 kg/m³</td> </tr> <tr> <td>0/32 mm</td> <td>≥ 475 kg/m³</td> </tr> </table> <p>El contenido del cemento dependerá de las superficies requeridas, del "Tamaño Máximo Nominal" y contenido de finos.</p>	0/4 mm	≥ 650 kg/m ³	0/8 mm	≥ 550 kg/m ³	0/16 mm	≥ 500 kg/m ³	0/32 mm	≥ 475 kg/m ³
0/4 mm	≥ 650 kg/m ³								
0/8 mm	≥ 550 kg/m ³								
0/16 mm	≥ 500 kg/m ³								
0/32 mm	≥ 475 kg/m ³								
NOTAS	Todos los datos técnicos indicados en esta Hoja de Datos de Producto están basados en ensayos de laboratorio. Las medidas reales de estos datos pueden variar debido a circunstancias que escapan de nuestro control.								
RESTRICCIONES LOCALES	<p>Ha de tenerse en cuenta que como resultado de las legislaciones locales específicas, la ejecución del presente producto puede variar de país a país.</p> <p>Consulte la Ficha Técnica y Hoja de Seguridad local más reciente previo a cualquier uso. Disponibles en la compañía Sika Local y/o en su respectiva página web.</p>								
INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD									
PRECAUCIONES DE MANIPULACIÓN	<p>Durante la manipulación de cualquier tipo de producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias.</p> <p>Se recomienda protegerse utilizando guantes de goma y anteojos de seguridad. En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y acudir a un especialista. A la vez se recomienda lavarse las manos antes de ingerir alimentos.</p>								
ECOLOGÍA	No disponer el producto en el suelo o cursos de agua sino conforme a las regulaciones locales y previa neutralización. Para mayor información solicite la hoja de seguridad del producto.								

(S.A., 2018-2019)

2.6. Dosificación

Los métodos de dosificación de hormigones tienen por finalidad encontrar las proporciones en que hay que mezclar a los diferentes componentes de los mismos para conseguir mezclas que posean determinadas características de consistencia, compacidad, resistencia, durabilidad, etc. (Varona Moya, López Juárez, & Bañón Blázquez, 2012).

El cálculo teórico de las proporciones en que hay que mezclar a los componentes no exime de la comprobación experimental para la puesta a punto de la composición a adoptar. Esto es debido a que ningún método de dosificación puede tener en cuenta la gran cantidad de factores que influyen en las propiedades del hormigón a conseguir.

No existe un método único de dosificación, sino que, dependiendo de las condiciones que deba reunir el hormigón, el proyectista podrá elegir uno entre varios de los muchos existentes y los resultados que se consigan con él serán buenos cuando éste se haya elegido convenientemente y se hayan realizado las correcciones oportunas mediante masas de prueba.

La determinación de una dosificación para hormigones debe hacerse partiendo de unos datos iniciales, establecidos en base al proyecto y condiciones de ejecución (reales o previstas) de la obra.

Como datos necesarios se pueden indicar, por orden de trascendencia, los siguientes:

1. Resistencia característica especificada.
2. Sistema de puesta en obra o consistencia del hormigón.
3. Características de los materiales:
 - Cemento: tipo, categoría y peso específico
 - Áridos: granulometría, peso específico y procedencia o forma.

En general, las dosificaciones se basan en los tres tipos siguientes:

- Dosificación del hormigón según mezcla de sus componentes en volumen, y en función de la riqueza de cemento que se necesite por m³.

- Dosificación por peso de sus componentes, partiendo de una cantidad fijada de cemento por m³.
- Dosificación en razón a las resistencias requeridas del hormigón a los 7, 14 ó 28 días (edad del hormigón).

2.6.1. Dosificación ACI 211.1

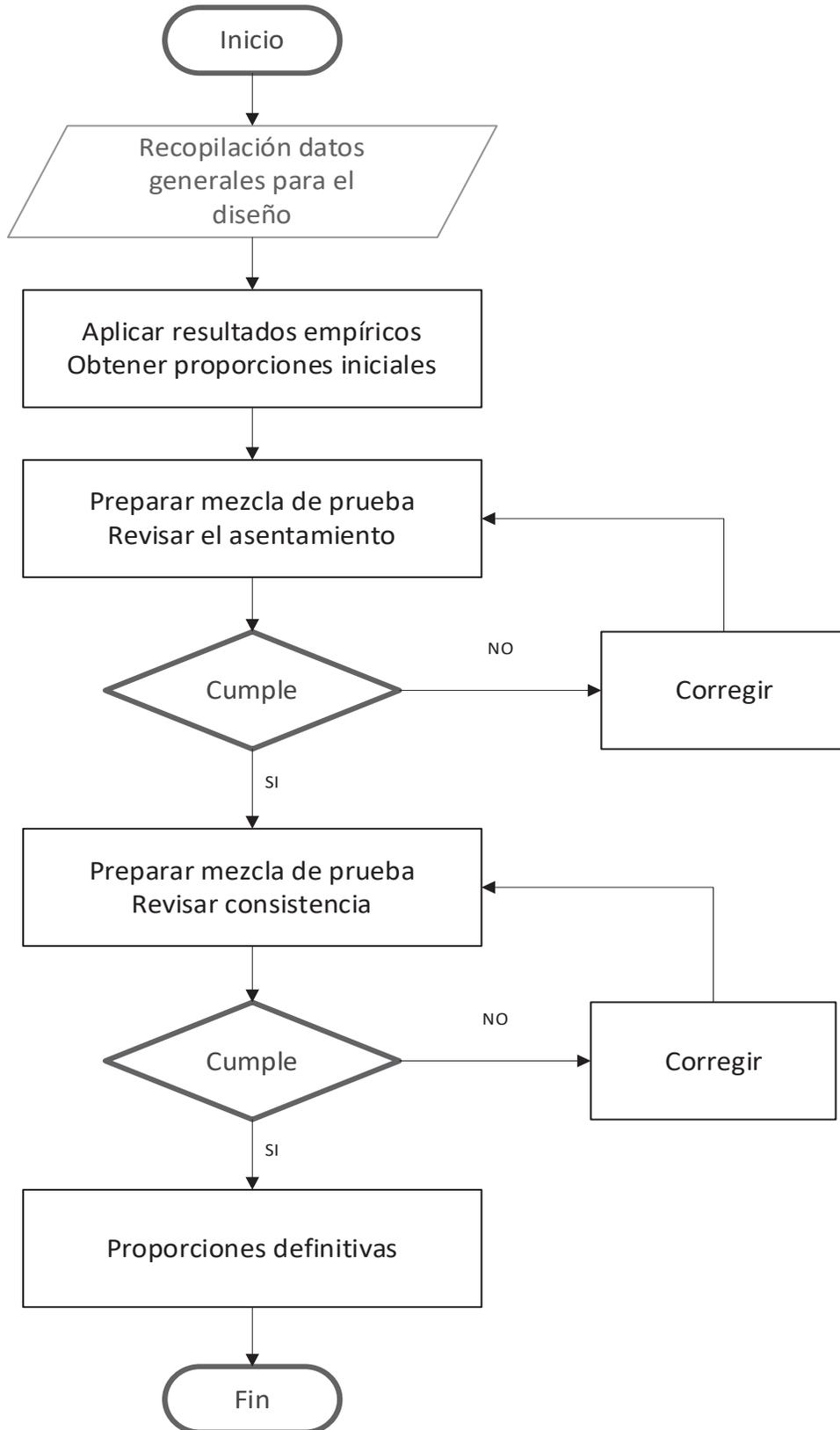
El Instituto Americano del Hormigón (ACI) presentó, como resultado de extensas investigaciones y fundamentándose en los trabajos experimentales de Abrams, Richard y Talbot, Goldbeck y Gray, un método con resultados aceptables para hormigones con dos agregados, de masa unitaria entre los 2,0 Mg/m³ y los 2,5 Mg/m³ y con requisitos de resistencia menores a 42 Mpa.

El método A.C.I. es un método de dosificación para el diseño de mezclas de hormigón; se basa en medir los materiales (cemento, agua, grava y arena) en peso y/o volumen, adecuados para el diseño de una mezcla de hormigón en estado fresco como endurecido, garantizando que la mezcla cumpla las características de resistencia del hormigón una vez endurecido.

La figura 7 muestra el diagrama de flujo o metodología grafica en el diseño de mezclas según ACI 211.1

(INSTITUTE., ACI, 2002)

figura 7. Diagrama de flujo Dosificación ACI 221.1



2.6.1.1. Experiencia en diseño de mezclas

Para obtener un hormigón de características aceptables no solo depende de escoger las cantidades adecuadas de cada material, sino también del cuidado que se tenga durante la preparación y el curado de la mezcla. Dicho cuidado está determinado por la experiencia de quien fabrica la mezcla, misma que dependiendo de esta experiencia se ve necesario aumentar el $f'c$.

Según la NSR-98 un hormigón es aceptable si:

- En ensayos individuales el 99% de los resultados de los ensayos a compresión den superiores a $(f'c - 3.5)$ Mpa
- El 99% del promedio de tres ensayos consecutivos de superior a $f'c$.

Caso contrario de no contar con la experiencia para el diseño de mezclas, se debe incrementar el $f'c$ según los valores que indica la tabla 8. (Bolivar, 2006)

Tabla 8. Resistencia a compresión media requerida cuando no hay datos disponibles para la desviación estándar

Resistencia a compresion especificada $f'c$ (Kg/cm²)	Resistencia a compresion media requerida (Kg/cm²)
menos de 210	$f'c + 70$
210 a 350	$f'c + 84$
más de 350	$1,10 f'c + 50$

2.6.1.2. Condiciones de colocación (asentamiento)

Los valores de asentamiento de observan en la tabla 9, mismos que son específicos para mezclas de hormigón cuyo método de compactación es el vibrado. Para otros métodos de compactación se recomienda el aumento de 2,5 cm a los valores de la tabla 9. (Romero Quintero & Hernandez Rico, 2014)

Tabla 9. Valores de asentamiento recomendados para diversas clases de construcción

Compactación	consistencia	asentamiento	Fluidez	Tipo de estructura
		(mm)	(%)	
vibro compactación	Muy rigida	0-10	oct-30	Pavimentos para transito pesado, con fuerte vibración. Elementos prefabricados
Alta vibración	Rigida	20-40	30-50	Pavimentos con maquina terminadora vibratoria. Cimentaciones de hormigon masivo, secciones poco reforzadas y vibradas. Muros no reforzados
Vibración normal	Plastica	50-90	50-70	Muros de contención reforzados, cimentaciones, pavimentos compactados normalmente, losas, vigas y columnas poco reforzadas.
Baja vibración	Fluida	100-150	70-100	Secciones reforzadas (vigas, losas, columnas), muros reforzados, hormigon a colocar en condiciones dificiles.
Sin vibración	Liquida	>150	>100	Hormigón transportado por bombeo, hormigón autonivelante, no se recomienda vibrarlo

La mayoría de estas tablas especifican, para un mismo grado de trabajabilidad, rangos demasiado amplios para el asentamiento, esta situación hace un poco dudosa la elección de un valor preciso para el asentamiento. (Romero Quintero & Hernandez Rico, 2014)

2.6.1.3. Estimación del contenido de aire atrapado

El contenido de aire beneficia la manejabilidad y la cohesión de la mezcla. La tabla 10 muestra los valores recomendados para estimar el contenido de aire de la mezcla, teniendo como base las referencias que se especifican en la norma ACI 318 (Romero Quintero & Hernandez Rico, 2014)

Tabla 10. Contenido de aire atrapado

Tamaño maximo nominal del agregado	Aire atrapado
3/8"	3,0%
1/2"	2,5%
3/4"	2,0%
1"	1,5%
1 1/2"	1,0%
2"	0,5%
3"	0,3%
4"	0,2%

2.6.1.4. Estimación la cantidad de agua (A)

La cantidad de agua en la mezcla es un factor muy importante debido a su relación y dependencia total de la cantidad de cemento, esta también se encuentra en función al tamaño máximo nominal del agregado a utilizar, se observan los valores en la tabla 11. (Bolívar, 2006)

Tabla 11. Cantidad de agua de amasado

Agua en lit, para los tamaños max. Nominales de agregado grueso y consistencia indicada								
SLUM O ASENTAMIENTO	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	-

2.6.1.5. Estimación la relación agua / cemento (A/C)

Este es el factor más importante en el diseño de mezclas de hormigón, debido a que con él se pueden determinar los requisitos de resistencia, durabilidad, permeabilidad y acabado. En la tabla 12 se puede observar los valores de la relación agua/cemento tanto para hormigones con aire incorporado y sin aire incorporado. (Romero Quintero & Hernandez Rico, 2014)

Tabla 12. Relación agua/cemento

f'c (Kg/cm2)	Relacion agua / cemento	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0,8	0,71
200	0,7	0,61
250	0,62	0,53
300	0,55	0,46
350	0,48	0,4
400	0,43	
450	0,38	

2.6.1.6. Contenido de cemento (C)

El cálculo de la cantidad de cemento, tiene relación a la cantidad de agua necesaria (tabla 11) y la relación agua/cemento (tabla 12) determinados por el diseñista. El contenido de cemento se calcula con la siguiente expresión:

$$C = \frac{A}{A/C}$$

(INSTITUTE., ACI, 2002)

2.6.1.7. Volumen de agregados

Con la tabla 13 se procede a hallar el volumen de agregado grueso por metro cúbico de hormigón (b/bo).

Tabla 13. Volumen de Agregado Grueso / Volumen Unitario concreto (b/bo)

volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos modulus de fineza del fino (b/bo)				
Tamaño maximo nominal del agregado grueso	2,4	2,6	2,8	3
3/8"	0,5	0,48	0,46	0,44
1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4"	0,66	0,64	0,62	0,6
1"	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2"	0,76	0,74	0,72	0,7
2"	0,78	0,76	0,74	0,72
3"	0,81	0,79	0,77	0,75
6"	0,87	0,85	0,83	0,81

El valor de b/bo multiplicado por el peso unitario compactado (PUC) dará la cantidad de agregado grueso necesario en la mezcla. Con la cantidad de agregado grueso necesario ya determinado se puede calcular por simple aritmética las cantidades faltantes en la mezcla (observar tabla 14).

Tabla 14. Cantidades de los elementos de mezcla

Cantidades de los elementos			
	Peso (Kg)	Peso específico (Kg/m³)	Volumen (m³)
Cemento	W C	dc	V C
Agua	W A	1000	V A
Aire	-	-	-
Agregado Grueso	W ag	d ag	V ag
Aditivo	W adit	d adit	V adit
Agregado Fino	W agf	d agf	V agf
Total	W total		1,00

Para el uso de aditivos en la mezcla de hormigón, se lo debe considerar que el mismo forma parte de la cantidad total de la mezcla. (INSTITUTE., ACI, 2002)

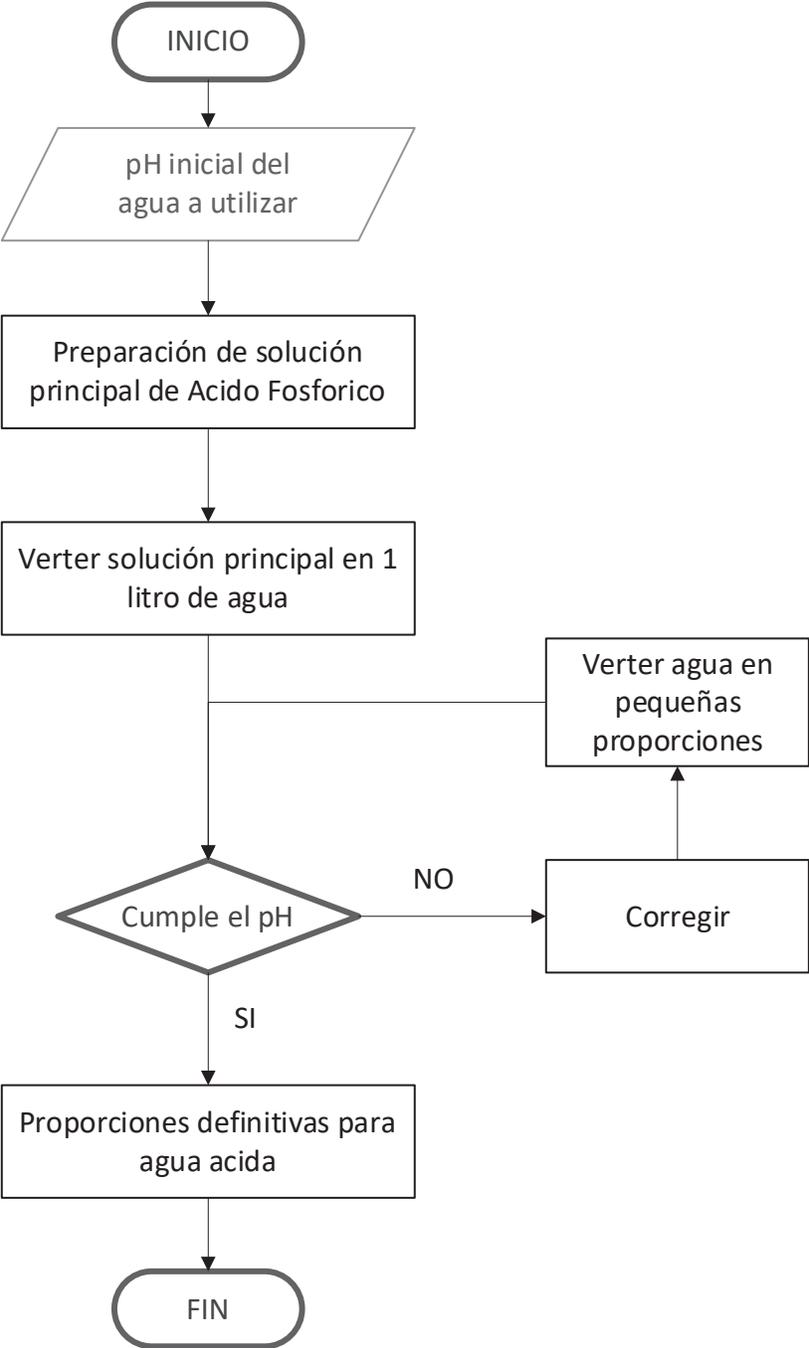
2.7. Modificación del pH del agua

Para la modificación del pH del agua se tiene una infinidad de procedimientos y elementos que pueden alterarlo con facilidad.

El pH una propiedad fácilmente alterable, tomando en cuenta ese parámetro y las características contaminantes existentes de los ríos y/o otros factores presentes en el transporte del mismo. Con la recomendación y ayuda de la Ing. Miriam Barrero, ingeniera química de profesión y docente de la Universidad UAJMS, se utilizará ácido fosfórico para modificar las aguas acidas (pH de 5 y 6) e Hidróxido de sodio (Soda caustica al 99%) para modificar las aguas básicas (pH de 8 y 9), siendo estos elementos los más comunes de encontrar en fuentes de agua natural, mientras que para el agua con pH neutro (pH 7) se utilizará agua potable, previamente mediada y cumpliendo el valor de pH requerido.

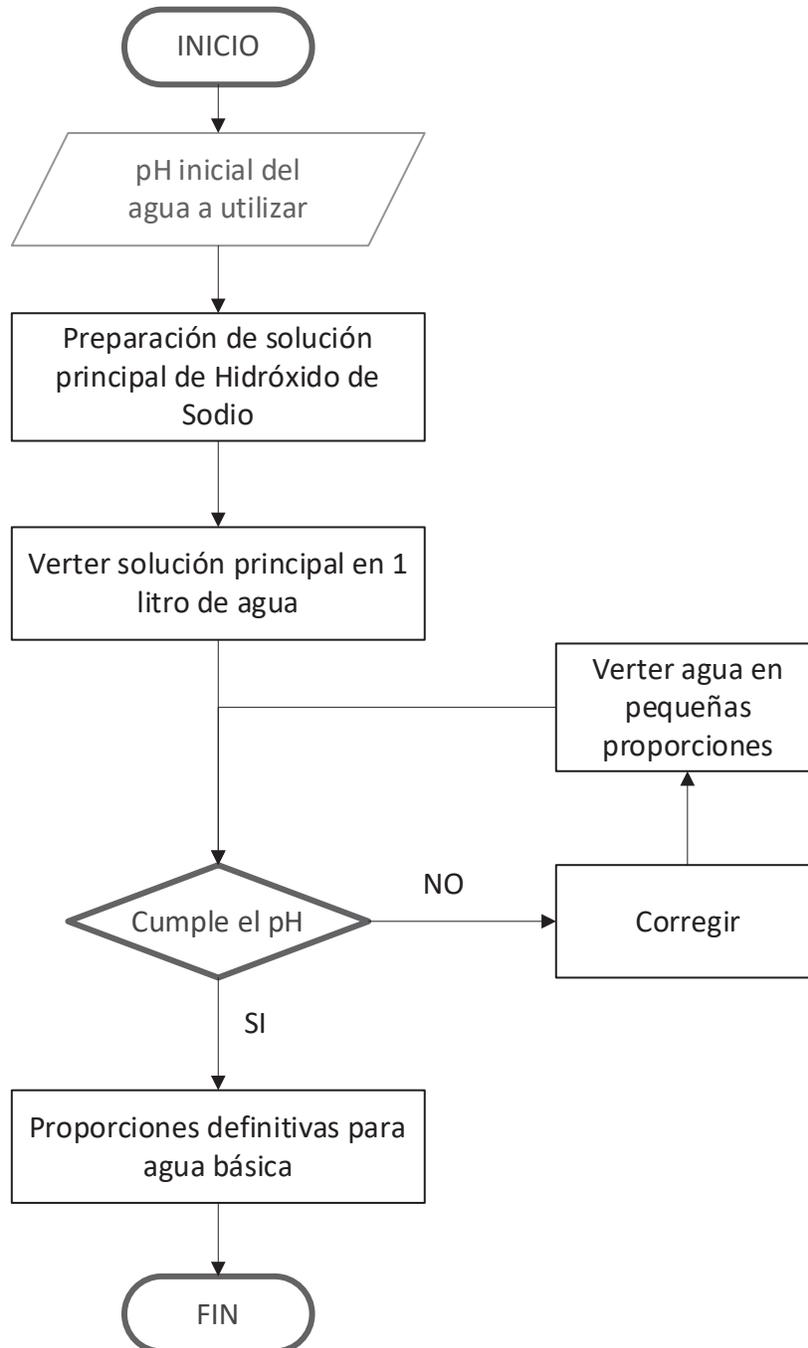
La figura 8 muestra el diagrama de flujo a utilizar en el proceso de preparación de las aguas acidas.

figura 8. Diagrama de flujo modificación aguas Acidas



La figura 9 muestra el diagrama de flujo a utilizar en el proceso de preparación de las aguas básicas.

figura 9. Diagrama de flujo modificación aguas Basicas



2.8. Determinación de la resistencia a compresión

Para la determinación de la resistencia a compresión de las probetas de hormigón se utilizará la prensa hidráulica, misma que se encuentra en el laboratorio de “hormigones y resistencia de los materiales”, teniendo las siguientes características:

- **Marca del equipo:** ControlsGroup
- **Modelo de equipo:** 1253337002
- **Año de fabricación:** 2013
- **Capacidad de fuerza máxima:** 2000 KN
- **Superficie del pistón:** 31415,9 mm²
- **Golpe del Pistón:** 50 mm
- **Peso de la maquina:** 550 Kg

2.9. Presupuestos

Un presupuesto es la presentación por escrito del costo de una obra o proyecto y estará compuesto por una serie de partidas y sub-partidas dentro de las cuales deberán de estar todos los conceptos que comprenden la obra a realizar, en el presupuesto se nos indicara el costo de cada uno de los conceptos mediante un precio previamente analizado, obteniendo el costo total por partida y sub-partida para que finalmente la suma de todas nos dé el costo total por ejecutar dicha obra. (Mexico, s.f.)

En el medio se conocen básicamente dos tipos de presupuestos: el primero es el que se presenta a una empresa privada o particular y el segundo el que se presenta a una organización pública o gubernamental, en el medio de la construcción un presupuesto se puede presentar por diferentes motivos: por solicitud directa de un particular, por una invitación de un particular o dependencia para concursar o por una licitación pública que generalmente publican las dependencias gubernamentales y en algunas ocasiones las empresas privadas. (Mexico, s.f.)

2.9.1. Precio unitario

El precio unitario es el costo por unidad de obra (m², m³, ml, pieza, kg, etc.) de un concepto o trabajo, que se tendrá que pagar a un contratista, empresa o maestro de obra por haberlo ejecutado de acuerdo a ciertas especificaciones, características y alcances, requeridas y especificadas con anterioridad. (Fernandez, 2018)

El precio unitario de un ítem está compuesto por los siguientes parámetros:

a) Materiales

Los materiales de cada ítem, son determinados por el pliego de especificaciones técnicas provisto por la entidad solicitante, los mismos que definen las características de los materiales. Como es lógico, se debe cotizar el precio del material puesto en obra incluyendo los gastos de carguío, manipuleo, transporte, etc. (Fernandez, 2018)

b) Mano de obra

Para el cálculo de los costos de mano de obra, se debe determinar en función del trabajo a realizar el rendimiento de mano de obra promedio de maestros experimentados y principiantes, considerando los tiempos muertos de preparación, arreglos, limpieza, etc. (Fernandez, 2018)

Cargas sociales. - En la determinación del porcentaje de cargas sociales sobre el jornal o salario básico, se debe considerar varios aspectos que están regulados por Leyes, Decretos, Resoluciones, etc. Es conveniente aclarar que en Bolivia tenemos que aplicar las cargas sociales indicadas por el Decreto supremo N° 27328 que equivale a un porcentaje entre los valores de 55 al 71,18 % del sub total de la mano de obra. (Fernandez, 2018)

Impuesto al Valor Agregado (IVA). – Si tomamos en cuenta que los costos de mano de obra no otorgan crédito fiscal, la empresa contratista debe considerar sobre el costo de mano de obra, el impuesto al valor agregado mismo que tiene un valor único de 14,94 %. (Fernandez, 2018)

c) Equipo, maquinaria y herramientas

Para determinar los costos de maquinaria y equipo en forma exacta se deberá considerar por separado los costos y rendimientos horarios de la maquinaria y equipos utilizados en cada ítem, y un costo porcentual de la mano de obra por desgaste de herramientas y equipo menor. (Fernandez, 2018)

d) Gastos generales

El porcentaje de gastos generales sobre el valor total de la obra es muy variable y depende de varios aspectos. Cada empresa determina el porcentaje de gastos generales para cada una de sus obras, fluctuando este costo entre el 10 al 15 %. (Fernandez, 2018)

e) Utilidad

La determinación del porcentaje de utilidad que percibe una empresa, es atribución de los responsables de la misma. De acuerdo a las condiciones y grado de dificultad de la obra, este porcentaje fluctúa por lo general entre el 10 al 20 %. (Fernandez, 2018)

f) Impuestos

Al igual que el Impuesto al Valor Agregado (IVA), tiene un valor único de 3,09 %.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS Y ELABORACIÓN DE HORMIGONES CON AGUA A DIFERENTES PH

3.1. Elaboración de hormigón de 35 Mpa

La dosificación que se presentará a continuación esta realizada con los datos obtenidos en laboratorio, mediante la caracterización realizada a los materiales que emplearan en el hormigonado del mismo.

a) Característica de los agregados

Tabla 15. Característica de los Agregados

Característica de los agregados			
Nº	DATOS	Cantidad	Unidad
1	modulo de Finura de la arena (MF)	2,89	s/u
2	Peso unitario Compactado de la grava (PUC)	1551,71	Kg/m3
3	Peso especifico de la arena (γ_a)	2,75	gr/cm3
4	Peso especifico de la grava (γ_g)	2,70	gr/cm3
5	Absorcion de la arena	1,49	%
6	Absorcion de la grava	1,48	%
7	Humedad de la arena	0,07	%
8	Humedad de la grava	0,46	%
9	Tamaño maximo nominal de la grava (TMN)	3/4	pulg
10	Tamaño maximo de la grava (TM)	1	pulg
11	Peso especifico del cemento	3,15	gr/cm3

b) Características del aditivo

Tabla 16. Características del Aditivo

Característica del Aditivo			
1	Nombre del aditivo	Sika viscocrete 5 - 800	
2	Densidad del aditivo	1,06	Kg/lit
3	Proporciones del aditivo por Kg de cemento	0,5 a 2	%
4	Porcentaje de aditivo por Kg de cemento	0,8	%
5	Cantidad del aditivo	3,84	Kg

c) Características del Diseño

Tabla 17. Características del Diseño

Característica del diseño			
1	Resistencia de diseño (f`c)	350	Kg/ cm2
2	Resistencia característica (f`cr) TABLA 35	434	Kg/ cm2
3	Asentamiento o Slump (S)	1 a 2	Pulg
4	Cantidad de agua (A) TABLA 36	190	lit=kg
5	Cantidad de aire atrapado TABLA 37	2,00	%
6	Relacion Agua/Cemento TABLA 38	0,396	s/u
7	Cantidad de Cemento	479,80	Kg
8	Vol. Agr. Grueso / Vol. Unitario concreto (b/bo) TABLA 39	0,611	s/u
9	Peso del agregado grueso (P ag)	948,10	Kg

d) Cantidades de los elementos de diseño

Tabla 18. Cantidades de los elementos de diseño

Cantidades de los elementos				
	Masa (Kg)	Peso específico (Kg/m3)	Volumen (m3)	%
Cemento	479,80	3150	0,152	-
Agua	190	1000	0,190	-
Aire	-	-	0,02	-
Agregado Grueso	948,10	2703,52	0,351	-
Aditivo Plastificante	3,84	1060	0,0036	0,8
Agregado Fino	779,46	2750,67	0,283	-

e) Proporciones de la mezcla de Hormigón

Tabla 19. Proporciones de la mezcla de Hormigón

Proporciones de la mezcla		
Nº	Elemento	Seco
1	Cemento	1
2	Grava	1,98
3	Arena	1,62
4	Aditivo	1%

Las tablas de apoyo utilizadas en la dosificación se encuentran en el ANEXO C, con la respectiva especificación de los valores.

La presente dosificación será de las mismas proporciones para el hormigonado de cada tipo de pH (5, 6, 7, 8 y 9) y así mismo para las aguas provenientes de El puente y Entre Rios, el factor del pH viene siendo externo a la dosificación, por lo cual el análisis del presente trabajo solo estaría en función del pH del agua a utilizar.

3.2. Modificación del pH del agua

3.2.1. Análisis y modificación del agua para un pH = 5 (Acido)

a) Materiales utilizados:

- pH metro de campo
- Ácido Fosfórico
- Probetas graduadas
- Matraz Erlenmeyer

b) Procedimiento:

Inicialmente se procedió a la medición del pH del agua procedente del sistema de agua potable de la ciudad de Tarija (Agua de grifo), como punto de partida para la modificación del pH del agua el cual por medio del pH metro de campo dio un valor de 7 (anexo D), cuyo valor nos indica que el pH del agua si corresponde a los valores proporcionados por COSAALT.

Una vez verificado el pH inicial del agua, se procede a preparar una solución con el ácido fosfórico, esta solución de la denomino “solución principal”, mediante la cual una porción de esta mezclada con agua neutra nos brindara los pH ácidos requeridos; la solución principal se elaboró con 5 ml de ácido fosfórico en 10 litros de agua, cuya solución tiene un pH de 2,33.

Figura 10. Solución madre de Ácido Fosfórico + agua con pH = 2.33



Para la obtención de un pH de 5 se introdujo 10 ml de la solución principal en 1 litro de agua obteniendo así un pH de 5 medido con el pH metro de campo.

Figura 11. Agua modificada con pH = 5



3.2.2. Análisis y modificación del agua para un pH = 6 (Acido)

f) Materiales utilizados:

- pH metro de campo
- Ácido Fosfórico
- Probetas graduadas
- Matraz Erlenmeyer

g) Procedimiento:

Inicialmente se procedió a la medición del pH del agua procedente del sistema de agua potable de la ciudad de Tarija (Agua de grifo), como punto de partida para la modificación del pH del agua el cual por medio del pH metro de campo dio un valor de 7 (anexo D), cuyo valor nos indica que el pH del agua si corresponde a los valores proporcionados por COSAALT.

Una vez verificado el pH inicial del agua, se procede a preparar una solución con el ácido fosfórico, esta solución de la denomino “solución principal”, mediante la cual una porción de esta mezclada con agua neutra nos brindara los pH ácidos requeridos; la solución principal se elaboró con 5 ml de ácido fosfórico en 10 litros de agua, cuya solución tiene un pH de 2,33.

Figura 12. Solución madre de Ácido Fosfórico + agua con pH = 2.33



Para la obtención de un pH de 6 se introdujo 5 ml de la solución principal en 5 litros de agua obteniendo así un pH de 6 medido con el pH metro de campo.

Figura 13. Agua modificada con pH = 6



3.2.3. Análisis del agua para un pH = 7 (Neutro)

Para la elaboración de probetas y modificación de las aguas acidas y básicas se tiene que tener muy en cuenta que como punto de partida esta debe ser neutra (pH=7).

Por medio de los datos brindados por la empresa que distribuye el agua potable en Tarija como lo es COSAALT, el cual nos dice que el agua que llega a los grifos de cada domicilio tiene un pH de 7; se procedió a verificar lo brindado por dicha empresa, midiendo el pH del agua con el pH metro de campo, obteniendo un resultado satisfactorio con un pH confirmado del agua procedente de una pileta de 7 (Anexo D).

Siendo pH la característica principal de estudio, no se tomó en cuenta la medición de otras propiedades del agua, solo que la misma sea; incolora, Insípida e inodoro.

Figura 14. Agua natural con pH = 7



3.2.4. Análisis y modificación del agua para un pH = 8 (Base)

a) Materiales utilizados:

- pH metro de campo
- Soda caustica al 99%
- Probetas graduadas
- Matraz Erlenmeyer

b) Procedimiento:

Inicialmente se procedió a la medición del pH del agua procedente del sistema de agua potable de la ciudad de Tarija (Agua de grifo), como punto de partida para la modificación del pH del agua el cual por medio del pH metro de campo dio un valor de 7 (anexo D), cuyo valor nos indica que el pH del agua si corresponde a los valores proporcionados por COSAALT.

Una vez verificado el pH inicial del agua, se procede a preparar una solución con la soda cáustica, esta solución de la denomino “solución principal”, mediante la cual una porción de esta mezclada con agua neutra nos brindara los pH las bases requeridas; la solución principal se elaboró con 4 gr de soda caustica en 100 ml de agua, generando así hidróxido de sodio cuya solución tiene un pH de 12.

Figura 15. Solución madre soda caustica + agua con pH = 12



Para la obtención de un pH de 8 se introdujo 1 ml de la solución principal en 5 litros de agua obteniendo así un pH de 7,81 medido con el pH metro de campo.

Figura 16. Agua modificada con pH = 7,81



3.2.5. Análisis y modificación del agua para un pH = 9 (Base)

a. Materiales utilizados:

- pH metro de campo
- Soda caustica al 99%
- Probetas graduadas
- Matraz Erlenmeyer

b. Procedimiento:

Inicialmente se procedió a la medición del pH del agua procedente del sistema de agua potable de la ciudad de Tarija (Agua de grifo), como punto de partida para la modificación del pH del agua el cual por medio del pH metro de campo dio un valor de 7 (anexo D), cuyo valor nos indica que el pH del agua si corresponde a los valores proporcionados por COSAALT.

Una vez verificado el pH inicial del agua, se procede a preparar una solución con la soda cáustica, esta solución de la denomino “solución principal”, mediante la cual una porción de esta mezclada con agua neutra nos brindara los pH las bases requeridas; la solución principal se elaboró con 4 gr de soda caustica en 100 ml de agua, generando así hidróxido de sodio cuya solución tiene un pH de 12.

Figura 17. Solución madre soda caustica + agua con pH = 12



Para la obtención de un pH de 9 se introdujo 4 ml de la solución principal en 5 litros de agua obteniendo así un pH de 9,01 medido con el pH metro de campo.

Figura 18. Agua modificada con pH = 9,01



3.3. Elaboración de probetas

La dosificación, hormigonado y curado de las probetas cilíndricas se realizó, en el laboratorio hormigones y resistencia de materiales, perteneciente a la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” de acuerdo a especificaciones de la norma ACI 318 y ASTM 192 (Elaboración y curado de muestras en laboratorio).

Se puede observar el proceso de dosificación, hormigonado y curado de probetas o testigos de hormigón en el Anexo E.

3.4. Rotura de probetas

La rotura de probetas cilíndricas o testigos de hormigón, se realizó en el laboratorio de hormigones y resistencia de materiales perteneciente a la universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” de acuerdo a especificaciones de la norma ASTM C-39 (Método de ensayo a la compresión de probetas cilíndricas).

Para el análisis de los resultados provenientes de las probetas, la rotura tenía que ser realizado a los 7 y 28 días, por efectos de la pandemia debida al virus COVID-19 que afecta a nivel

mundial, generando cuarentena a nivel nacional (Bolivia, 22 de marzo), durante el proceso de elaboración del presente trabajo, se vio alterado las fechas de rotura para las probetas planteadas a 28 días, siendo estas probetas su rotura a los 221 días.

La rotura de probetas planteadas para 7 días, no se vio alterada.

Se puede observar el proceso de rotura de probetas cilíndricas y/o testigos de hormigón, en el Anexo F.

3.4.1. Probetas elaboradas con un pH = 5 (ácido)

Para la elaboración de las probetas de hormigón, cuando el agua de amasado tiene un pH de 5 (ácido), se utilizó la dosificación realizada mediante la caracterización de los materiales a emplear, siendo el agua un elemento primordial, en el cual la única característica de su análisis es el pH. Para lo cual la cantidad de agua no se vio modificada en ninguna instancia, solo se hizo variar el pH del agua con la adición de una solución de ácido fosfórico.

a) 7 días de edad

Pasados los 7 días de hormigonado de las probetas de hormigón se procedió a la rotura de 12 probetas (Anexo F), las mismas que dieron los siguientes resultados (Tabla 20):

Tabla 20. Datos y estadística de probetas para pH = 5 (ácido) a 7 días

pH=5					
Nº	Elemento	Edad	Resistencia	Resistencia	Resistencia
		(Días)	(KN)	(Kg/cm2)	(Mpa)
1	Probeta I	7	321.99	185.89	18.23
2	Probeta II	7	344.24	198.74	19.49
3	Probeta III	7	358.55	207.00	20.30
4	Probeta IV	7	352.90	203.74	19.98
5	Probeta V	7	340.18	196.39	19.26
6	Probeta VI	7	352.19	203.33	19.94
7	Probeta VII	7	357.14	206.18	20.22
8	Probeta VIII	7	347.42	200.57	19.67
9	Probeta IX	7	336.12	194.05	19.03
10	Probeta X	7	333.29	192.42	18.87
11	Probeta XI	7	345.30	199.35	19.55
12	Probeta XII	7	348.66	201.29	19.74

Parámetros Estadísticos	
Numero de Probetas	12
Suma	234,28
Media	19,52
Desviación estándar	0,60
Varianza de la muestra	0,36
Rango	2,07
Mínimo	18,23
Máximo	20,30

b) 221 días de edad

Pasados los 221 días de hormigonado de las probetas de hormigón se procedió a la rotura de 12 probetas (Anexo F), las mismas que dieron los siguientes resultados (Tabla 21):

Tabla 21. Datos y estadística de probetas para pH = 5 (ácido) a 221 días

pH=5					
Nº	Elemento	Edad	Resistencia	Resistencia	Resistencia
		(Días)	(KN)	(Kg/cm2)	(Mpa)
1	Probeta I	221	444.57	256.66	25.17
2	Probeta II	221	415.95	240.14	23.55
3	Probeta III	221	439.62	253.80	24.89
4	Probeta IV	221	445.62	257.27	25.23
5	Probeta V	221	435.73	251.56	24.67
6	Probeta VI	221	428.49	247.38	24.26
7	Probeta VII	221	418.07	241.36	23.67
8	Probeta VIII	221	424.43	245.03	24.03
9	Probeta IX	221	415.78	240.04	23.54
10	Probeta X	221	427.08	246.56	24.18
11	Probeta XI	221	439.27	253.60	24.87
12	Probeta XII	221	428.85	247.58	24.28

Parámetros Estadísticos	
Numero de Probetas	12
Suma	292,34
Media	24,36
Desviación estándar	0,60
Varianza de la muestra	0,36
Rango	1,69
Mínimo	23,54
Máximo	25,23

3.4.2. Probetas elaboradas con un pH = 6 (ácido)

Para la elaboración de las probetas de hormigón, cuando el agua de amasado tiene un pH de 6 (ácido), se utilizó la dosificación realizada mediante la caracterización de los materiales a emplear, siendo el agua un elemento primordial, en el cual la única característica de su análisis es el pH. Para lo cual la cantidad de agua no se vio modificada en ninguna instancia, solo se hizo variar el pH del agua con la adición de una solución de ácido fosfórico.

g) 7 días de edad

Pasados los 7 días de hormigonado de las probetas de hormigón se procedió a la rotura de 12 probetas (Anexo F), las mismas que dieron los siguientes resultados (Tabla 22):

Tabla 22. Datos y estadística de probetas para pH = 6 (ácido) a 7 días

pH=6					
Nº	Elemento	Edad	Resistencia	Resistencia	Resistencia
		(Días)	(KN)	(Kg/cm ²)	(Mpa)
1	Probeta I	7	359.08	207.31	20.33
2	Probeta II	7	371.09	214.24	21.01
3	Probeta III	7	365.08	210.77	20.67
4	Probeta IV	7	357.31	206.29	20.23
5	Probeta V	7	366.50	211.59	20.75
6	Probeta VI	7	365.97	211.28	20.72
7	Probeta VII	7	347.24	200.47	19.66
8	Probeta VIII	7	362.96	209.55	20.55
9	Probeta IX	7	335.41	193.64	18.99
10	Probeta X	7	375.15	216.58	21.24
11	Probeta XI	7	345.66	199.56	19.57
12	Probeta XII	7	346.71	200.17	19.63

Parámetros Estadísticos	
Numero de Probetas	12
Suma	243,35
Media	20,28
Desviación estándar	0,68
Varianza de la muestra	0,46
Rango	2,25
Mínimo	18,99
Máximo	21,24

h) 221 días de edad

Pasados los 221 días de hormigonado de las probetas de hormigón se procedió a la rotura de 12 probetas (Anexo F), las mismas que dieron los siguientes resultados (Tabla 23):

Tabla 23. Datos y estadística de probetas para pH = 6 (ácido) a 221 días

pH=6					
N°	Elemento	Edad	Resistencia	Resistencia	Resistencia
		(Días)	(KN)	(Kg/cm ²)	(Mpa)
1	Probeta I	221	579.86	334.77	32.83
2	Probeta II	221	600.70	346.80	34.01
3	Probeta III	221	561.14	323.96	31.77
4	Probeta IV	221	593.64	342.72	33.61
5	Probeta V	221	584.28	337.32	33.08
6	Probeta VI	221	562.73	324.88	31.86
7	Probeta VII	221	599.82	346.29	33.96
8	Probeta VIII	221	590.81	341.09	33.45
9	Probeta IX	221	566.97	327.32	32.10
10	Probeta X	221	588.51	339.76	33.32
11	Probeta XI	221	566.61	327.12	32.08
12	Probeta XII	221	593.28	342.52	33.59

Parámetros Estadísticos	
Numero de Probetas	12
Suma	395,66
Media	32,97
Desviación estándar	0,82
Varianza de la muestra	0,68
Rango	2,24
Mínimo	31,77
Máximo	34,01

3.4.3. Probetas elaboradas con un pH = 7 (neutro)

Para la elaboración de las probetas de hormigón, cuando el agua de amasado tiene un pH de 7 (neutro) o también denominadas probetas patrón, se utilizó la dosificación realizada mediante la caracterización de los materiales a emplear, siendo el agua un elemento primordial, en el cual la única característica de su análisis es el pH. Para lo cual la cantidad

de agua no se vio modificada en ninguna instancia, y se utilizó agua potable proveniente de grifo, previamente analizado y verificando que su pH no sea diferente al del análisis.

a) 7 días de edad

Pasados los 7 días de hormigonado de las probetas de hormigón se procedió a la rotura de 12 probetas (Anexo F), las mismas que dieron los siguientes resultados (Tabla 24):

Tabla 24. Datos y estadística de probetas para pH = 7 (neutro) a 7 días

pH=7					
N°	Elemento	Edad	Resistencia	Resistencia	Resistencia
		(Días)	(KN)	(Kg/cm2)	(Mpa)
1	Probeta I	7	461.34	266.35	26.12
2	Probeta II	7	474.77	274.10	26.88
3	Probeta III	7	453.40	261.76	25.67
4	Probeta IV	7	479.71	276.95	27.16
5	Probeta V	7	472.65	272.87	26.76
6	Probeta VI	7	451.81	260.84	25.58
7	Probeta VII	7	492.78	284.50	27.90
8	Probeta VIII	7	448.10	258.70	25.37
9	Probeta IX	7	495.26	285.92	28.04
10	Probeta X	7	460.28	265.73	26.06
11	Probeta XI	7	465.58	268.79	26.36
12	Probeta XII	7	490.49	283.17	27.77

Parámetros Estadísticos	
Numero de Probetas	12
Suma	319,67
Media	26,64
Desviación estándar	0,93
Varianza de la muestra	0,87
Rango	2,67
Mínimo	25,37
Máximo	28,04

b) 221 días de edad

Pasados los 221 días de hormigonado de las probetas de hormigón se procedió a la rotura de 12 probetas (Anexo F), las mismas que dieron los siguientes resultados (Tabla 25):

Tabla 25. Datos y estadística de probetas para pH = 7 (neutro) a 221 días

pH=7					
N°	Elemento	Edad	Resistencia	Resistencia	Resistencia
		(Días)	(KN)	(Kg/cm ²)	(Mpa)
1	Probeta I	221	633.38	365.66	35.86
2	Probeta II	221	653.87	377.49	37.02
3	Probeta III	221	625.61	361.18	35.42
4	Probeta IV	221	647.15	373.62	36.64
5	Probeta V	221	620.84	358.42	35.15
6	Probeta VI	221	644.15	371.88	36.47
7	Probeta VII	221	663.58	383.10	37.57
8	Probeta VIII	221	638.32	368.52	36.14
9	Probeta IX	221	638.85	368.83	36.17
10	Probeta X	221	648.92	374.64	36.74
11	Probeta XI	221	659.34	380.65	37.33
12	Probeta XII	221	620.31	358.12	35.12

Parámetros Estadísticos	
Numero de Probetas	12
Suma	435,63
Media	36,30
Desviación estándar	0,81
Varianza de la muestra	0,66
Rango	2,45
Mínimo	35,12
Máximo	37,57

3.4.4. Probetas elaboradas con un pH = 8 (base)

Para la elaboración de las probetas de hormigón, cuando el agua de amasado tiene un pH de 8 (base), se utilizó la dosificación realizada mediante la caracterización de los materiales a emplear, siendo el agua un elemento primordial, en el cual la única característica de su análisis es el pH. Para lo cual la cantidad de agua no se vio modificada en ninguna instancia, solo se hizo variar el pH del agua con la adición de una solución de hidróxido de sodio o soda cáustica (99%).

a) 7 días de edad

Pasados los 7 días de hormigonado de las probetas de hormigón se procedió a la rotura de 12 probetas (Anexo F), las mismas que dieron los siguientes resultados (Tabla 26):

Tabla 26. Datos y estadística de probetas para pH = 8 (base) a 7 días

pH=8					
N°	Elemento	Edad	Resistencia	Resistencia	Resistencia
		(Días)	(KN)	(Kg/cm2)	(Mpa)
1	Probeta I	7	379.39	219.03	21.48
2	Probeta II	7	361.55	208.73	20.47
3	Probeta III	7	349.01	201.49	19.76
4	Probeta IV	7	354.31	204.55	20.06
5	Probeta V	7	353.60	204.14	20.02
6	Probeta VI	7	373.56	215.67	21.15
7	Probeta VII	7	358.37	206.90	20.29
8	Probeta VIII	7	376.21	217.20	21.30
9	Probeta IX	7	365.79	211.18	20.71
10	Probeta X	7	354.49	204.65	20.07
11	Probeta XI	7	374.09	215.97	21.18
12	Probeta XII	7	371.27	214.34	21.02

Parámetros Estadísticos	
Numero de Probetas	12
Suma	247,51
Media	20,63
Desviación estándar	0,59
Varianza de la muestra	0,35
Rango	1,72
Mínimo	19,76
Máximo	21,48

b) 221 días de edad

Pasados los 221 días de hormigonado de las probetas de hormigón se procedió a la rotura de 12 probetas (Anexo F), las mismas que dieron los siguientes resultados (Tabla 27):

Tabla 27. Datos y estadística de probetas para pH = 8 (base) a 221 días

pH=8					
N°	Elemento	Edad	Resistencia	Resistencia	Resistencia
		(Días)	(KN)	(Kg/cm2)	(Mpa)
1	Probeta I	221	349.36	201.70	19.78
2	Probeta II	221	364.38	210.36	20.63
3	Probeta III	221	361.55	208.73	20.47
4	Probeta IV	221	357.14	206.18	20.22
5	Probeta V	221	356.43	205.78	20.18
6	Probeta VI	221	380.63	219.75	21.55
7	Probeta VII	221	360.49	208.12	20.41
8	Probeta VIII	221	372.33	214.95	21.08
9	Probeta IX	221	375.15	216.58	21.24
10	Probeta X	221	367.03	211.89	20.78
11	Probeta XI	221	371.44	214.44	21.03
12	Probeta XII	221	347.07	200.37	19.65

Parámetros Estadísticos	
Numero de Probetas	12
Suma	247,02
Media	20,59
Desviación estándar	0,58
Varianza de la muestra	0,34
Rango	1,90
Mínimo	19,65
Máximo	21,55

3.4.5. Probetas elaboradas con un pH = 9 (base)

Para la elaboración de las probetas de hormigón, cuando el agua de amasado tiene un pH de 9 (base), se utilizó la dosificación realizada mediante la caracterización de los materiales a emplear, siendo el agua un elemento primordial, en el cual la única característica de su análisis es el pH. Para lo cual la cantidad de agua no se vio modificada en ninguna instancia, solo se hizo variar el pH del agua con la adición de una solución de hidróxido de sodio o soda caustica (99%).

a) 7 días de edad

Pasados los 7 días de hormigonado de las probetas de hormigón se procedió a la rotura de 12 probetas (Anexo F), las mismas que dieron los siguientes resultados (Tabla 28):

Tabla 28. Datos y estadística de probetas para pH = 9 (base) a 7 días

pH=9					
N°	Elemento	Edad	Resistencia	Resistencia	Resistencia
		(Días)	(KN)	(Kg/cm2)	(Mpa)
1	Probeta I	7	440.68	254.42	24.95
2	Probeta II	7	427.08	246.56	24.18
3	Probeta III	7	441.56	254.93	25.00
4	Probeta IV	7	457.28	264.00	25.89
5	Probeta V	7	429.02	247.69	24.29
6	Probeta VI	7	433.08	250.03	24.52
7	Probeta VII	7	414.19	239.12	23.45
8	Probeta VIII	7	426.02	245.95	24.12
9	Probeta IX	7	445.45	257.17	25.22
10	Probeta X	7	419.84	242.38	23.77
11	Probeta XI	7	435.38	251.36	24.65
12	Probeta XII	7	429.73	248.09	24.33

Parámetros Estadísticos	
Numero de Probetas	12
Suma	294,37
Media	24,53
Desviación estándar	0,67
Varianza de la muestra	0,44
Rango	2,44
Mínimo	23,45
Máximo	25,89

b) 221 días de edad

Pasados los 221 días de hormigonado de las probetas de hormigón se procedió a la rotura de 12 probetas (Anexo F), las mismas que dieron los siguientes resultados (Tabla 29):

Tabla 29. Datos y estadística de probetas para pH = 9 (base) a 221 días

pH=9					
N°	Elemento	Edad	Resistencia	Resistencia	Resistencia
		(Días)	(KN)	(Kg/cm2)	(Mpa)
1	Probeta I	221	503.38	290.61	28.50
2	Probeta II	221	476.89	275.32	27.00
3	Probeta III	221	486.96	281.13	27.57
4	Probeta IV	221	470.18	271.44	26.62
5	Probeta V	221	523.16	302.04	29.62
6	Probeta VI	221	498.61	287.86	28.23
7	Probeta VII	221	514.16	296.83	29.11
8	Probeta VIII	221	483.42	279.09	27.37
9	Probeta IX	221	483.25	278.99	27.36
10	Probeta X	221	494.73	285.62	28.01
11	Probeta XI	221	505.50	291.84	28.62
12	Probeta XII	221	484.66	279.81	27.44

Parámetros Estadísticos	
Numero de Probetas	12
Suma	335,45
Media	27,95
Desviación estándar	0,89
Varianza de la muestra	0,79
Rango	3,00
Mínimo	26,62
Máximo	29,62

La especificación de una norma que determine la cantidad de probetas a utilizar en este estudio, no fue posible, por lo cual se ha procedido a un análisis de datos, en el cual se planteó validar las medias, mediante un análisis de normalidad de datos y pruebas de hipótesis los cuales se encuentran en el anexo H.

Una observación que se presentó durante el proceso de curado de las probetas tanto para aquellas que tienen pH ácido como básico, fue una capa notoria color blanco presente en la superficie del agua de curado, esta capa tenía una característica como si fuera una cascara delgada que aparentemente se seguían generando subcapas por debajo de la misma conforme pasaba el tiempo, esta capa se presentó a los 3 días posteriores a sumergir las probetas en

agua para su curado, con el paso del tiempo se impregno en las probetas, dando un aspecto en el exterior de las probetas, mismas que se observan a continuación (mayor de detalle en anexo G):

figura 19. Efectos del agua modificada sobre el agua de curado y las probetas



observar la cascara blanca presente en las probetas

Debido a la no apertura de laboratorios de química y por problemas generados a la pandemia, no se pudo evaluar esta cascara presente en el agua donde se produjo el curado de las probetas elaboradas con agua de amasado a diferentes pH.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis y comparación de la variabilidad en la resistencia a compresión

4.1.1. Tabulación de valores representativos

Con la rotura de las probetas elaboradas con aguas de diferentes pH a las edades de 7 y 221 días, se realizó la estadística descriptiva de los valores de resistencia obtenidos de la rotura de probetas, del cual se toma en cuenta el valor de la media para el presente análisis. Siendo este valor representativo y característico de la muestra a analizar.

Tabla 30. Valores Representativos de las muestras de probetas a diferentes pH

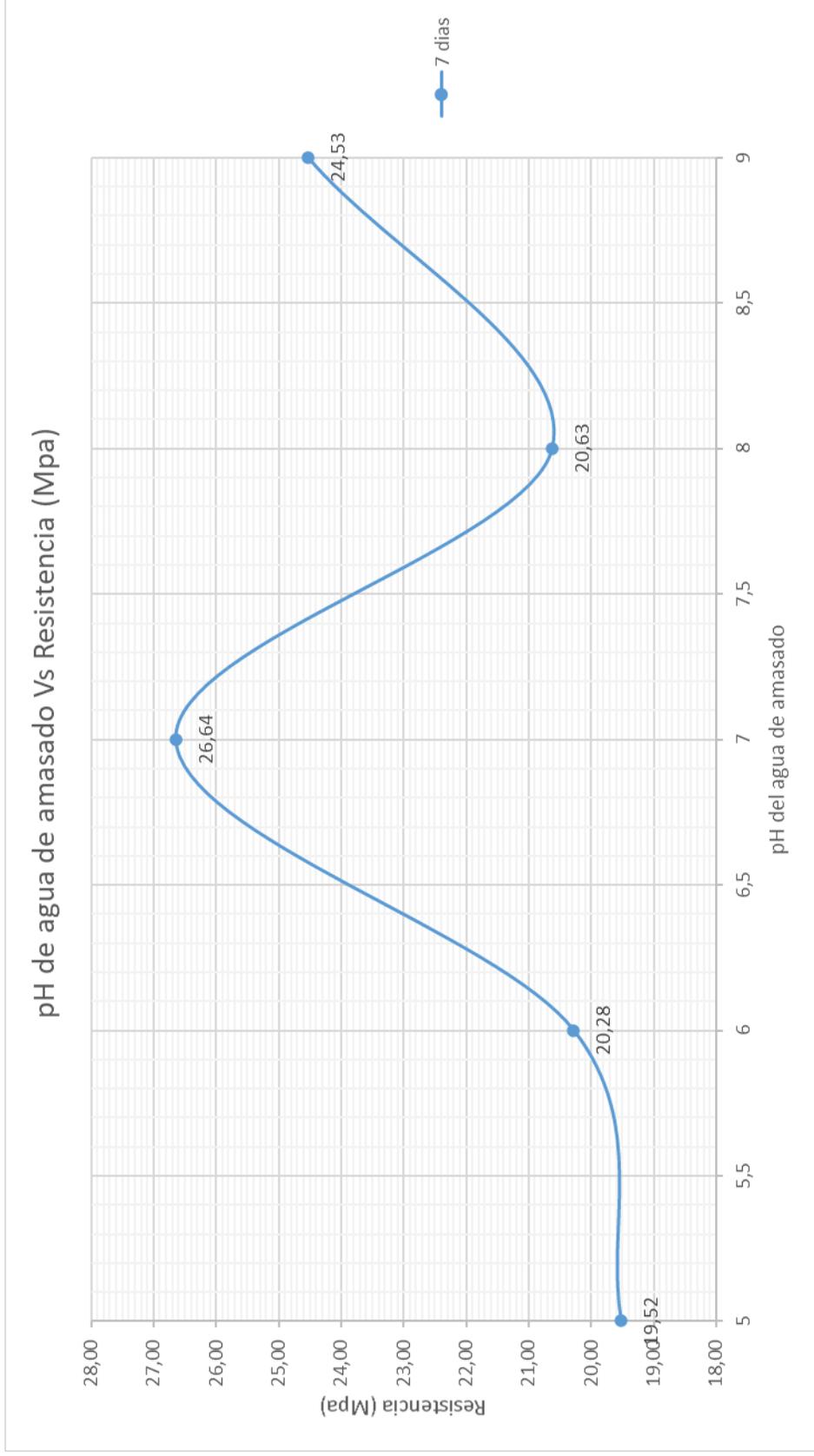
7 días		221 días	
pH	Resistencia (Mpa)	pH	Resistencia (Mpa)
9	24.53	9	27.95
8	20.63	8	20.59
7	26.64	7	36.30
6	20.28	6	32.97
5	19.52	5	24.36

4.1.2. Curva característica pH vs Resistencia

Con los valores representativos de cada muestra de probetas de hormigón, elaboradas para los diferentes pH de agua de amasado se obtiene las siguientes tablas, mismas que para su estudio fueron separadas para cada edad en análisis (7 y 221 días).

a) Curva característica pH vs Resistencia a los 7 días de edad

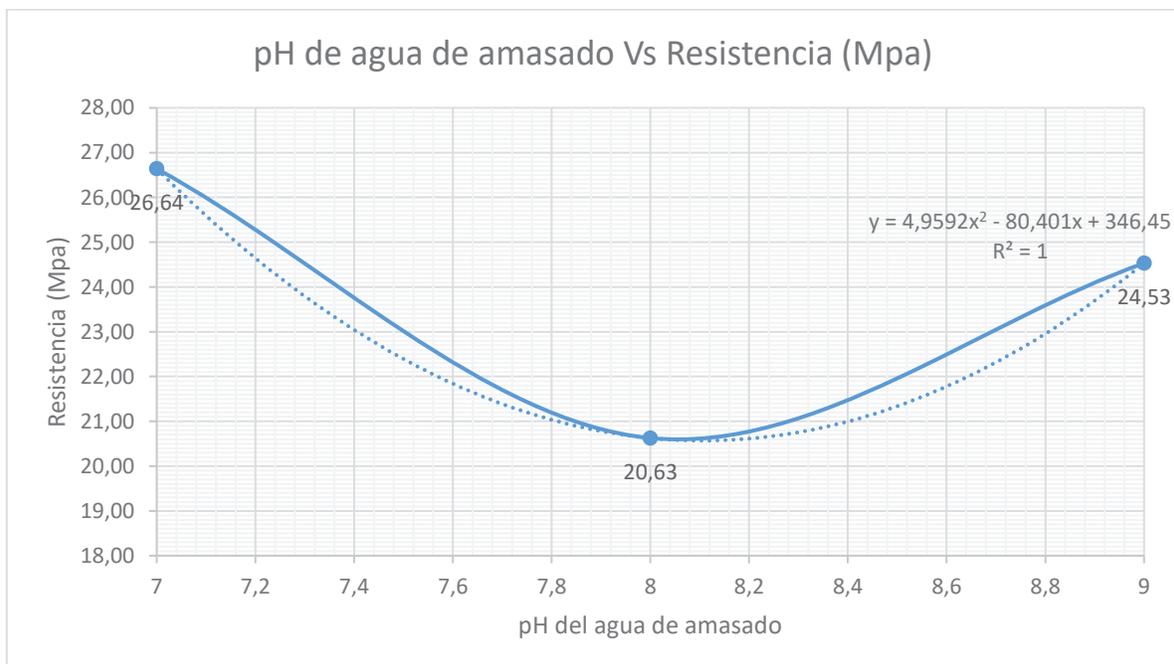
figura 20. Curva pH de agua Vs Resistencia (Mpa) a 7 días



Las probetas patrón, cuyo pH para el agua de hormigonado es neutro (pH = 7) tienen un promedio de 26,64 Mpa, siendo este valor el punto de referencia en comparación de los demás valores, así mismo también se puede observar que es el valor más elevado en el gráfico llegando a un valor de 76,11% de la resistencia final esperada a 28 días. Para las probetas elaboradas con agua de amasado cuyo pH es ácido (pH de 5 y 6), se puede observar una clara disminución de la resistencia de manera gradual, siendo el valor representativo de 20,28 Mpa para un pH de 6 y 19,52 Mpa para un pH de 5, mientras que para las probetas elaborada con agua de amasado cuyo pH es básico (pH de 8 y 9), se observa también una disminución de la resistencia de manera muy pronunciada para las probetas con pH de 8 llegando a una resistencia de 20,63 Mpa, mientras que para las probetas cuyo pH de agua de amasado es de 9 las resistencia es mayor que la anterior con un valor de 24,53 Mpa.

Debido a la complejidad en la que se encuentran los valores en la gráfica, siendo esta de un difícil análisis por las pronunciadas curvas de los mismos en cada sector de la gráfica (sector de probetas elaboradas con aguas básicas y sector de probetas elaboradas con aguas acidas), se plantea realizar curvas de tendencia o ajuste de manera independiente para cada uno de ellos, mismo se facilitarán el análisis y la contrastación de la hipótesis planteada.

figura 21. Curva de ajuste pH Vs Resistencia (Mpa) para pH básicos a 7 días



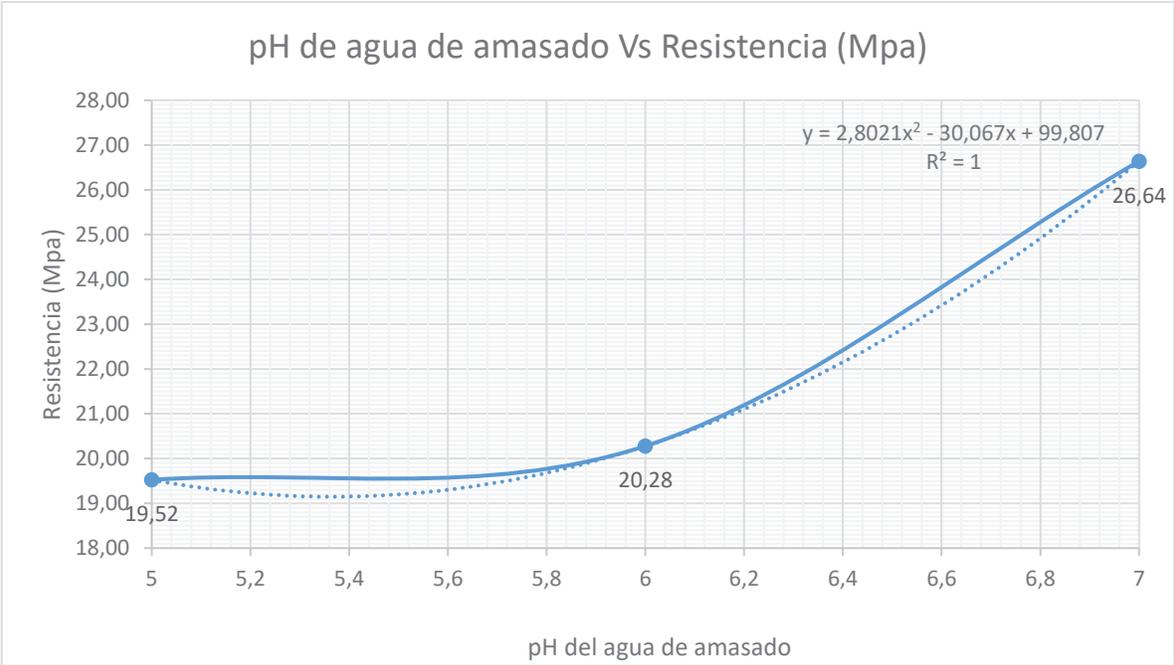
En la figura 21 se observa el ajuste de la curva es de carácter polinómico de segundo grado, el mismo que se ajusta de mejor manera a los datos obtenidos en función de las probetas elaboradas con agua de amasado cuyo pH es de carácter básico.

La ecuación de calibración para probetas elaboradas con agua de amasado cuyo pH es básico y cuya rotura fue a los 7 días es:

$$y = 4,9592x^2 - 80,401x + 346,45$$

La curva de tendencia ajustada presenta un grado de correlación $r = 1$ y un coeficiente de determinación $R^2 = 1$, mismos que representan que los valores se ajustan bastante bien a la variable real.

figura 22. Curva de ajuste pH Vs Resistencia (Mpa) para pH ácidos a 7 días



En la figura 22 se observa el ajuste de la curva es de carácter polinómico de segundo grado, el mismo que se ajusta de mejor manera a los datos obtenidos en función de las probetas elaboradas con agua de amasado cuyo pH es de carácter ácido.

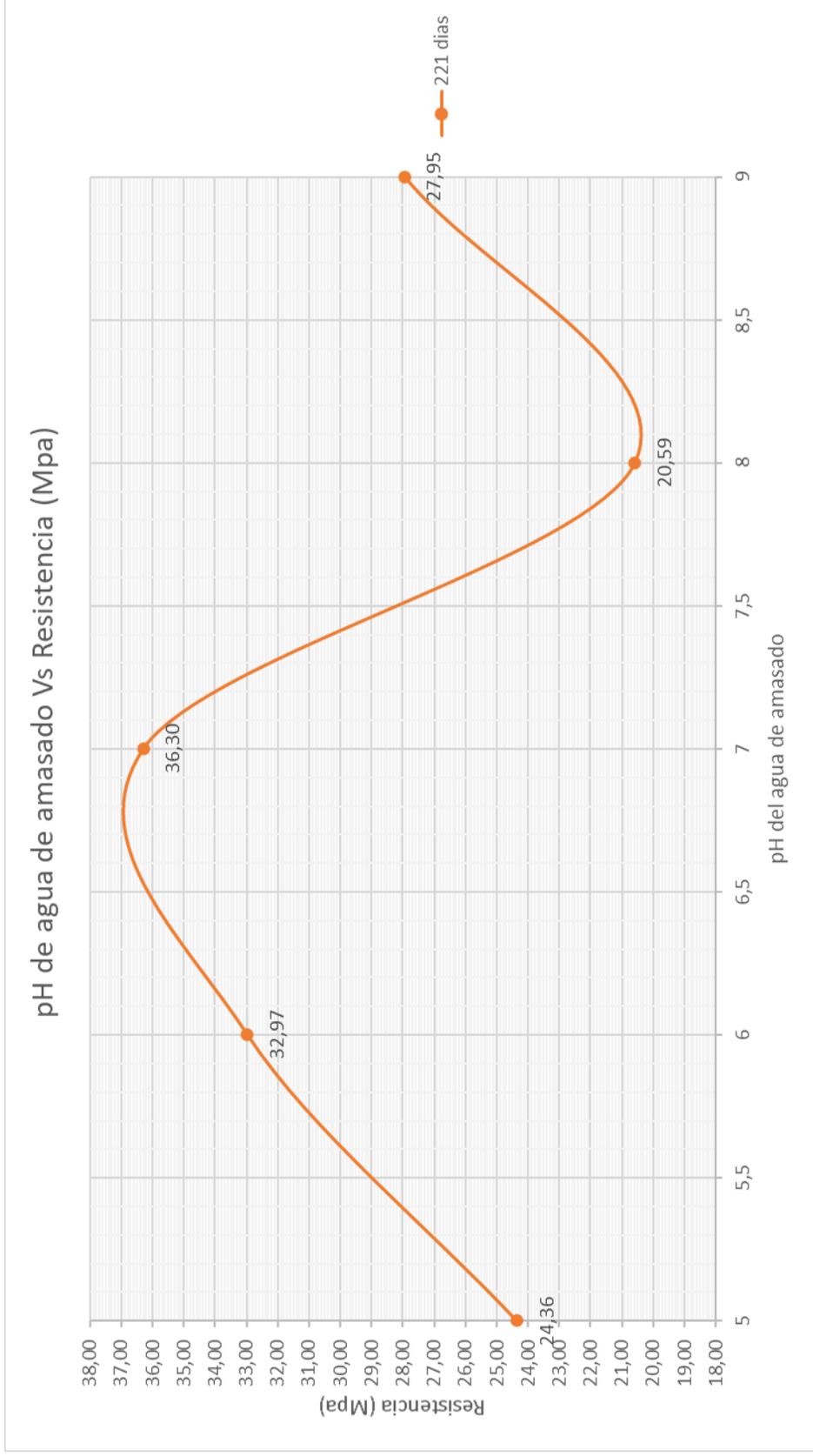
La ecuación de calibración para probetas elaboradas con agua de amasado cuyo pH es ácido y cuya rotura fue a los 7 días es:

$$y = 2,8021x^2 - 30,067x + 99,807$$

La curva de tendencia ajustada presenta un grado de correlación $r = 1$ y un coeficiente de determinación $R^2 = 1$, mismos que representan que los valores se ajustan bastante bien a la variable real.

b) Curva característica pH vs Resistencia a los 221 días de edad

figura 23. Curva pH de agua Vs Resistencia (Mpa) a 221 días



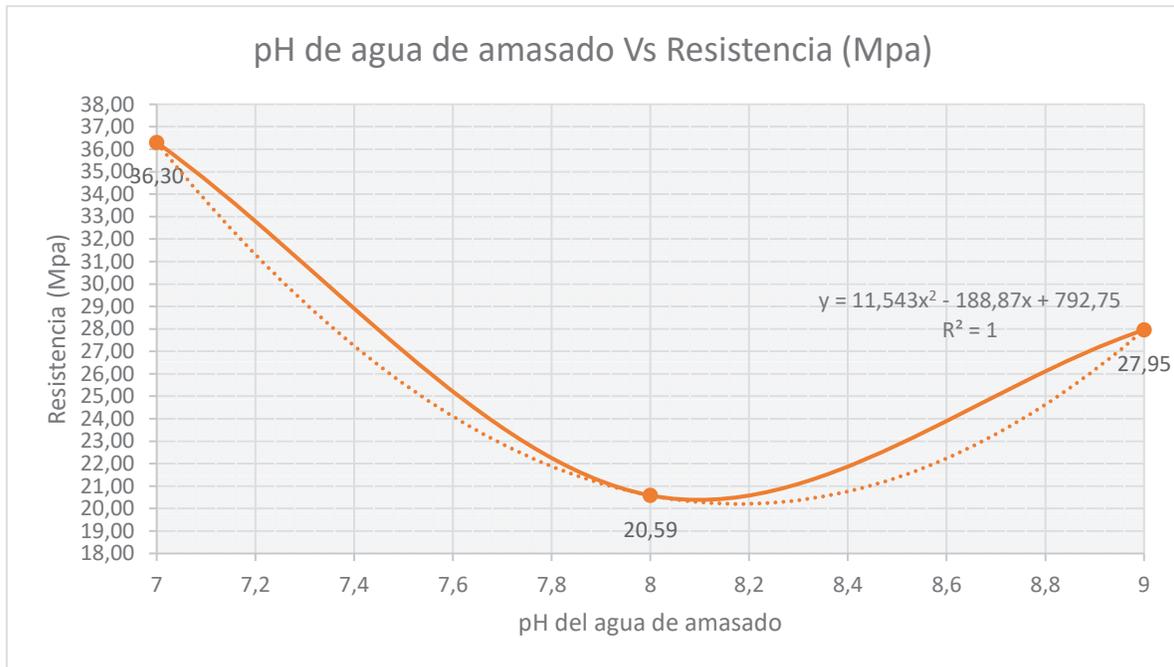
Las probetas patrón, cuyo pH para el agua de hormigonado es neutro ($\text{pH} = 7$) tienen un promedio de 36,30 Mpa a los 221 días de edad, mismo que tenía una proyección de 35Mpa a los 28 días, siendo este valor el punto de referencia en comparación de los demás valores de rotura a la misma edad, también se puede observar que es el valor más elevado en el gráfico superando los 35 Mpa de tal manera que supero satisfactoriamente la resistencia esperada a los 28 días.

Para las probetas elaboradas con agua de amasado cuyo pH es ácido (pH de 5 y 6), se puede observar una clara disminución de la resistencia de manera gradual, siendo el valor representativo de 32,97 Mpa para un pH de 6 y 24,36 Mpa para un pH de 5.

Para las probetas elaboradas con agua de amasado cuyo pH es básico (pH de 8 y 9), se observa también una disminución de la resistencia pero de una manera muy pronunciada para las probetas con pH de 8 llegando a una resistencia de 20,59 Mpa, mismas que en comparación a las probetas cuya rotura fue a 7 días no genero un aumento en la resistencia esperado para el tiempo posterior (mayor a 28 días) sino que se dio una disminución en un 0.04 Mpa a los 221 días, mientras que para el caso de las probetas cuyo pH de agua de amasado es de 9 las resistencia es mayor que la anterior con un valor de 27,95 Mpa.

Debido a la complejidad en la que se encuentran los valores en la gráfica, siendo esta de un difícil análisis por las pronunciadas curvas de los mismos en cada sector de la gráfica (sector de probetas elaboradas con aguas básicas y sector de probetas elaboradas con aguas ácidas), se plantea realizar curvas de tendencia o ajuste de manera independiente para cada uno de ellos, mismo se facilitaran el análisis y la contrastación de la hipótesis planteada.

figura 24. Curva de ajuste pH Vs Resistencia (Mpa) para pH básicos a 221 días



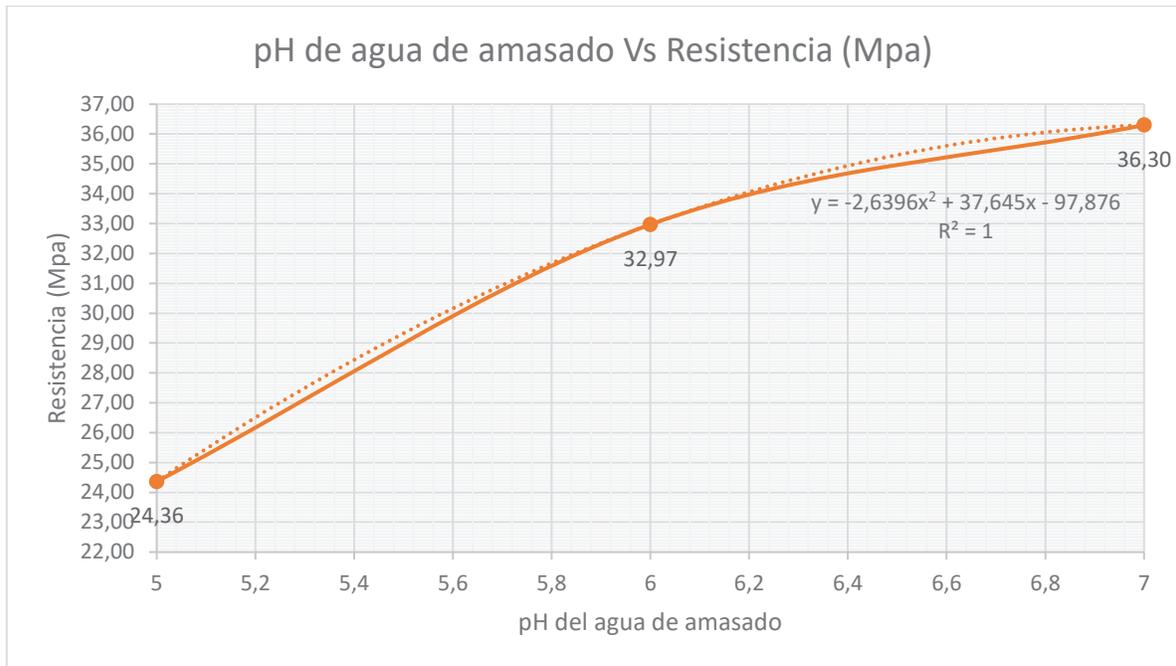
En la figura 24 se observa el ajuste de la curva es de carácter polinómico de segundo grado, el mismo que se ajusta de mejor manera a los datos obtenidos en función de las probetas elaboradas con agua de amasado cuyo pH es de carácter básico.

La ecuación de calibración para probetas elaboradas con agua de amasado cuyo pH es básico y cuya rotura fue a los 221 días es:

$$y = 11,543x^2 - 188,87x + 792,75$$

La curva de tendencia ajustada presenta un grado de correlación $r = 1$ y un coeficiente de determinación $R^2 = 1$, mismos que representan que los valores se ajustan bastante bien a la variable real.

figura 25. Curva de ajuste pH Vs Resistencia (Mpa) para pH ácidos a 221 días



En la figura 25 se observa el ajuste de la curva es de carácter polinómico de segundo grado, el mismo que se ajusta de mejor manera a los datos obtenidos en función de las probetas elaboradas con agua de amasado cuyo pH es de carácter ácido.

La ecuación de calibración para probetas elaboradas con agua de amasado cuyo pH es ácido y cuya rotura fue a los 221 días es:

$$y = -2,6396x^2 + 37,645x - 97,876$$

La curva de tendencia ajustada presenta un grado de correlación $r = 1$ y un coeficiente de determinación $R^2 = 1$, mismos que representan que los valores se ajustan bastante bien a la variable real.

4.1.3. Incidencia del control térmico en el proceso de curado de probetas

Según la norma ASTM C31 (Fabricación y curado de probetas de hormigón), recomienda que, para mezclas de hormigón, las probetas cilíndricas curadas en laboratorio deben estar a una temperatura entre 60 – 80 °F (16,6 °C y 26,6 °C), mismas que en relación directa al curado inicial, deben estar en estos rangos de temperatura durante las primeras 48 horas.

Una vez concluido el curado inicial de las probetas cilíndricas de hormigón y posteriores 30 min de remover los especímenes de los moldes, se debe curar a las probetas a temperaturas entre $73,5\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 3,5\text{ }^{\circ}\text{F}$ ($23^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$).

La norma también especifica que, para probetas cilíndricas y vigas, estas pueden ser colocadas en cuartos de curado, pero en el caso de vigas, estas deben ser colocadas dentro de agua saturadas de hidróxido de cal, al menos 20 horas antes de ser ensayadas.

Para el caso particular de este tema de investigación, no se realizó la medición de la incidencia del control termino por efectos de la pandemia, misma que obligo a entrar en cuarentena total e impidió el acceso al laboratorio donde las probetas estaban sumergidas en agua, para su respectivo curado.

4.1.4. Variación de la resistencia

El punto de referencia para analizar la variabilidad de la resistencia del hormigón serán aquellas probetas elaboradas con un $\text{pH} = 7$, mismo pH que es de característica neutra, denominando a esta muestra como patrón.

a) 7 días de edad

$\text{pH} = 7 \rightarrow 26,64\text{ Mpa}$

$\text{pH} = 9 \rightarrow 24,53\text{ Mpa}$



% variación = 7,92 %

pH = 7 → 26,64 Mpa

pH = 8 → 20,63 Mpa

% variación = 22,57 %

pH = 7 → 26,64 Mpa

pH = 6 → 20,28 Mpa

% variación = 23,87 %

pH = 7 → 26,64 Mpa

pH = 5 → 19,52 Mpa

% variación = 26,71 %

b) 221 días de edad

pH = 7 → 36,30 Mpa

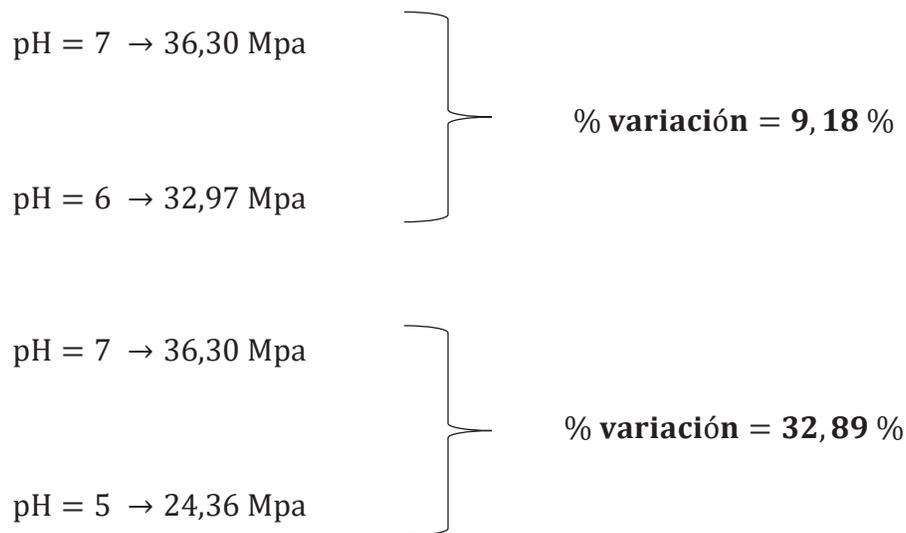
pH = 9 → 27,95 Mpa

% variación = 23,00 %

pH = 7 → 36,30 Mpa

pH = 8 → 20,59 Mpa

% variación = 43,30 %



4.2. Análisis de precio unitario

Se realizó la evaluación del costo de fabricación del hormigón de 35 Mpa realizado en el proyecto, mismo que se presenta en la tabla 31, tabla donde se muestra el precio unitario del ítem: “hormigón confeccionado en obra 35 Mpa (350 Kg/cm²)”

El precio unitario mostrado en la tabla 31, se encuentra en formato de Normas Básicas SABS, que para la realización del precio unitario se presenta en el formulario B-2, tomando en cuenta los parámetros más comunes de carga social del 55 %, impuestos Iva del 14,94 %, gastos generales del 10 %, utilidad del 10 % e impuestos IT de 3,09 %.

Es de carácter importante mencionar que el precio unitario de este hormigón de 35 Mpa es elevado, debido a que el costo de los materiales son 69,46 % (915,58 bs) del costo total, el aditivo también cumple un rol importante en este análisis teniendo un costo de 376,32 bs siendo este el 28.57 % del costo total del ítem.

4.3. Aplicación mediante la elaboración de probetas con aguas naturales

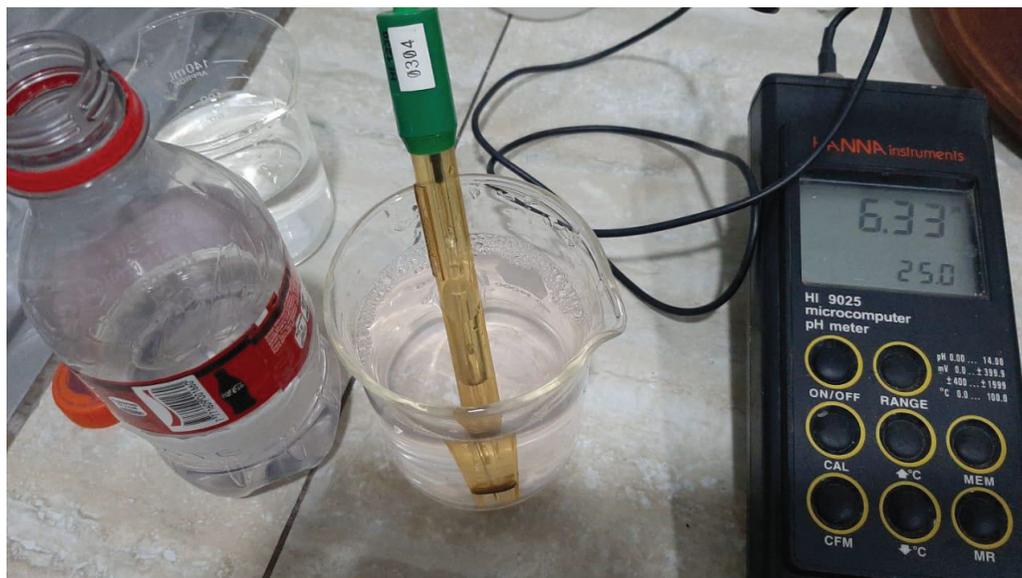
4.3.1. Probetas elaboradas con agua de la comunidad de “El Puente”

4.3.1.1. Elaboración y medición del pH

Para la elaboración de estas probetas de hormigón, se utilizó la dosificación realizada mediante la caracterización de los materiales a emplear (misma dosificación aplicada para las probetas con agua de amasado modificada), siendo del agua el elemento primordial de su análisis, el pH.

Por lo cual la cantidad de agua no se vio modificada en ninguna instancia, en esta ocasión se utilizó agua potable perteneciente a la comunidad de El Puente, mencionada agua presentó características de color un poco diferentes de lo habitual (como si de fondo fuera color rosado). Al momento de medir la característica principal de este estudio presento un pH = 6.33 (ácido), que según un análisis perceptivo y a criterio de la ingeniera química que realizo la medición del agua, se debe a la contaminación presente en la zona.

figura 26. Agua Natural "El Puente" con pH=6,33



Posterior a la medición del pH agua, realizo una medición de solidos totales disueltos (TDS), para lo cual se agito con bastante fuerza y durante un tiempo prolongado la muestra de agua, misma que presento espuma en la superficie de la muestra de agua, lo cual comprobó que el agua a pesar de ser potable presentaba contaminación.

figura 27. Superficie espumada en muestra de agua natural "El Puente"



La muestra en su medición de TDS presento un valor de 60 ppm, valor que representa otros elementos diferentes del agua en la presente muestra medida, comprobando una vez más que se debe a la contaminación presente en la zona.

figura 28. Medición de Solidos Totales Disueltos (TDS) "El Puente"



4.3.1.2. Rotura de probetas

a) 7 días de edad

Pasados los 7 días de hormigonado de las probetas de hormigón se procedió a la rotura de 12 probetas (Anexo F), las mismas que dieron los siguientes resultados (Tabla 31):

Tabla 32. Datos y estadística de probetas, agua natural, comunidad "El Puente" a 7 días

El Puente pH = 6,33					
N°	Elemento	Edad	Resistencia	Resistencia	Resistencia
		(Días)	(KN)	(Kg/cm2)	(Mpa)
1	Probeta I	7	371,62	332,22	21,04
2	Probeta II	7	394,23	306,62	22,32
3	Probeta III	7	405,35	313,25	22,95

Parámetros Estadísticos	
Numero de Probetas	3
Suma	66,31
Media	22,10
Desviación estándar	0,97
Varianza de la muestra	0,95
Rango	1,91
Mínimo	21,04
Máximo	22,95

b) 221 días de edad

Pasados los 221 días de hormigonado de las probetas de hormigón se procedió a la rotura de 12 probetas (Anexo F), las mismas que dieron los siguientes resultados (Tabla 32):

Tabla 33. Datos y estadística de probetas, agua natural, comunidad "El Puente" a 221 días

El Puente pH = 6,33 (acido)					
N°	Elemento	Edad	Resistencia	Resistencia	Resistencia
		(Días)	(KN)	(Kg/cm2)	(Mpa)
1	Probeta I	221	595,76	343,94	33,73
2	Probeta II	221	600,88	346,90	34,02
3	Probeta III	221	600,17	346,49	33,98

Parámetros Estadísticos	
Numero de Probetas	3
Suma	101,73
Media	33,91
Desviación estándar	0,16
Varianza de la muestra	0,02
Rango	0,29
Mínimo	33,73
Máximo	34,02

4.3.1.3. Valores representativos

Los valores representativos de las probetas elaboradas con agua natural de la comunidad de El Puente, serán aquellos que mostrados en las tablas 31 y 32 (rotura a los 7 y 221 días), en su estadística sea el valor de la media aritmética, valores que servirán de análisis y comparación con la curva característica hecha con las aguas modificadas a diferentes pH.

Tabla 34. Valores representativos, muestra "El puente"

7 días		221 días	
pH	Resistencia (Mpa)	pH	Resistencia (Mpa)
6,33	22,10	6,33	33,91

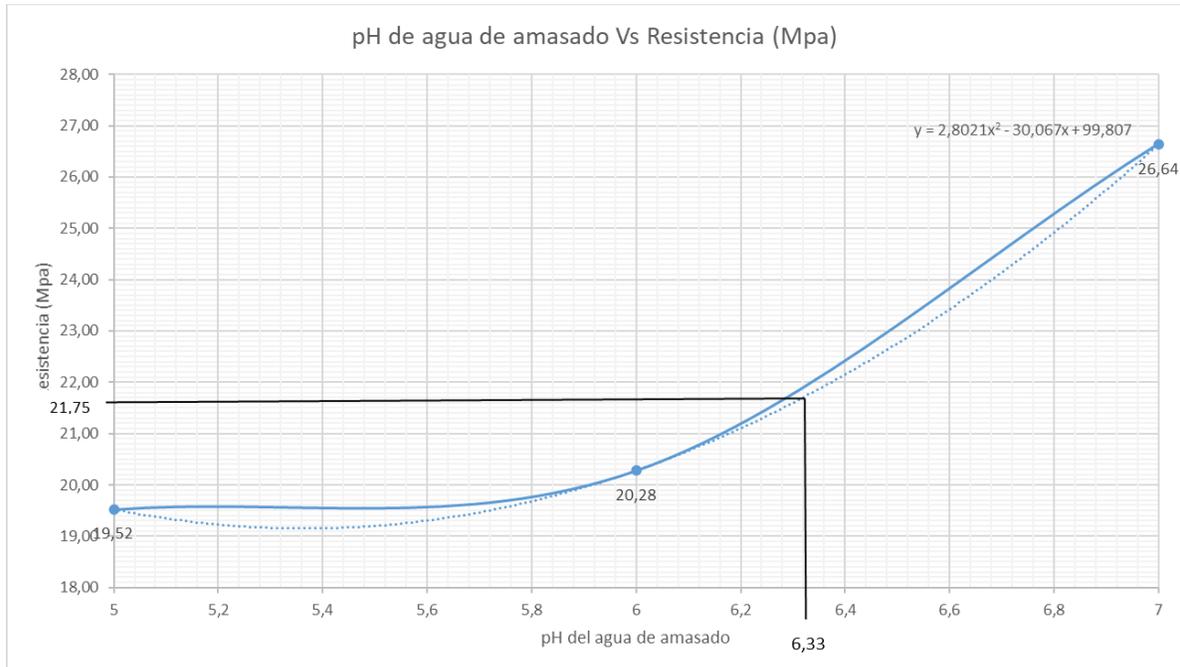
4.3.1.4. Verificación de resultados

Con los valores representativos de las probetas elaboradas con agua natural de la comunidad El Puente, se procede a la verificación de dichos valores en la curva característica pH vs Resistencia obtenida anteriormente con las probetas realizadas con aguas modificadas a diferentes pH.

Para la verificación de estos valores se tomará en cuenta las ecuaciones de las gráficas 19 y 22, mismas que fueron ajustadas a curvas polinómicas de segundo grado conteniendo sus ecuaciones correspondientes.

a) 7 días de edad

figura 29. Curva de ajuste pH Vs Resistencia (Mpa) para pH ácidos a 7 días



La curva que ajusta los valores de la figura 29 (pH vs Resistencia), misma que es aplicable para pH entre 5 y 7 su ecuación es:

$$y = 2,8021x^2 - 30,067x + 99,807$$

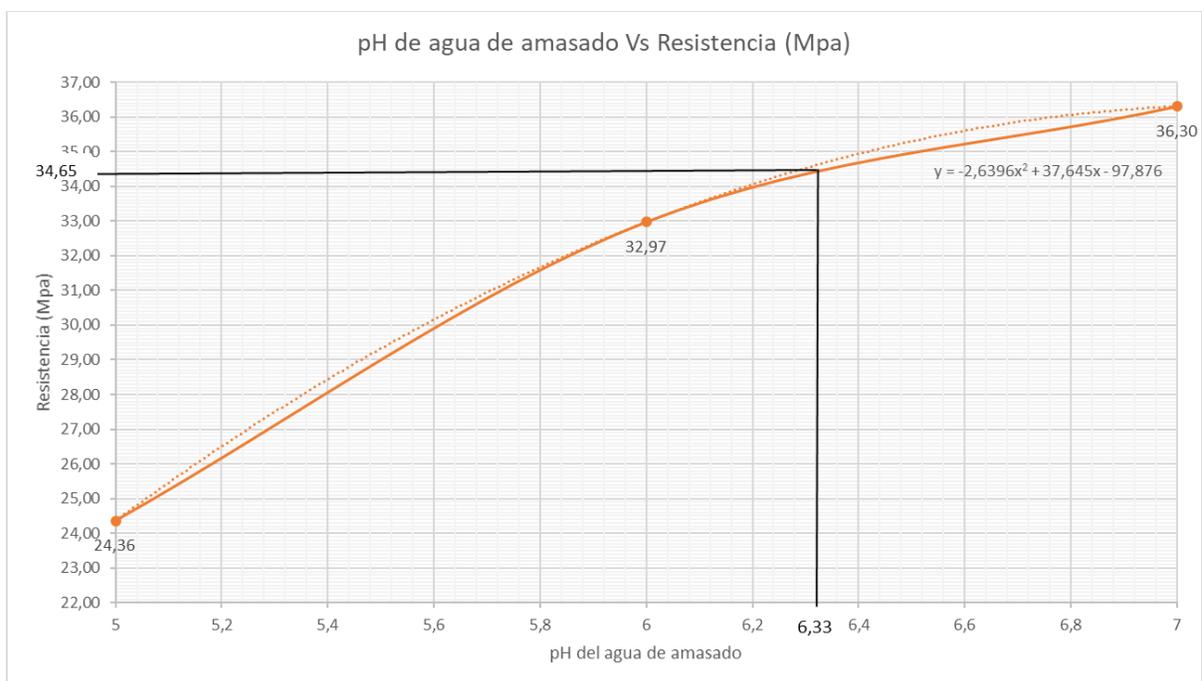
Para la aplicación de esta ecuación tenemos el valor medido de pH del agua proveniente de la comunidad de El Puente, cuyo valor es de 6,33. Según la rotura de probetas elaboradas con esta agua, la resistencia para los 7 días de edad rotunda entre los 22,10 Mpa (refiriéndose a la media aritmética de la muestra).

Aplicando la ecuación polinómica de segundo grado que ajusta la curva de la figura 29 se obtiene que para un pH de 6,33 la resistencia a los 7 días de edad será de 21,75 Mpa.

Comparando los valores obtenidos por la curva pH vs Resistencia (proviene de aguas modificadas a diferentes pH) y los valores obtenidos de probetas elaboradas con agua natural (Comunidad de El Puente) Existe una diferencia de +0,35 Mpa, mismo que siendo en porcentaje, sería una variación de 1,58%.

b) 221 días de edad

figura 30. Curva de ajuste pH Vs Resistencia (Mpa) para pH ácidos a 221 días



La curva que ajusta los valores de la figura 30 (pH vs Resistencia), misma que es aplicable para pH entre 5 y 7 su ecuación es:

$$y = -2,6396x^2 + 37,645x - 97,876$$

Para la aplicación de esta ecuación tenemos el valor medido de pH del agua proveniente de la comunidad de El Puente, cuyo valor es de 6,33. Según la rotura de probetas elaboradas con esta agua, la resistencia para los 221 días de edad rotunda entre los 33,91 Mpa (refiriéndose a la media aritmética de la muestra).

Aplicando la ecuación polinómica de segundo grado que ajusta la curva de la figura 30 se obtiene que para un pH de 6,33 la resistencia a los 7 días de edad será de 34,65 Mpa.

Comparando los valores obtenidos por la curva pH vs Resistencia (proviene de aguas modificadas a diferentes pH) y los valores obtenidos de probetas elaboradas con agua natural (Comunidad de El Puente) Existe una diferencia de +0,74 Mpa, mismo que siendo en porcentaje, sería una variación de 2,18%.

4.3.2. Probetas elaboradas con agua de la comunidad de “Entre Rios”

4.3.2.1. Elaboración y medición del pH

Para las probetas cuya agua de amasado es proveniente de la comunidad de Entre Rios, la elaboración de las mismas, se utilizó la dosificación realizada mediante la caracterización de los materiales a emplear (misma dosificación aplicada para las probetas con agua de amasado modificada), siendo del agua el elemento primordial de su análisis, el pH.

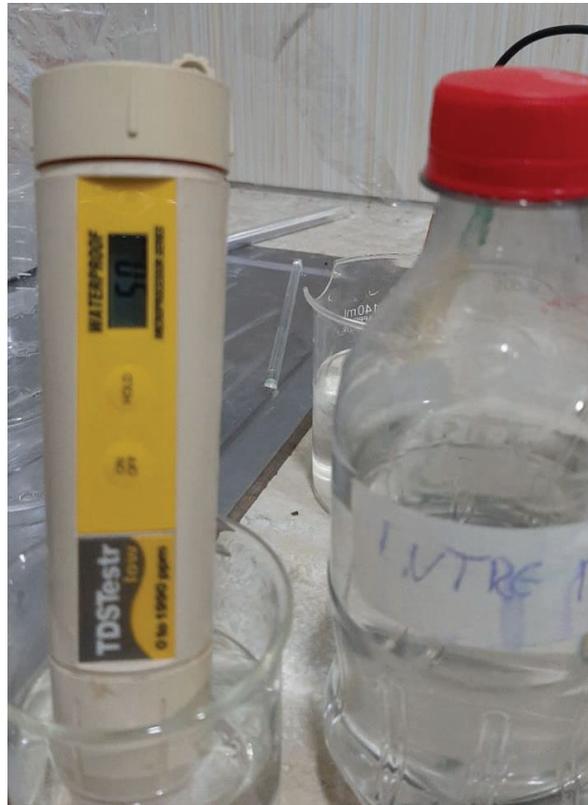
Por lo cual la cantidad de agua no se vio modificada en ninguna instancia, en esta ocasión se utilizó agua potable perteneciente a la comunidad de Entre Rios, mencionada agua presentó características que a simple vista parecen normales (olor y color). Al momento de medir la característica principal de este estudio presento un $\text{pH} = 6,17$ (acido), mismo que en esta ocasión no se puede estimar o confirmar que se deba a algún tipo de contaminación, debido a que el agua no presentaba ningún tipo de coloración u olor diferente a los parámetros establecidos como normales para la potabilidad.

figura 31. Agua Natural "Entre Rios" con $\text{pH}=6,17$



Posterior a la medición del pH agua, realizo una medición de solidos totales disueltos (TDS), para lo cual se agito con bastante fuerza y durante un tiempo prolongado la muestra de agua, misma que a comparación del agua de El Puente, este no presento ningún tipo de espuma en la superficie, por lo cual es más incierto el poder determinar a qué se debe el cambio de pH en la muestra tomada.

figura 32. Medición de Solidos Totales Disueltos (TDS) "Entre Rios"



La muestra en su medición de TDS presento un valor de 50 ppm, valor que representa otros elementos diferentes del agua en la presente muestra medida, con un valor de 50 ppm se puede estimar que tal vez se deba a algún tipo de contaminación presente en la zona.

4.3.2.2. Rotura de probetas

a) 7 días de edad

Pasados los 7 días de hormigonado de las probetas de hormigón se procedió a la rotura de 12 probetas (Anexo F), las mismas que dieron los siguientes resultados (Tabla 34):

Tabla 35. Datos y estadística de probetas, agua natural, comunidad "Entre Rios" a 7 días

Entre Rios pH = 6,17 (acido)					
N°	Elemento	Edad	Resistencia	Resistencia	Resistencia
		(Días)	(KN)	(Kg/cm2)	(Mpa)
1	Probeta I	7	406,77	234,84	23,03
2	Probeta II	7	356,61	205,88	20,19
3	Probeta III	7	405,00	233,82	22,93

Parámetros Estadísticos	
Numero de Probetas	3
Suma	66,15
Media	22,05
Desviación estándar	1,61
Varianza de la muestra	2,60
Rango	2,84
Mínimo	20,19
Máximo	23,03

b) 221 días de edad

Pasados los 221 días de hormigonado de las probetas de hormigón se procedió a la rotura de 12 probetas (Anexo F), las mismas que dieron los siguientes resultados (Tabla 35):

Tabla 36. Datos y estadística de probetas, agua natural, comunidad "Entre Rios" a 221 días

Entre Rios pH = 6,17 (acido)					
N°	Elemento	Edad	Resistencia	Resistencia	Resistencia
		(Días)	(KN)	(Kg/cm2)	(Mpa)
1	Probeta I	221	575,44	332,22	32,58
2	Probeta II	221	565,20	326,30	32,00
3	Probeta III	221	542,59	313,25	30,72

Parámetros Estadísticos	
Numero de Probetas	3
Suma	95,30
Media	31,77
Desviación estándar	0,95
Varianza de la muestra	0,91
Rango	1,86
Mínimo	30,72
Máximo	32,58

4.3.2.3. Valores representativos

Los valores representativos de las probetas elaboradas con agua natural de la comunidad de Entre Rios, serán aquellos que mostrados en las tablas 34 y 35 (rotura a los 7 y 221 días), en su estadística sea el valor de la media aritmética, valores que servirán de análisis y comparación con la curva característica hecha con las aguas modificadas a diferentes pH.

Tabla 37. Valores representativos, muestra "Entre Rios"

7 días		221 días	
pH	Resistencia (Mpa)	pH	Resistencia (Mpa)
6,17	22,05	6,17	31,77

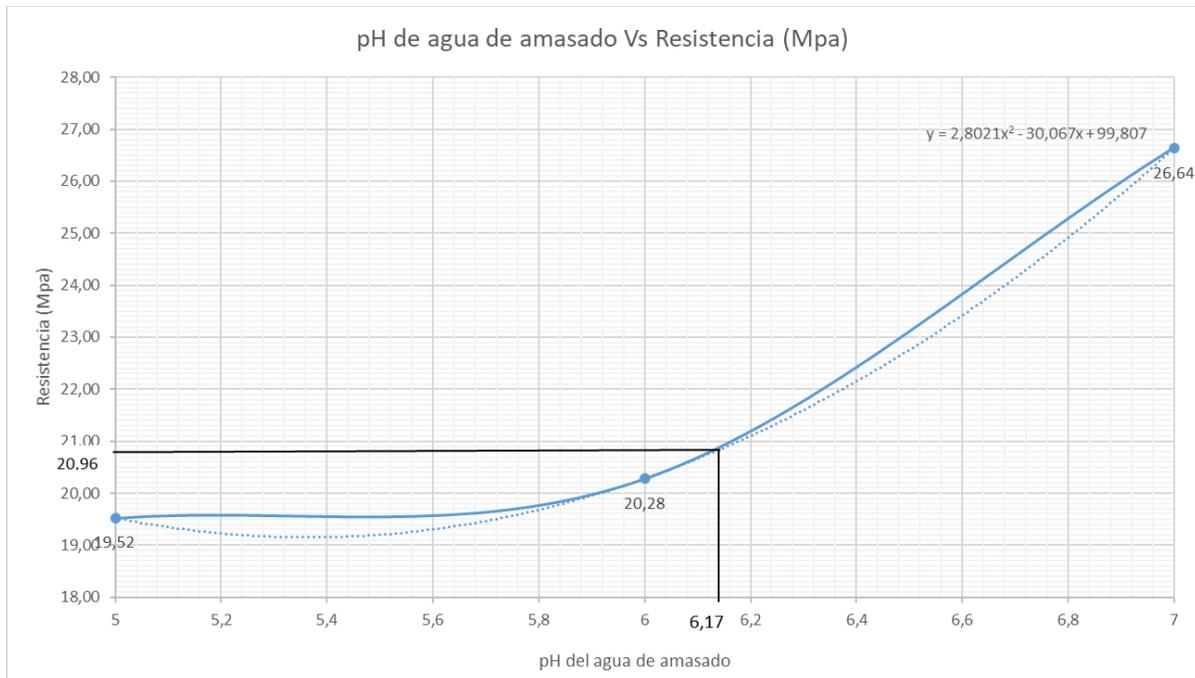
4.3.2.4. Verificación de resultados

Con los valores representativos de las probetas elaboradas con agua natural de la comunidad Entre Rios, se procede a la verificación de dichos valores en la curva característica pH vs Resistencia obtenida anteriormente con las probetas de hormigón amasadas con aguas modificadas a diferentes pH.

Para la verificación de estos valores se tomará en cuenta las ecuaciones de las gráficas 19 y 22, mismas que fueron ajustadas a curvas polinómicas de segundo grado conteniendo sus ecuaciones correspondientes.

a) 7 días de edad

figura 33. Curva de ajuste pH Vs Resistencia (Mpa) para pH ácidos a 7 días



La curva que ajusta los valores de la figura 33 (pH vs Resistencia), misma que es aplicable para pH entre 5 y 7 su ecuación es:

$$y = 2,8021x^2 - 30,067x + 99,807$$

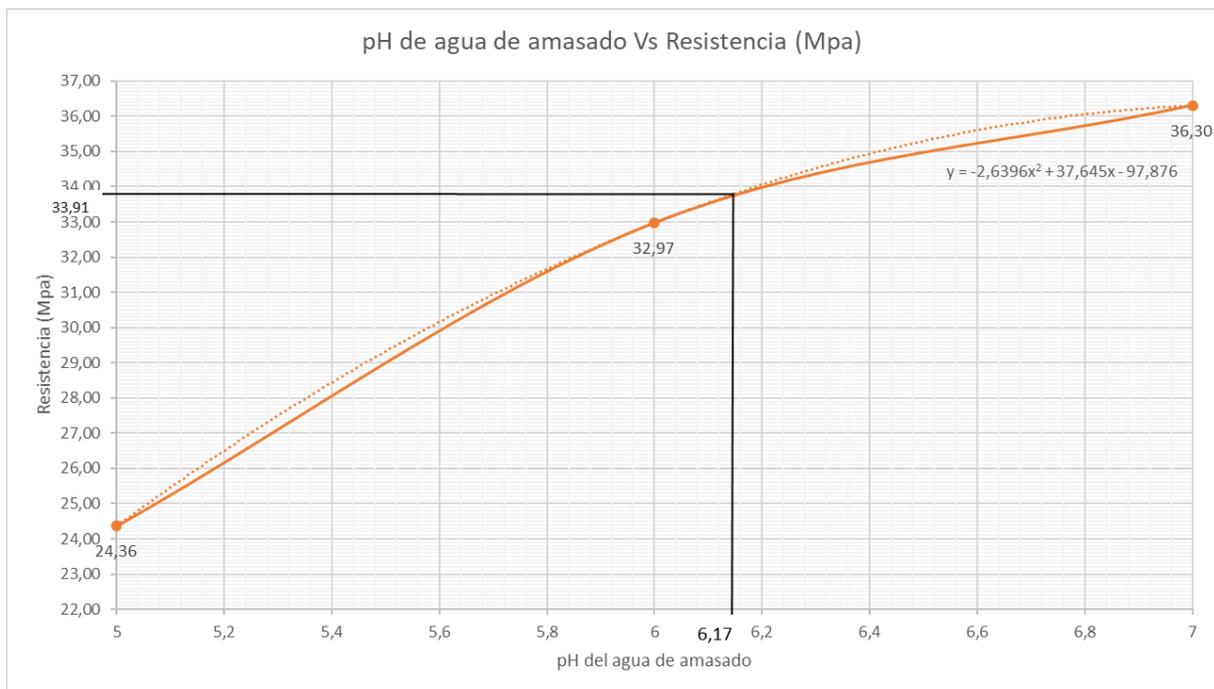
Para la aplicación de esta ecuación tenemos el valor medido de pH del agua proveniente de la comunidad de Entre Rios, cuyo valor es de 6,17. Según la rotura de probetas elaboradas con esta agua, la resistencia para los 7 días de edad rotunda entre los 22,05 Mpa (refiriéndose a la media aritmética de la muestra).

Aplicando la ecuación polinómica de segundo grado que ajusta la curva de la figura 33 se obtiene que para un pH de 6,17 la resistencia a los 7 días de edad será de 20,96 Mpa.

Comparando los valores obtenidos por la curva pH vs Resistencia (proviene de aguas modificadas a diferentes pH) y los valores obtenidos de probetas elaboradas con agua natural (Comunidad de Entre Rios) Existe una diferencia de -1,09 Mpa, mismo que siendo en porcentaje, sería una variación de 4,94 %.

c) 221 días de edad

figura 34. Curva de ajuste pH Vs Resistencia (Mpa) para pH ácidos a 221 días



La curva que ajusta los valores de la figura 34 (pH vs Resistencia), misma que es aplicable para pH entre 5 y 7 su ecuación es:

$$y = -2,6396x^2 + 37,645x - 97,876$$

Para la aplicación de esta ecuación tenemos el valor medido de pH del agua proveniente de la comunidad de Entre Rios, cuyo valor es de 6,17. Según la rotura de probetas elaboradas con esta agua, la resistencia para los 221 días de edad rotunda entre los 31,77 Mpa (refiriéndose a la media aritmética de la muestra).

Aplicando la ecuación polinómica de segundo grado que ajusta la curva de la figura 34 se obtiene que para un pH de 6,17 la resistencia a los 7 días de edad será de 33,91 Mpa.

Comparando los valores obtenidos por la curva pH vs Resistencia (proviene de aguas modificadas a diferentes pH) y los valores obtenidos de probetas elaboradas con agua natural (Comunidad de Entre Rios) Existe una diferencia de -2,14 Mpa, mismo que siendo en porcentaje, sería una variación de 6,74%.

4.4. Contrastación de hipótesis

Con la tabulación de los resultados obtenidos en la rotura de probetas tanto para aguas modificadas a diferentes pH como aguas naturales, se ha obtenido resultados variables a lo planteado, dando como resultado lo siguiente:

Tabla 38. Valores Representativos de probetas a diferentes pH

7 días		221 días	
pH	Resistencia (Mpa)	pH	Resistencia (Mpa)
9	24,53	9	27,95
8	20,63	8	20,59
7	26,64	7	36,30
6	20,28	6	32,97
5	19,52	5	24,36

a) pH 5 y 6 (ácido)

Se realizó la comparación de la variación de la resistencia entre las probetas elaboradas con agua de amasado cuyo pH es 7 (neutro) y las probetas cuyo pH de agua de amasado es 5 y 6 (ácido).

Para las probetas con agua de amasado pH = 5 existe una variación del 26,71 % a los 7 días de edad y del 32,89 % a los 221 días de edad.

Para las probetas con agua de amasado pH = 6 existe una variación del 23,87 % a los 7 días de edad y del 9,18 % a los 221 días de edad.

b) pH 8 y 9 (base)

Se realizó la comparación de la variación de la resistencia entre las probetas elaboradas con agua de amasado cuyo pH es 7 (neutro) y las probetas cuyo pH de agua de amasado es 8 y 9 (base).

Para las probetas con agua de amasado pH = 8 existe una variación del 22,57 % a los 7 días de edad y del 43,30 % a los 221 días de edad.

Para las probetas con agua de amasado pH = 9 existe una variación del 7,92 % a los 7 días de edad y del 23,00 % a los 221 días de edad.

Con los porcentajes en la variación de la resistencia obtenidos y analizados quedar decir que la hipótesis planteada en un inicio no se cumplió, debido a que se presentó porcentajes de variación más altos de lo planteado inicialmente tanto para aquellas probetas elaboradas con agua de amasado con pH ácidos y básicos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Realizado la importación de datos, tabulación, análisis del estudio, evaluación de costos y contrastación de la hipótesis se generan las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- Por efectos de la pandemia no se pudo obtener resultados de la resistencia a los 28 días de edad de las probetas, esto generó que el análisis planteado inicialmente se prolongue para un tiempo de 221 días, como resultado del mismo, un análisis del hormigón con efectos a lo largo del tiempo.
- El agua de masado genera efectos negativos para la resistencia del Hormigón, haciendo que la misma pierda su resistencia considerablemente en los primeros días de edad y a lo largo del tiempo.
- El agua de procedencia potable, no siempre tiene la garantía de ser buena para el hormigón. Como se vio en estos casos, las regiones alejadas de las ciudades, tienden a tener contaminación que afecta a sus propios sistemas de abastecimiento de agua, mismos sistemas que no tiene un control estricto del tratamiento del agua a comparación de las ciudades.
- El uso del aditivo Sika Viscocrete 5-800 nos brindó un mejor manejo de la mezcla de hormigón como su función de superplastificante lo indica, pero no evito que se produjera la pérdida de resistencia, siendo posiblemente otro factor de efectos negativos sobre la resistencia del hormigón.
- El agua es un elemento de fácil modificación de su pH, debido a que en pequeñas proporciones de otros elementos externos como ser la contaminación, desechos minerales, desechos industriales, etc., puede generar grandes cambios en el pH del agua donde se encuentren las fuentes de abastecimiento, mismas que es de difícil neutralización en plantas de tratamiento.
- Durante la evaluación del precio unitario del ítem: “Hormigón confeccionado en obra 35 Mpa (350Kg/cm²)” se observa que precio del mismo es elevado principalmente por el costo de los materiales utilizados para su elaboración (915,58 bs) donde el material que más se destaca es el aditivo Sika Viscocrete 5-800 ocupando un porcentaje de 27,58 % (376,32 bs) del costo total del ítem (1317,34 bs).

- Se recomienda que para reducir los costos de fabricación del hormigón de 35 Mpa se realice mediante la utilización de cemento IP-40, mismo que nos garantizará la resistencia del hormigón y se reducirá el costo del aditivo.
- Debido a que en este estudio se buscaba analizar la pérdida de resistencia de un hormigón de 35 Mpa con agua de amasado variando su pH, incluido en su diseño el uso de un aditivo, intuyendo que el mismo sería beneficioso para el hormigón, ayudando que la pérdida de resistencia no sea mayor, por lo cual no se utilizó un cemento IP-40.
- La aplicación y/o validación del estudio, realizada con la elaboración de probetas cuya procedencia de agua es natural (El Puente y Entre Rios), genera un nivel de confianza para el uso de las gráficas realizadas con probetas cuya agua de amasado es modificada a los diferentes pH, con valores de diferencia y/o variación que están entre 1,58% y 6,74% de acuerdo a la curva de ajuste.
- Hormigones cuyas de aguas de amasado con pH diferente de 7 (neutro), no es recomendable para el uso de hormigón armado, debido a que este puede afectar la integridad del acero, debido a lo observado en la superficie del agua donde se produjo el curado de las probetas del presente estudio. Para lo cual se recomienda solo el uso para hormigones en masa.
- Se puede profundizar el estudio mediante a la elaboración de más probetas y cuya rotura sea en días intermedios entre 7 y 221 días, también mediante la elaboración de probetas para distintas resistencias.