



**Evaluación de las características técnicas del hormigón y del acero para su aplicabilidad
en estructuras hidráulicas caso Toachi Pilatón**

Espinoza Tinoco, Juan Eduardo y Yupangui Iza, Elizabeth Paulina

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Ing. Haro Báez Ana Gabriela, Ph.D

11 de febrero de 2022



Tesis_formato_Final_v2.pdf

Scanned on: 17:18 February 10, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

| | |
|--------------------------|------|
| Identical Words | 192 |
| Words with Minor Changes | 0 |
| Paraphrased Words | 46 |
| Ommited Words | 1689 |

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Ana Gabriela Haro".

Ing. Ana Gabriela Haro, Ph.D
DIRECTORA



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**Evaluación de las características técnicas del hormigón y del acero para su aplicabilidad en estructuras hidráulicas caso Toachi Pilatón**” fue realizado por los señores **Espinoza Tinoco Juan Eduardo** y **Yupangui Iza Elizabeth Paulina** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 11 de febrero de 2022

.....
Ing. Ana Gabriela Haro Báez, Ph.D.

C. C: 1713500302



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Espinoza Tinoco Juan Eduardo y Yupangui Iza Elizabeth Paulina**, con cédulas de ciudadanía n° 070511059-1 y n° 050307076-5, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Evaluación de las características técnicas del hormigón y del acero para su aplicabilidad en estructuras hidráulicas caso Toachi Pilatón”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 11 de febrero de 2022

Juan Eduardo Espinoza Tinoco

C.C.: 070511059-1

Elizabeth Paulina Yupangui Iza

C.C: 050307076-5



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros, **Espinoza Tinoco Juan Eduardo y Yupangui Iza Elizabeth Paulina**, con cédulas de ciudadanía n° 070511059-1 y n° 050307076-5, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Evaluación de las características técnicas del hormigón y del acero para su aplicabilidad en estructuras hidráulicas caso Toachi Pilatón”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 11 de febrero de 2022

Juan Eduardo Espinoza Tinoco

C.C.: 070511059-1

Elizabeth Paulina Yupangui Iza

C.C.: 050307076-5

Dedicatoria

Dedicado a mis padres quienes han sido mi mayor apoyo durante este largo camino y nunca me abandonaron, por luchar por mi para cumplir mi meta el ser Ingeniera Civil.

A mi hija quien ha sido la mayor fuente de inspiración para culminar esta etapa.

Elizabeth Paulina Yupangui Iza

Dedicatoria

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios porque él está con nosotros en cada paso que damos, cuidándonos, dándonos la fortaleza necesaria para enfrentar el día a día y continuar este proceso de obtener uno de mis anhelos más deseados.

Para continuar dedico este proyecto a todos mis familiares, y de manera muy especial a mis padres Tito y Zoila y tíos que son mis segundos padres Eduardo y Mariela, por todo el amor, ayuda y sacrificio en todo este camino, los cuales son los pilares fundamentales de mi vida y sin ellos no hubiera logrado lo que he conseguido hasta el momento. Son los que con su tenacidad y lucha insaciable por hacernos mejores personas cada día, nos brindan su confianza y velan por nuestro bienestar y educación siendo ellos nuestra principal fuente de apoyo en cualquier momento en el que nos encontremos. Por esas y muchas más razones les dedicamos este proyecto, por ser nuestros ejemplos a seguir

A cada una de las personas que nos han brindado su ayuda, su apoyo y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Finalmente, también quiero dedicar esta tesis a todos mis amigos y amigas, por ese apoyo incondicional porque cuando más se los necesita ellos están prestos a extender su mano, por eso y mucho más de verdad mil gracias hermanos, siempre los llevo en mi corazón.

Juan Eduardo Espinoza Tinoco

Agradecimiento

A Dios por darme fuerza para seguir adelante y estar a mi lado en todo momento.

A mi madre por estar siempre a mi lado y brindarme todo su amor, por apoyarme cuando parecía que todo se derrumbaba, y demostrarme que con esfuerzo y dedicación se puede alcanzar todo lo que uno desea en la vida.

A mi padre que es el hombre más inteligente, honesto y bueno que conozco, quien a pesar de todas las dificultades ha hecho todo lo posible para sacar adelante a su familia, demostrando que el esfuerzo y la perseverancia nos permiten cumplir nuestras metas.

Al Ing. Marcelo Romo M.Sc. quien inicialmente fue nuestro tutor y nos brindó todo su apoyo y conocimiento para lograr cumplir con el objetivo del proyecto.

A la Ing. Ana Gabriela Haro, Ph.D. una excelente profesional, quien nos apoyó y brindó sus conocimientos de manera desinteresada y confiar en nosotros para realizar este proyecto.

Finalmente quiero agradecer a todos mis docentes por instruirme en esta hermosa carrera y a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE donde he realizado buenos amigos que han sido un gran apoyo tanto en lo académico como en lo personal.

Elizabeth Paulina Yupangui Iza

Agradecimiento

Este proyecto de tesis es la consecuencia del esfuerzo de todos los que prestaron su ayuda, por ello a todas aquellas personas que, de alguna forma, son parte de su culminación quiero agradecerles. Agradecemos de manera especial a nuestros directores de proyecto de tesis quiénes nos ayudaron y orientaron con sus recomendaciones y consejos en todo momento, Ing. Marcelo Romo M.Sc. e Ing. Anita Haro Ph.D. A mi familia y sobre todo a mis padres quienes a lo largo de toda mi vida me han apoyado y motivado en la formación académica, creyeron en todo momento y no dudaron de mis habilidades. A todos los docentes que me han visto crecer como persona y a los cuales les debo gran parte de los conocimientos que adquirí, gracias a su paciencia y enseñanza y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa institución educativa Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE la cual abrió sus puertas a jóvenes y poder prepararnos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

Juan Eduardo Espinoza Tinoco

Índice de Contenidos

| | |
|-------------------------------------------------------|----|
| Dedicatoria..... | 6 |
| Agradecimiento..... | 8 |
| Agradecimiento..... | 9 |
| Resumen | 19 |
| Abstract..... | 20 |
| Capítulo I..... | 21 |
| Generalidades..... | 21 |
| Antecedentes..... | 21 |
| Planteamiento del problema | 22 |
| Justificación..... | 24 |
| Objetivos..... | 26 |
| Objetivo General..... | 26 |
| Objetivos Específicos | 26 |
| Capítulo II..... | 27 |
| Marco Teórico..... | 27 |
| Presas..... | 27 |
| Clasificación de las presas según los materiales..... | 27 |
| Presas de hormigón | 28 |

| | |
|-----------------------------------------------------------|----|
| Presas materiales de sueltos..... | 28 |
| Otros tipos de materiales..... | 29 |
| Hormigón en presas..... | 30 |
| Ensayo destructivo..... | 32 |
| Ensayo de compresión..... | 32 |
| Procedimiento del ensayo..... | 36 |
| Ensayos no destructivos..... | 39 |
| Ensayos esclerométricos..... | 40 |
| Acero en estructuras hidráulicas..... | 43 |
| Soldadura..... | 44 |
| Ensayo de tintas penetrantes..... | 44 |
| Procedimiento para realizar el ensayo..... | 44 |
| Propiedades de los hormigones en proyectos similares..... | 48 |
| Capítulo III..... | 51 |
| Información del proyecto..... | 51 |
| Presa Toachi..... | 52 |
| Construcción de la presa Toachi..... | 53 |
| Mini Central Toachi..... | 54 |
| Vertederos de excesos..... | 54 |
| Desagües de fondo..... | 54 |
| Túnel de presión Toachi-Alluriquín..... | 54 |

| | |
|------------------------------------------------------------------|-----|
| Datos proporcionados por CELEC | 55 |
| Determinación de la resistencia del hormigón | 55 |
| Capítulo IV..... | 57 |
| Evaluación de las características técnicas del hormigón | 57 |
| Extracción de núcleos | 57 |
| Resultados de los ensayos a compresión | 65 |
| Resultados corona de la presa | 66 |
| Resultados talud margen derecho (vista aguas abajo)..... | 70 |
| Resultados de cilindros de 30x15 cm (moldeados) | 73 |
| Determinación del número de rebote | 75 |
| Resultados de los ensayos con el esclerómetro | 87 |
| Resultados corona de la presa | 88 |
| Resultados vertedero (Bloque 3) | 90 |
| Resultados talud margen derecho (visa aguas abajo) | 92 |
| Resultados galerías | 94 |
| Determinación del número de rebote Túnel Toachi-Alluriquín | 96 |
| Resultados túnel Toachi-Alluriquín | 105 |
| Observaciones-Resultados..... | 108 |
| Capítulo V..... | 110 |
| Evaluación de las características técnicas del acero..... | 110 |
| Inspección visual | 112 |

| | |
|-----------------------------------------|-----|
| Inspección por tintas penetrantes | 115 |
| Observaciones-Resultados..... | 123 |
| Capítulo VI..... | 125 |
| Conclusiones | 125 |
| Recomendaciones..... | 127 |
| Bibliografía | 129 |
| Anexos..... | 135 |

Índice de tablas

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 1 Factores de corrección para relación L/D y la resistencia a compresión (Norma ASTM C42) | 34 |
| Tabla 2 Características de proyectos hidroeléctricos nacionales e internacionales | 48 |
| Tabla 3 Muestras tomadas en la corona de la presa | 60 |
| Tabla 4 Muestras tomadas en el talud derecho..... | 63 |
| Tabla 5 Especímenes cilíndricos..... | 65 |
| Tabla 6 Resultados del ensayo a compresión..... | 66 |
| Tabla 7 Tipos de fractura en las muestras ensayadas de la corona de la presa..... | 67 |
| Tabla 8 Resultados del ensayo a compresión..... | 70 |
| Tabla 9 Tipos de fractura en las muestras del talud | 71 |
| Tabla 10 Resultados de ensayo a compresión..... | 73 |
| Tabla 11 Tipos de fractura en los cilindros | 74 |
| Tabla 12 Ensayos esclerométricos en corona de la presa..... | 76 |
| Tabla 13 Ensayos esclerométricos en el vertedero del bloque 3 de la presa..... | 79 |
| Tabla 14 Ensayos esclerométricos en el talud margen derecho..... | 81 |
| Tabla 15 Ensayos con el esclerómetro en las galerías..... | 83 |
| Tabla 16 Características del esclerómetro | 87 |
| Tabla 17 Valores de rebote determinado por el esclerómetro en la corona de la presa | 88 |
| Tabla 18 Valor de rebote determinado por el esclerómetro en el vertedero bloque 3.... | 90 |
| Tabla 19 Valor de rebote determinado por el esclerómetro en talud | 93 |
| Tabla 20 Valor de rebote determinado por el esclerómetro en galerías..... | 94 |
| Tabla 21 Ensayos con el esclerómetro en el túnel Toachi-Alluriquín..... | 98 |
| Tabla 22 Valor de rebote determinado por el esclerómetro en túnel Toachi-Alluriquín | 106 |
| Tabla 23 Promedio de la resistencia del hormigón obtenida con dos ensayos..... | 108 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 24 <i>Propiedades mecánicas de la varilla de ADELCA</i> | 111 |
| Tabla 25 <i>Ensayo por líquidos penetrantes en desagüe de fondo bloque 4</i> | 115 |
| Tabla 26 <i>Ensayo por líquidos penetrantes en desagüe de fondo bloque 3</i> | 119 |

Índice de figuras

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 <i>Presa de hormigón a gravedad Toachi</i> | 28 |
| Figura 2 <i>Ejemplo de presa de materiales sueltos</i> | 29 |
| Figura 3 <i>Presa de mampostería en México</i> | 29 |
| Figura 4 <i>Rotura de muestra por compresión del hormigón</i> | 33 |
| Figura 5 <i>Esquema de los modelos típicos de fractura</i> | 36 |
| Figura 6 <i>Muestras en laboratorio antes de ser cortadas</i> | 37 |
| Figura 7 <i>Corte de muestra para que cumpla la relación dos veces el diámetro</i> | 37 |
| Figura 8 <i>Refrentado de núcleos extraídos del proyecto hidroeléctrico Toachi Pilatón</i> ... | 37 |
| Figura 9 <i>Muestra en la máquina de compresión</i> | 38 |
| Figura 10 <i>Resultados de la compresión en una muestra</i> | 39 |
| Figura 11 <i>Esclerometro</i> | 40 |
| Figura 12 <i>Ensayo esclerométrico</i> | 42 |
| Figura 13 <i>Desagüe de fondo</i> | 43 |
| Figura 14 <i>Limpieza del área a ensayar</i> | 45 |
| Figura 15 <i>Aplicación de limpiador adquirido en Testek Ecuador</i> | 45 |
| Figura 16 <i>Paño libre de manchas de oxido</i> | 46 |
| Figura 17 <i>Tinta penetrante en cordón de suelda horizontal</i> | 46 |
| Figura 18 <i>Colocación del revelador</i> | 47 |
| Figura 19 <i>Revelador seco</i> | 47 |
| Figura 20 <i>Esquema del proyecto hidroeléctrico Toachi Pilatón</i> | 52 |
| Figura 21 <i>Detalle de los nueve bloques del proyecto</i> | 53 |
| Figura 22 <i>Ubicación donde se realizó la extracción de núcleos</i> | 57 |
| Figura 23 <i>Extractor de núcleos</i> | 58 |
| Figura 24 <i>Extracción de núcleos en la corona de la presa</i> | 59 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 25 <i>Extracción de núcleos en talud margen derecho (vista aguas abajo)</i> | 59 |
| Figura 26 <i>Demostración del ensayo con esclerómetro</i> | 75 |
| Figura 27 <i>Vertedero ubicado en el bloque 3 de la presa</i> | 78 |
| Figura 28 <i>Detalle vista aguas debajo de la presa Toachi</i> | 82 |
| Figura 29 <i>Detalle de las galerías y los puntos donde se realizaron las pruebas</i> | 82 |
| Figura 30 <i>Posiciones del esclerómetro</i> | 88 |
| Figura 31 <i>Resultado del ensayo esclerométrico y numero de muestras en la corona de la presa</i> | 89 |
| Figura 32 <i>Correlación lineal de la resistencia a la compresión y numero de rebote en la corona de la presa</i> | 89 |
| Figura 33 <i>Resultado del ensayo esclerométrico y numero de muestras en el vertedero bloque 3.</i> | 91 |
| Figura 34 <i>Correlación polinomial de la resistencia a la compresión y numero de rebote en el vertedero bloque 3.</i> | 91 |
| Figura 35 <i>Resistencia que adquiere el hormigón de acuerdo a la edad</i> | 92 |
| Figura 36 <i>Resultado del ensayo esclerométrico y número de muestras en el talud</i> | 93 |
| Figura 37 <i>Correlación lineal de la resistencia a la compresión y número de rebote en el talud</i> | 93 |
| Figura 38 <i>Resultado del ensayo esclerométrico y numero de muestras en las galerías</i> | 95 |
| Figura 39 <i>Correlación lineal de la resistencia a la compresión y numero de rebote en las galerías</i> | 95 |
| Figura 40 <i>Desprendimiento de hormigón en túnel Toachi-Alluriquín</i> | 96 |
| Figura 41 <i>Túnel Toachi-Alluriquín, lado izquierdo desprendimiento de hormigón</i> | 96 |
| Figura 42 <i>Túnel de ingreso al túnel de presión Toachi-Alluriquín</i> | 97 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 43 <i>Resultado del ensayo esclerométrico y numero de muestras en el túnel Toachi-Alluriquin.....</i> | 107 |
| Figura 44 <i>Correlación lineal de la resistencia a la compresión y numero de rebote en el túnel Toachi-Alluriquín.....</i> | 107 |
| Figura 45 <i>Desagües de fondo.....</i> | 112 |
| Figura 46 <i>Galga de medición en cordón vertical.....</i> | 113 |
| Figura 47 <i>Mordedura en una de las planchas del desagüe de fondo.....</i> | 114 |
| Figura 48 <i>Inspector certificado.....</i> | 123 |
| Figura 49 <i>Inspección por ultrasonido en cordón vertical.....</i> | 124 |

Resumen

Se presenta una evaluación de las características técnicas del hormigón y del acero de la hidroeléctrica Toachi Pilatón ubicada en la parroquia Alluriquín, esto se realizó con ensayos destructivos y no destructivos en el hormigón en diferentes partes de la presa como son la corona y las galerías, además también se realizaron ensayos para el hormigón lanzado utilizado en los taludes, los resultados fueron comparados con las especificaciones técnicas del proyecto proporcionadas por la empresa CELEC.

Los ensayos destructivos realizados fueron extracción de núcleos de hormigón para ser ensayados en la máquina de compresión guiándose en las normas ASTM C1231, ASTM C39 y ASTM C42. En cuanto a los ensayos no destructivos se realizó el uso del esclerómetro, de igual forma este ensayo se basa en la norma NTE INEN 3121.

Para la evaluación del acero por políticas de la empresa no se realizó extracción de muestras ya que se corre riesgo que exista mayor desgaste en las planchas al realizar perforaciones por lo tanto la forma en la que se presentó las características del acero son con la especificación proporcionada y la marca que se puede ver en las planchas. Además, en lo que acero se refiere se evaluó la calidad de suelda.

Finalmente se realizó un cuadro comparativo de las características técnicas del proyecto con los resultados obtenidos de los ensayos, con el fin de que sea una referencia para los profesionales interesados en estructuras hidráulicas.

Palabras clave:

- **HORMIGÓN**
- **ACERO**
- **ENSAYOS**
- **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**
- **ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**

Abstract

An evaluation of the technical characteristics of the concrete and steel of the Toachi Pilatón hydroelectric dam located in the Alluriquín parish is presented, this was done with destructive and non-destructive tests on the concrete in different parts of the dam such as the crown and the galleries, also tests were performed for the shotcrete used in the slopes, the results were compared with the technical specifications of the project provided by the CELEC company.

The destructive tests performed were extraction of concrete cores to be tested in the compression machine according to ASTM C1231, ASTM C39, and ASTM C42 standards. As for the non-destructive tests, the use of the sclerometer was carried out, in the same way this test is based on the NTE INEN 3121 standard.

For the evaluation of the steel, according to company policy, samples were not extracted since there is a risk of greater wear on the plates when perforations are made; therefore, the way in which the characteristics of the steel were presented is with the specification provided and the mark that can be seen on the plates. In addition, as far as steel is concerned, the welding quality was evaluated.

Finally, a comparative table of the technical characteristics of the project with the results obtained from the tests was made, in order to be a reference for professionals interested in hydraulic structures.

Key Words:

- **CONCRETE**
- **STEEL**
- **DESTRUCTIVE TESTING**
- **TECHNICAL SPECIFICATIONS**
- **NON-DESTRUCTIVE TESTING**

Capítulo I

Generalidades

Antecedentes

El hormigón es un material de construcción importante de nuestro tiempo. De hecho, hoy es casi imposible encontrar una estructura en la que no esté presente desde tuberías de oleoductos hasta pavimentos de carreteras, hasta las grandes obras de la ingeniería civil como las presas, túneles entre otros es por eso que el hormigón forma parte de nuestra vida (García Pérez, 2004, pág. 1).

Sin embargo, los materiales que incluyen agua, cemento y agregados, incluso cuando se usan correctamente, pueden verse limitados en ciertas situaciones, y la demanda de concreto está aumentando por lo tanto se requiere nuevos conocimientos técnicos. Básicamente, esto significa que se deben realizar algunos cambios en la composición o tecnología incorporando otros materiales que puedan mejorar las propiedades del hormigón en la dirección deseada (García Pérez, 2004, pág. 1).

De acuerdo con Yépez & Calderón (2014) pág. 1, acotan que “siendo el hormigón uno de los materiales más utilizados a nivel mundial y, observando las limitaciones de esta industria en el Ecuador”, surge la motivación de presentar un estudio de las características técnicas del hormigón y del acero para el diseño y construcción de estructuras hidráulicas.

Proyectos como estos requieren hormigones de alto desempeño, al ser obras que se encuentran en constante contacto con el agua, por lo tanto, se requiere conocer las normas apropiadas para diseñar un proyecto hidroeléctrico.

En una presa al hormigón se le exige unas cualidades específicas, que los diferencian de los hormigones de otros tipos de estructuras. Por lo cual se analizará

cuáles son dichos requisitos y de qué forma afectan al diseño de las mezclas como hormigones y morteros de las presas (García Pérez, Diseño de hormigones dirigido a la aplicación, 2004, pág. 73).

Del mismo modo, los elementos estructurales de acero que están en permanente contacto con agua a presión, con altas velocidades, o con efectos dinámicos del agua, también requieren estudios especiales y procesos constructivos diferenciados.

Por último, es totalmente usual el empleo de morteros cementicios tanto como parte de las estructuras hidráulicas, como para mejorar las propiedades de resistencia y de impermeabilidad de los suelos y de las rocas.

Planteamiento del problema

Debido a que las estructuras hidráulicas están en contacto con el agua pueden llegar a presentar daños severos e incluso llegar a fallar toda la estructura provocando tanto pérdidas humanas como materiales, por lo que se debe poner mayor atención en las especificaciones técnicas del hormigón y del acero, y conocer el por qué se coloca en estas estructuras hormigones especiales o específicos y saber qué tipo de acero se debe emplear en las obras hidráulicas.

De acuerdo con Marengo Mogollón, 1996, pág. 1, acota que cuando el ingeniero proyectista diseña una presa, debe, de acuerdo con el Comité Internacional de Grandes Presas (ICOLD por sus siglas en inglés), crear una estructura que resulte lo más económica posible, al tiempo que considera los siguientes aspectos:

- Funcionará bien sin ningún deterioro significativo durante la vida útil de la presa.
- No debe fallar catastróficamente bajo las condiciones más extremas que puedan ocurrir durante su vida útil

Todas las presas están construidas según los estándares de seguridad, pero además del diseño del proyecto, muchas presas pueden afectar la confiabilidad debido al aumento de la incertidumbre debido a los cambios hidrológicos debido al cambio climático. Una ruptura se puede definir como una liberación intensa e incontrolada debido a un espacio de drenaje formado en la cortina de la presa y una inundación ondulante en el valle del río aguas abajo del embalse (Padrino, 2018).

Los derrumbes de presas se han registrado en todo el mundo a lo largo de la historia, y una de las últimas presas en el condado de Michigan, Estados Unidos, hasta que se derrumbó la presa de Edenville, poniendo en peligro a 10 000 personas. Alrededor del 40% de la población mundial es directamente vulnerable a estos desastres y se estima que un 80% por los daños que incluyen los cortes de vías de comunicación, de servicio eléctrico y de agua potable, además de las pérdidas en infraestructura (Padrino, 2018).

Existen varios factores que se pueden atribuir a las fallas de una represa, uno de estos es el problema de diseño y construcción que es hacia donde se enfoca el tema del presente proyecto, ya que para evitar estos problemas es importante conocer las características técnicas del hormigón y del acero, además que el Ingeniero que diseña el proyecto debe conocer qué tipo de acero o que resistencia debe tener el hormigón para las diferentes partes de la estructura.

Así como los documentos sobre la construcción de presas son muy antiguos, también lo son los documentos sobre fallas de presas. Los registros de todos los eventos relacionados con el embalse revelan que la falla de la presa es una situación más común de lo que uno podría imaginar. Las presas grandes también conllevan un gran riesgo de daños si fallan. Grandes cantidades de líquidos almacenados que se liberan en un período de tiempo relativamente corto pueden alcanzar un caudal máximo

y por el otro muy importantes velocidades. La combinación de estas dos características hace que la posibilidad de falla de la presa sea muy grave (Ramírez Orozco, 2011).

Cuando el proyecto tiene grandes dimensiones los problemas que recaen son de la misma extensión; es por ello por lo que el análisis de los materiales con que se los construye tiene que ser los óptimos y eso nos lleva a recopilar información de lo ya existente para mejorar los diseños futuros, y aunque eso a veces es insuficiente porque siempre existirá la probabilidad de que se presente un suceso mayor que pueda provocar fallos.

De acuerdo con el Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2021 la hidroeléctrica Toachi Pilatón a la fecha mayo 2021 presenta un avance del 90.64%.

Con el porcentaje de avance que presenta la obra de acuerdo con lo descrito anteriormente y la información proporcionada por CELEC, se pretende analizar toda la estructura, sea de hormigón o de acero, que al tener contacto con el agua presenten problemas que se deberían prevenir al estudiar las características técnicas del hormigón y del acero. Y poder dar soluciones con profesionales ecuatorianos y no contratar empresas internacionales.

Justificación

En el Ecuador para diseñar una hidroeléctrica como Coca Codo Sinclair, Sopladora, Toachi Pilatón, etc., siempre se ha acudido a empresas internacionales para que realicen el diseño y cálculo de la estructura, como son la presa con sus diferentes elementos, túneles, planchas, compuertas, etc.

Aunque en este proyecto se ha podido observar que existen varias fallas estructurales por cuanto el proyecto no ha podido entrar en funcionamiento, arrastrando años de retraso.

Es importante conocer las causas que le llevan a un ingeniero a generar hormigones, microconcretos y morteros con características especiales, en algunos casos con resistencia mayor a 55 MPa, con ultrafluidez o fraguado ultra rápido, por ejemplo, para el diseño de un proyecto hidráulico. También es importante conocer los problemas que puede generar el agua a las estructuras, en el caso del hormigón se pueden producir fisuras, en el caso del acero se tiene el problema de la corrosión, y en el caso de los suelos y rocas el problema de la filtración. Para el diseño de estructuras hidráulicas se debe seguir normas y guías para determinar la resistencia del hormigón que se utilizará en una presa, un túnel o un vertedero.

En todos los casos están en constante contacto con el agua lo que puede provocar deterioro o daños en la estructura o en el suelo de cimentación, por lo tanto, realizar una evaluación de las condiciones de la estructura, permitirá determinar las características que debe presentar el hormigón, los morteros especiales y el acero, y así verificar que cumplan con las especificaciones técnicas planteadas evitando daños y deterioros a largo plazo.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar las características técnicas del hormigón, de los morteros y del acero mediante el análisis e inspección de la obra, para conocimiento del uso de estos materiales en el diseño y construcción de estructuras hidráulicas caso Toachi Pilatón.

Objetivos Específicos

- Realizar ensayos en la presa, túnel y planchas de acero mediante el uso de equipos especiales, para comparar los resultados con las especificaciones técnicas del proyecto hidroeléctrico Toachi Pilatón.
- Indicar las fallas o daños que se han presentado hasta la fecha en el proyecto hidroeléctrico, sea por estar en contacto con el agua, fallas geológicas, etc.
- Determinar las normas en las que se basa el ingeniero al momento de diseñar y construir un proyecto hidráulico para generar hormigones de diferente resistencia, morteros, y las especificaciones del acero para este tipo de proyectos.
- Conocer la función de cada parte de la estructura mediante investigación bibliográfica para determinar donde se realizarán los ensayos y que resistencia debe tener el hormigón.

Capítulo II

Marco Teórico

Para empezar el proyecto es necesario conocer algunos conceptos básicos como lo que es una presa o embalse, su clasificación y el uso que se le va a dar, así mismo se debe conocer los materiales con los que estas se construyen. En este estudio se tuvo la oportunidad de trabajar con una presa de hormigón a gravedad.

Presas

De acuerdo con Sandoval Erazo, 2018, habla sobre la definición de una presa y dice que es una estructura edificada con cualquier material, que atraviesa un cauce natural o artificial, para producir una elevación del nivel del agua o una acumulación (embalse) y generar una distribución de caudales diferente a la natural o inicial. Según la Comisión Internacional de Grandes Presas (International Commission on Large Dams, ICOLD), a una presa se la define como “una barrera o una estructura colocada cruzando un curso de agua o de un río con el fin de almacenar, controlar y derivar agua”.

Con lo explicado anteriormente se puede mencionar algunos de los usos más importantes que se les da a estas obras en el Ecuador, como son las siguientes:

- Beneficio energético
- Riego de cultivos
- Abastecimiento de agua potable
- Control de inundaciones
- Otros

Clasificación de las presas según los materiales

Los materiales para la construcción de presas pueden ser muy diferentes y diversos, pero en cierto sentido se han agrupado de la siguiente forma:

Presas de hormigón

Algunas de las propiedades del hormigón como la facilidad de ser moldeado y tener una alta resistencia a la compresión es uno de los materiales más utilizados en la ingeniería hidráulica. “La geometría para presas está determinada por el tipo de cimentación, por la función que cumple, por la manera en que resiste a las fuerzas actuantes sobre esta y por la tecnología para su construcción (hormigón vibrado o rodillado)” Sandoval Erazo (2018). Por lo tanto, las presas de hormigón armado forman parte de este grupo.

Figura 1

Presa de hormigón a gravedad Toachi



Presas materiales de sueltos

Históricamente las primeras presas construidas en el mundo fueron presas de tierra. Las presas de materiales sueltos casi siempre tienen un mayor volumen respecto al resto de presas de otros materiales, generalmente son menos costosas que las presas de hormigón, porque que utilizan los suelos y las rocas existentes en el sector en el que se necesita construir (Sandoval Erazo, 2018).

Figura 2

Ejemplo de presa de materiales sueltos



Nota. Extraído de (Suárez Díaz, pág. 5).

Otros tipos de materiales

El ingenio de las personas no tiene límite al momento de buscar solución a ciertos problemas en los que se necesita una presa, se han visto casos en los que se construyen represas de mampostería, llantas, plástico, madera, etc.

Figura 3

Presa de mampostería en México



Nota. Tomado de (Comision Nacional de Zonas Áridas, 2021).

Hormigón en presas

De acuerdo con Gómez Laa y Diez-Cascón (1989), durabilidad, impermeabilidad y economía son los tres requisitos previos principales que determinan las propiedades del hormigón utilizado en la construcción de presas. La resistencia es, por supuesto, otro factor a considerar, pero el cumplimiento de lo anterior generalmente se refiere a resistencias mínimas o superiores que se requieren para presas ya sean estas destinadas a control de inundaciones, generación de energía eléctrica, riego, etc. (García Pérez, Diseño de hormigones dirigido a la aplicación, 2004, pág. 73).

La mayoría de los cambios que se le realizan al hormigón tradicional se centra en uno de los problemas más importantes de las presas, el cual representa una gran dificultad, como lo es la tendencia a agrietarse o fisurarse. Por lo cual es evidente y vale la pena señalar que la mayoría de las presas tienen dosificaciones diferentes. Se utilizan diferentes tipos de hormigón al momento de implementar en las presas, dependiendo de las circunstancias específicas de cada área, es decir, dependiendo de la ubicación y función del cuerpo de la presa, muros, corona, estribos, vertedero, túneles, galerías, etc. Para realizar cambios en la dosificación de la mezcla tradicional se debe poner atención en el tipo de puesta en obra del hormigón. De hecho, la característica de ciertas colocaciones en obra (bajo el agua, compactación por rodillo, etc.) implica una modificación en la mezcla, dando lugar a lo que se conoce como un hormigón especial (García Pérez, Diseño de hormigones dirigido a la aplicación, 2004).

Los agregados utilizados en el hormigón de una presa por lo general suelen ser de mayor tamaño al utilizado en el hormigón tradicional, el tamaño del árido que se utiliza en este tipo de proyectos está comprendidos entre 63 a 125 mm de acuerdo a varios estudios internacionales (Campos de Moura, 2012).

Por lo dicho antes es que se hace un análisis de las características técnicas del hormigón, el hecho de tener agregados de mayor tamaño la resistencia puede variar al tomar las muestras en cilindros, para aproximarse a los resultados reales esta variación se la corrige con ajustes analíticos o empíricos basados en las normas existentes.

El análisis de grandes estructuras de hormigón como presas es explicar la formación y expansión de fisuras que ocurren con frecuencia en este tipo de estructuras señala Campos de Moura (2012), además que para este tipo de obras se debe realizar un constante monitoreo y mantenimiento para prevenir daños mayores en el futuro y tener un plan de emergencia.

Básicamente, el hormigón de presa debe tener las siguientes condiciones: durabilidad, capacidad de permanecer en contacto con los elementos del medio ambiente durante mucho tiempo, impermeabilidad por estar en contacto directo con el agua y, en ocasiones, capacidad de carga y soportar la presión. Además, en toda presa el hormigón debe ser uniforme.

Para evaluar una estructura de hormigón armado se debe determinar las características del hormigón y del acero como, por ejemplo:

- En base a planos del proyecto determinar las dimensiones de los elementos estructurales.
- Ubicación, tamaño y forma de fisuras o grietas formadas en la estructura.
- Resistencia del hormigón f_c .
- Resistencia del acero de refuerzo f_y .
- Establecer si existe carbonatación en el concreto.

Para determinar las características descritas se utilizan diferentes métodos que pueden ser destructivos, semi destructivos y no destructivos, en el presente trabajo se

mostrarán los ensayos utilizados para la evaluación de las características técnicas del hormigón de la hidroeléctrica Toachi Pilatón.

Ensayo destructivo

Los ensayos destructivos son aquellos que analizan una muestra hasta llegar al daño o rotura, para ver cómo se va a comportar la misma ante diferentes sollicitaciones físicas por ejemplo esfuerzos de compresión o tracción.

El material que va a ser sometido a esfuerzos físicos no podrá regresar a su forma original ni podrá ser utilizado nuevamente, este tipo de pruebas se suelen utilizar para llevar las propiedades físicas del material al límite o en muchas circunstancias al fallo. Esto determina el comportamiento del material en situaciones extremas (Saif Valdez, 2019).

Algunos de los ensayos destructivos conocidos son:

- Ensayo de compresión en probetas de hormigón
- Resistencia a tracción
- Desgaste
- Comportamiento al corte, etc.

En el presente proyecto se realizó extracción de núcleos de hormigón para realizar el ensayo de compresión simple, a continuación, se detalla cómo se realiza este tipo de ensayo.

Ensayo de compresión

De acuerdo con Aspilcueta Asencios, 2015, la resistencia a la compresión del hormigón se puede definir como su capacidad para soportar esfuerzos de compresión axial sin llegar a fallar. Este esfuerzo se genera aplicando gradualmente una fuerza de compresión al hormigón, en la figura 4 se puede observar cómo se aplica la fuerza.

El hormigón puede tener una gran variedad de propiedades mecánicas y de duración adaptándose a una amplia variedad de estructuras de ingeniería. En la construcción la resistencia a la compresión del hormigón es la más utilizada para diseñar diversas estructuras (Saif Valdez, 2019).

Figura 4

Rotura de muestra por compresión del hormigón



Este método implica determinar el esfuerzo de compresión en especímenes cilíndricos, sean estos moldeados, o núcleos obtenidos por extracción.

El esfuerzo a la compresión de la muestra es calculado con la ecuación 1 proporcionada por la American Society for Testing and Materials (ASTM), s.f. ASTM C39:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Donde:

P: carga máxima aplicada en (kg)

A: área transversal de la muestra en (cm²)

Los resultados obtenidos pueden variar por la forma y tamaño de la muestra y también por la presencia de armadura, es por ello que se menciona en la norma ASTM C39 un factor de corrección de esbeltez, el cual depende de la relación L/D que presente la muestra, donde L es la altura y D el diámetro del espécimen.

Esta corrección se realiza porque según la norma American Society for Testing and Materials (ASTM), 2004 ASTM C42, la altura de la muestra debe ser dos veces el diámetro, debido a que generalmente a mayor tamaño de muestra los resultados son más exactos, ya que cuanto mayor es la probeta menos variación existirá al realizar la extracción de núcleos, y en caso de no cumplir con esta especificación la misma norma permite realizar una corrección mediante unos factores de relación L/D, como se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 1

Factores de corrección para relación L/D y la resistencia a compresión (Norma ASTM C42)

| Relación L/D | Factor de corrección de resistencia |
|-------------------------|------------------------------------------------|
| 2.00 | 1.00 |
| 1.75 | 0.98 |
| 1.50 | 0.96 |
| 1.25 | 0.93 |
| 1.00 | 0.87 |

Nota. Extraída de (American Society for Testing and Materials (ASTM), 2004; Domingo, (2001)).

En cuanto a la corrección de las muestras por presencia de armadura esta investigación se basó en un artículo publicado por Revuelta Crespo & Gutiérrez Jiménez (2009), el cual dice que al menos el 5% de la resistencia se ve afectada por las barras de acero, que en ciertos casos al extraer las muestras es inevitable su presencia. Por lo

tanto, se propuso el factor que se calcula con la ecuación que se presenta a continuación:

$$K = \left[1 + 1.5 \times \sum_i \left(\frac{\phi_{bi}}{\phi_t} \times \frac{h_i}{L} \right) \right] \quad (2)$$

Donde:

K: coeficiente de corrección por presencia de acero

ϕ_{bi} : diámetro de la varilla

ϕ_t : diámetro de la muestra

h_i : distancia del eje de la barra al extremo más cercano de la muestra

L: número de barras embebidas

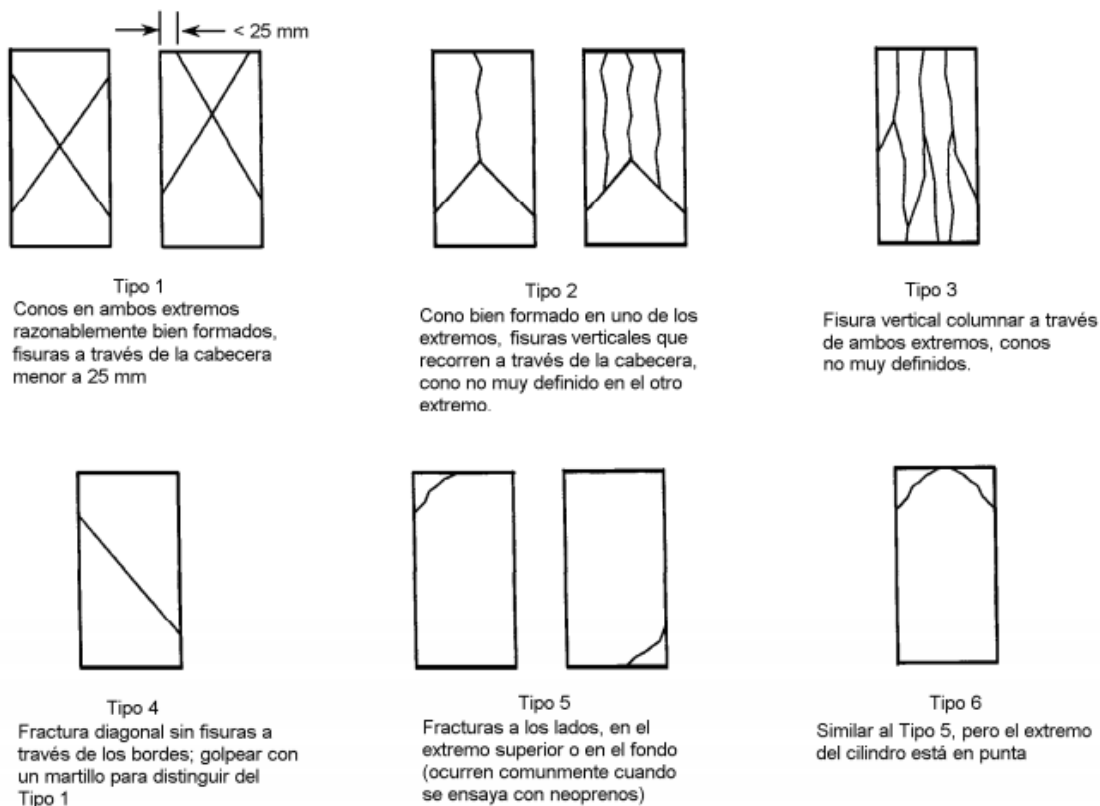
Adicional es importante resaltar que de acuerdo con la norma ACI 228.1R-03 In-Place Methods to Estimate Concrete Strength se deben tomar tres muestras del área de prueba donde se va a extraer los núcleos de hormigón.

Los resultados del ensayo a compresión generalmente son utilizados para determinar si el hormigón cumple con la resistencia descrita en las especificaciones técnicas. Además, con este ensayo se cubre lo que es control de calidad, aceptación del hormigón a utilizar o que fue utilizado en la construcción de un elemento, etc.

Y por último se puede observar el tipo de falla que presente la muestra ya que existen diferentes tipos como se observa en la figura 5.

Figura 5

Esquema de los modelos típicos de fractura



Nota. Tomada de (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010).

Procedimiento del ensayo

1. Al momento de realizar la extracción de núcleos estos deberán ser de una altura mayor al diámetro para poder cortarlas en el laboratorio y cumplan con la relación antes mencionada, además, los especímenes se deberán guardar dentro de una funda para mantener su humedad y deberán tener una etiqueta o nombre.

Figura 6

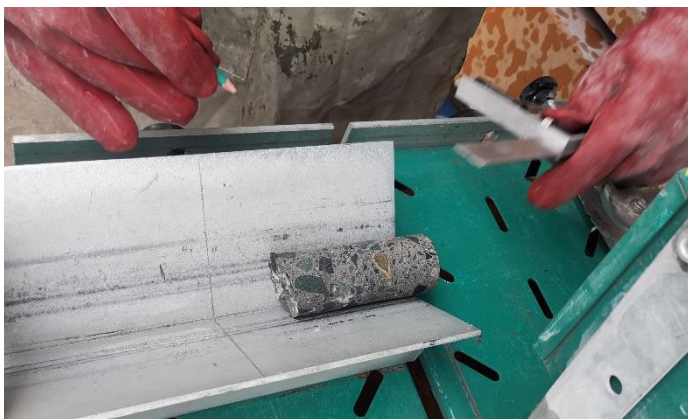
Muestras en laboratorio antes de ser cortadas



Nota. Muestras extraídas del proyecto hidroeléctrico Toachi Pilatón. Una vez las muestras se encuentren en el laboratorio y hayan sido cortadas, se las pesará a cada una y también se medirá el diámetro y altura a todas las muestras.

Figura 7

Corte de muestra para que cumpla la relación dos veces el diámetro



2. Se realizará el refrentado en base a la norma NTE INEN 2649 a todos los especímenes cilíndricos, como se puede observar en la figura 8.

Figura 8

Refrentado de núcleos extraídos del proyecto hidroeléctrico Toachi Pilatón



Nota. Para el refrentado se utilizó azufre con el propósito de obtener una superficie plana.

3. Al terminar todos los pasos mencionados se deberán llevar las muestras a la máquina de compresión.

Figura 9

Muestra en la máquina de compresión



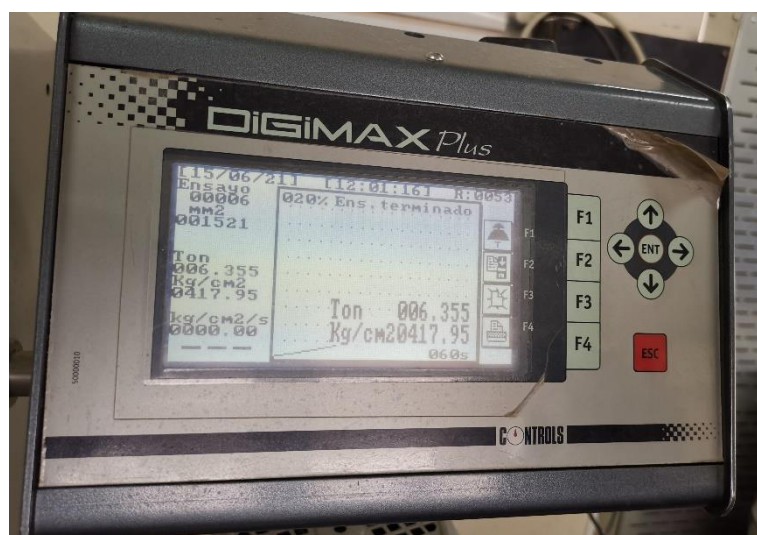
Nota. La muestra debe encajar de forma casi perfecta en la máquina.

4. Después de colocar la muestra, en la maquina se debe introducir los datos del cilindro, el peso, diámetro y altura, verificar las unidades con las que se debe trabajar para evitar errores.

5. Se debe verificar antes de encender la máquina que el indicador de carga este en cero.
6. En la máquina que se utiliza en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE se puede apreciar la curva de la resistencia de hormigón, esta va creciendo hasta que llega al punto de fallo y es entonces cuando se debe parar la máquina, y se procederá a la toma de resultados.

Figura 10

Resultados de la compresión en una muestra



Ensayos no destructivos

El uso de pruebas no destructivas en varias ramas de la ingeniería se viene realizando desde mucho tiempo atrás. En lo que respecta a su aplicación relacionada con la construcción, su uso se está volviendo cada vez más común en el estudio de estructuras de hormigón, principalmente debido a su mínimo impacto en su desempeño.

Las situaciones en las que se pueden utilizar los ensayos no destructivos para el hormigón son muy diversas, por lo tanto, pueden aplicar para estructuras que están en etapa de construcción como a estructuras más antiguas que están en etapa de servicio.

Para Domingo (2001), los ensayos no destructivos se definen como un conjunto de técnicas que están destinadas para la inspección o estudio de un material o una pieza fabricada con él, sin dañarlo o comprometiendo su integridad y su futura utilización, debido a que son pruebas relativamente simples y rápidas, lo cual posibilita realizar con ellas un gran número de estimaciones.

Los ensayos no destructivos cuya finalidad es la de establecer las propiedades del hormigón son los siguientes:

- Esclerométricos
- Ultrasonidos
- Resistividad del hormigón o electroquímicos de corrosión.

A continuación, se detalla el ensayo no destructivo que se realizó en el proyecto.

Ensayos esclerométricos

Este ensayo permite determinar la dureza superficial del hormigón, con la que se puede inferir la resistencia mecánica del hormigón. Se usa comúnmente el esclerómetro tipo Schmidt, el cual es un vástago que contiene una masa que se desplaza en su interior por efecto de un resorte que genera el movimiento. La masa golpea contra un retén dentro del esclerómetro con una cantidad de energía que se transmite a la superficie del hormigón sufriendo una deformación elastoplástica. El hormigón luego de recuperarse de la deformación elástica, hace que la masa rebote y esta con su movimiento empuja una aguja sobre una escala debidamente graduada, donde se registra el índice de rebote (Ercolani, N.F, & L, 2007).

Figura 11

Esclerómetro



Este método se puede aplicar en las siguientes áreas:

- Estimación de la resistencia del hormigón "in situ".
- Estudio de la homogeneidad de un hormigón.
- Comparación de la calidad de un hormigón con otro de referencia, cuya calidad se conoce por otros medios; por ejemplo, rotura de probetas.

Este ensayo es una de los más difundidos en Ingeniería Civil, siendo relativa la calidad de sus resultados, debido a diversos motivos. Existen algunas correlaciones empíricas que se encuentran establecidas entre el índice esclerométrico y la resistencia a compresión de los hormigones son modificadas por ciertos factores (Néstor & Marianela, 2007).

A continuación, se presentan algunos factores que influyen en el índice de rebote.

- Presencia de una piedra o un vacío.
- El ángulo de aplicación.
- La dosificación del hormigón (Relación agua/cemento).
- Carbonatación de la superficie.
- Tipo de agregado.
- Humedad.
- Edad del hormigón.
- Tipo de cemento.

- Uso de desencofrantes.
- Forma, rigidez y textura.

Figura 12

Ensayo esclerométrico



Nota. Aplicación del esclerómetro en la superficie a ensayar con su respectiva cuadrícula.

Se debe aclarar que este método es para estimar la resistencia del hormigón, el valor que proporciona el equipo en función del índice de rebote debe ser usado únicamente como un indicador referencial en diferentes lugares de la estructura. Siempre que se usa este método se tiene que establecer una correlación entre la resistencia y el índice de rebote para una determinada mezcla de hormigón y un esclerómetro específico. En este trabajo en cada uno de los sectores que se realizó el estudio se aplicaron 12 golpes, en una cuadrícula de 3x4, despreciándose el mínimo y el máximo de las mediciones, y para el promedio final se contó con 10 valores. Esto se hace debido a que la norma NTE INEN 3121 expresa que se debe tomar al menos 10 lecturas de cada área de prueba.

Acero en estructuras hidráulicas

Entre las principales ventajas que ofrece el acero están su alta resistencia, ductilidad, durabilidad. La ductilidad puede ser la más importante ya que permite soportar grandes deformaciones sin llegar al punto de fallo soportando grandes esfuerzos de tensión. Además, otras de las características es que son fáciles de soldar, fácil de moldear, por ejemplo, al momento de realizar un estribo, lo que permite que se adapte a cualquier proyecto estructural, en este caso el acero de refuerzo que se utiliza para construir la presa podrá ser varillas corrugadas y sus diámetros dependerán del cálculo estructural realizado por el ingeniero especialista en este tipo de estructuras.

Otra de las funciones principales del acero en una presa es proteger la infraestructura, como puede ser mediante planchas para revestir el hormigón donde el agua pasa con una alta presión y velocidad, un ejemplo de esto es el proyecto Toachi Pilatón

Figura 13

Desagüe de fondo



Soldadura

De acuerdo con Sanz Moro (2021), la soldadura es un proceso donde se unen dos o más piezas de un material usualmente metales, logrado a través de la fusión. Se puede agregar un material de relleno, que al exponerse a una temperatura alta forma un charco de material fundido entre las piezas a soldar, y al enfriarse se convierte en una unión fija a la que se denomina cordón.

Un excelente cordón de suelda depende de los electrodos, voltaje y diferentes materiales.

Según la investigación realizada por Reyes Bermúdez (2020), la soldadura por arco eléctrico es una de las más utilizadas en Ecuador.

Ensayo de tintas penetrantes

Este es un ensayo no destructivo que consiste en la aplicación de un líquido que penetra por capilaridad en la suelda, adhiriéndose a las partes que tienen fallas como puede ser grietas o poros, etc.

Los materiales que se requieren para realizar este tipo de ensayo son los siguientes:

- Tinta penetrante
- Limpiador
- Revelador
- Paños de limpieza de cocina
- Cepillo de cerdas para metales
- Guantes

Procedimiento para realizar el ensayo

1. Limpiar el área a realizar el ensayo con un cepillo de cerdas metálicas para eliminar el óxido, corrosión o cualquier otra suciedad.

Figura 14

Limpieza del área a ensayar



2. Aplicar el líquido limpiador hasta que no exista rastros de oxido.

Figura 15

Aplicación de limpiador adquirido en Testek Ecuador



Se aplica el limpiador e inmediatamente se frota con paños hasta que no se presenten manchas en la servilleta.

Figura 16

Paño libre de manchas de oxido



3. Aplicar la tinta penetrante en toda el área de soldadura establecida, por un tiempo determinado, puede variar de 10 a 15 minutos.

Figura 17

Tinta penetrante en cordón de suelda horizontal



4. Retirar el exceso de la tinta penetrante con paños aplicando un poco de líquido limpiador.
5. Aplicar el líquido revelador y esperar un determinado tiempo para que se seque.

Figura 18

Colocación del revelador



Nota. Agitar antes de ser usado.

6. Observar los resultados del ensayo. Las imperfecciones aparecen marcadas de forma clara y exacta a lo largo de la pieza a examinar, la observación se hará bajo la luz natural apareciendo puntos rojos en las zonas con imperfecciones.

Figura 19

Revelador seco



Nota. Hay casos en los que tal vez no se limpió de la manera correcta y puede dar un resultado erróneo.

Propiedades de los hormigones en proyectos similares

La resistencia del hormigón que se adopta para una estructura depende del diseño de la misma, es decir se realiza un análisis de los esfuerzos máximos a tracción y compresión y una vez obtenidos estos resultados se escoge la resistencia del hormigón. Las presas de hormigón a gravedad transmiten los esfuerzos hacia el suelo y no hacia las paredes, por lo que es un aspecto importante que hay que prestar atención al momento de realizar el diseño estructural.

Tabla 2

Características de proyectos hidroeléctricos nacionales e internacionales

| Nombre del proyecto | Ubicación | Parte de la presa | Resistencia del hormigón (kg/cm ²) | Módulo de elasticidad (kg/cm ²) | Año de inauguración | Información adicional |
|------------------------------|-----------|--------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hidroeléctrica Huaynamango | Perú | Cuerpo de la presa | 230 | 227486 | - | <ul style="list-style-type: none"> • Presa a gravedad • Dimensiones: altura de 32.50m y corona de 3.00m. |
| | | Corona | 230 | 227486 | | |
| Proyecto Minas-San Francisco | Ecuador | Cuerpo de la presa | 140 | 203943 | 2019 | <ul style="list-style-type: none"> • Presa hormigón a gravedad rodillado. • Dimensiones: altura 80m medida desde la cimentación. • Posee tres vertederos y dos desagües de fondo. Características y propiedades del material: |

| Nombre del proyecto | Ubicación | Parte de la presa | Resistencia del hormigón (kg/cm ²) | Módulo de elasticidad (kg/cm ²) | Año de inauguración | Información adicional |
|-------------------------|-----------|--------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | | | | <ul style="list-style-type: none"> Composición: 65 kg/m³ de cemento más 32 kg/m³ de puzolana. Esfuerzos a tensión máximos de 1.10 a 1.30 MPa. <p>Basado en el diseño de presas de la USACE.</p> |
| Hidroeléctrica Miel I | Colombia | Cuerpo de la presa | 215 | 219943 | 2003 | <ul style="list-style-type: none"> Presa de hormigón a gravedad rodillado. Dimensiones: altura de 188m y longitud de corona 340m. Posee un vertedero para desbordamiento. <p>Características y propiedades del material:</p> <ul style="list-style-type: none"> El cemento utilizado fue portland tipo II. Diferente contenido de cemento de acuerdo a los niveles de diseño de esfuerzos. |
| Hidroeléctrica Porce II | Colombia | Cuerpo de la presa | 250 | 237171 | 2001 | <ul style="list-style-type: none"> Presa a gravedad en concreto compactado |

| Nombre del proyecto | Ubicación | Parte de la presa | Resistencia del hormigón (kg/cm ²) | Módulo de elasticidad (kg/cm ²) | Año de inauguración | Información adicional |
|---------------------------|-----------|-------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | | | | <p>con rodillo.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones: altura de 118m y longitud de cresta de 445m. <p>Características y propiedades del material:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tamaño máximo el agregado 50 mm. • Contenido mínimo de material cementante de 220 kg/cm³. |
| | | Pila central | 350 | 2,78056.0 | | <ul style="list-style-type: none"> • Presa a gravedad de hormigón convencional vibrado y rodillado. |
| Hidroeléctrica Manduriacu | Ecuador | Zócalo inferior | 180 | 199404.1 | 2015 | <ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones: altura 61.4m • Durabilidad y calidad del hormigón indicados en el código ACI 318. |

Nota. Extraído de (Bustamante Vásquez, 2017); (Aguiar & Moreno, 2012); (Moreno Brito, 2012); (Minergía); (Lanzafame).

Capítulo III

Información del proyecto

El Proyecto Hidroeléctrico Toachi Pilatón se encuentra ubicado en las provincias de Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas y Cotopaxi, y tiene 254.40 MW de potencia. La hidroeléctrica aprovecha el potencial de los ríos Toachi y Pilatón, con un caudal medio anual de $41.30 \text{ m}^3/\text{s}$ y $28.65 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente, utilizables para su generación aportando una energía media de 1120 GWh/año (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2021).

Toachi Pilatón comprende dos aprovechamientos en cascada. El aprovechamiento Pilatón-Sarapullo, con la central de generación Sarapullo que se encuentra conformada por obras de toma, un azud vertedero y un desarenador de cuatro cámaras, la conducción se la efectúa a través de un túnel de 5.9 km de sección circular que transporta el caudal a la casa de máquinas subterránea prevista de 3 turbinas tipo Francis de eje vertical de 16.3 MW de potencia que aprovecha una caída de 149 m. El aprovechamiento Toachi-Alluriquín consta de una presa de hormigón a gravedad de aproximadamente 60 m de altura, sobre el río Toachi, atravesada por la galería de interconexión del túnel de descarga de Sarapullo con el túnel de presión Toachi-Alluriquín, la conducción de las aguas captadas en este aprovechamiento se la efectúa a través de un túnel que tiene una longitud de 8.7 km de sección circular que transporta el caudal a la casa de máquinas subterránea y que está prevista de 3 turbinas Francis de eje vertical de 68 MW, aprovechando una caída de 235 m. A pie de presa de la central se ubica una minicentral de 1.4 MW (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2021).

Figura 20

Esquema del proyecto hidroeléctrico Toachi Pilatón



Nota. Tomado de (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2021)

Presa Toachi

Es una presa a gravedad de hormigón, la longitud del eje es más o menos 170.5m, la cota de la cresta de la presa es de 973.0m, la cota máxima de la presa es de 59.0m, el ancho máximo inferior es de 56.0m, la relación del talud aguas arriba es 1:0.3, la relación del talud aguas abajo es de 1:0.7 (V:H). La presa tiene dos desagües de fondo, la cota de la solera en la entrada es de 927.0m, la sección de desagüe es de 8.0m x 8.0m, existen dos aberturas en la superficie del azud vertedero, la cota de la cresta del azud vertedero es de 962.5m, la sección de esta es 14.0m x 9.0m (ancho x altura). La presa contiene hormigón de 280 kg/cm², dentro de la presa se ubican las galerías perimetrales, la galería de control, la galería de control de la compuerta radial para el fondo de desagüe y la galería de interconexión, entre otras.

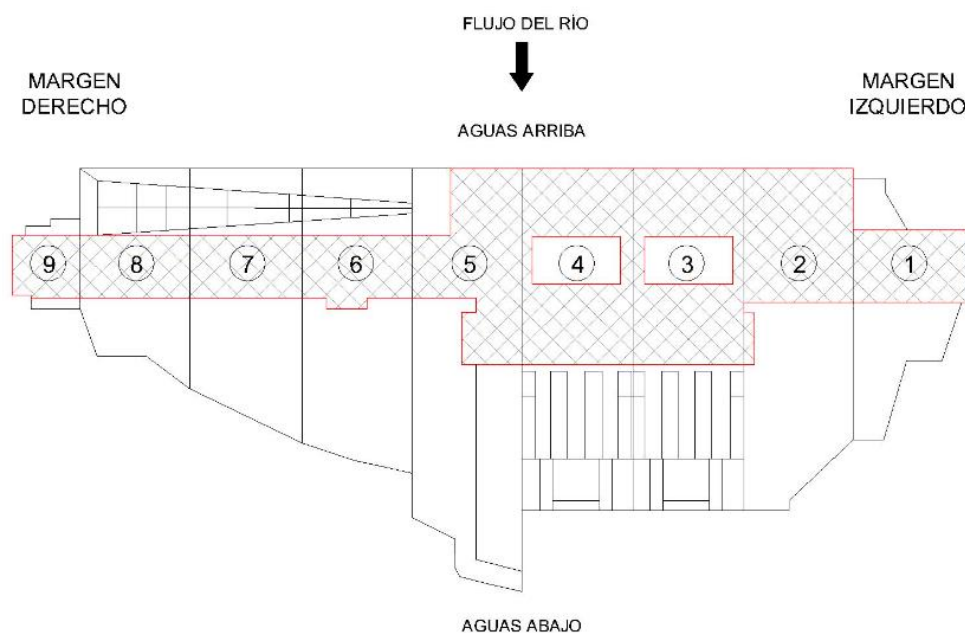
Construcción de la presa Toachi

Para construir este tipo de presas lo primero que se debe realizar es una limpieza de la vegetación y la tierra a continuación, se debe excavar hasta encontrar un suelo firme. Para fundir el hormigón se debió observar el tipo de suelo y la inclinación del mismo dependiendo de esto se realiza bermas o terrazas, con esto se logra una buena adherencia al suelo.

La presa del Toachi Pilatón se construyó en bloques principales separados, en total son 9 de un estribo al otro, todo esto estructuralmente firme para soportar las grandes presiones (CELEC, 2018).

Figura 21

Detalle de los nueve bloques del proyecto



Nota. La corona de la presa en los planos realizados por la empresa China Internacional Water & Electric Corp. Ecuador de aquí en adelante CWE, divide a la presa en nueve bloques.

Mini Central Toachi

En el bloque 5 de la presa (ver figura 21) se encuentra la casa de máquinas de la pequeña central de 1.4 MW ubicada en el pie de la presa, trabaja gracias al caudal ecológico del río Toachi de $4.13 \text{ m}^3/\text{s}$ y consta de una turbina tipo Francis de eje vertical que aprovecha la altura del embalse de 41 m (CELEC, 2018).

Vertederos de excesos

El proyecto cuenta con dos vertederos ubicados en el bloque 3 y 4 y su punto más alto de acuerdo con los planos proporcionados por CELEC está en la cota 962.50 msnm, controlados por compuertas radiales accionadas por servomotores. La descarga de los vertederos se realiza por medio de saltos de esquí que tienen su labio en la cota 942,25 msnm; al final se construyó deflectores que permitirán airear los chorros y lograr disipar la energía en el aire antes de caer al estanque dispuesto aguas abajo de la presa (CELEC, 2018).

Desagües de fondo

La presa cuenta con dos desfuegos ubicados en los bloques 3 y 4, debajo de los vertederos de excesos. La cresta de los desagües se encuentra en la cota 927,00 msnm. Los dos desagües de fondo tendrán capacidad para descargar hasta $500 \text{ m}^3/\text{s}$, libres de sumersión, en el estanque aguas abajo de la presa (CELEC, 2018).

Túnel de presión Toachi-Alluriquín

Inicia al final de la galería de interconexión en la cota 952 msnm, y transportan las aguas provenientes del embalse de la presa Toachi más las aguas descargadas de la central Sarapullo hasta la central Alluriquín, mediante un túnel de 8,75 km de longitud hasta el inicio de la tubería de presión blindada por acero, con una sección libre circular de 5,60 m de diámetro con un recubrimiento de 0,30 m de hormigón con acero de refuerzo, para transportar un caudal máximo de $100 \text{ m}^3/\text{s}$ (CELEC, 2018).

Datos proporcionados por CELEC

El ingeniero a cargo del proyecto facilitó información importante para el desarrollo de la investigación planteada. Se obtuvieron documentos de especificaciones técnicas generales y particulares, memoria de cálculo del túnel de carga Toachi-Alluriquín, memoria de cálculo del análisis estático y dinámico de la represa Toachi y planos de la presa Toachi vista en planta y corte.

Para un mejor trabajo se requería información del libro de obra, distribución del acero de la presa, planos estructurales de la presa Toachi, informes de los ensayos realizados por Fiscalización y memoria de cálculo de la presa, etc. Estos documentos mencionados no se pudieron obtener debido a que es información confidencial de CELEC y no puede ser compartida con facilidad, y en algunos casos no contaban con los documentos debido al cambio de empresas en los últimos años.

Determinación de la resistencia del hormigón

El análisis estructural presentado en la memoria de cálculo implementó un análisis estático y dinámico de la presa que permite determinar los esfuerzos máximos a tracción y compresión del hormigón.

Para la condición estática, la compresión máxima es 2.9 MPa y la tensión máxima es 0.10 MPa.

Para la condición dinámica los esfuerzos de compresión máximos aumentan hasta un valor de 11 MPa y los esfuerzos de tracción máximos hasta 3.5 a 4.0 MPa.

El estudio del estado de esfuerzos estimado es compatible con el hormigón C-280 (resistencia a la compresión característica de 28 MPa a los 90 días) definido en las especificaciones técnicas. Para un hormigón C-280 se puede asumir que la resistencia a la tracción dinámica alcanza los 4.2 MPa. Por ende, los esfuerzos a la tracción estimados de 4.0 MPa en las caras de la presa son determinantes para la selección de

la clase de hormigón. En la parte interna de la presa se podría utilizar un hormigón menos resistente.

Capítulo IV

Evaluación de las características técnicas del hormigón

Se decidió realizar ensayos de extracción de núcleos y esclerométricos para analizar las características técnicas del hormigón de la Hidroeléctrica Toachi Pilatón, para lo cual se necesitó realizar una capacitación para el correcto uso de los equipos, y posteriormente solicitar los equipos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, para realizar extracción de núcleos y ensayos esclerométricos.

Extracción de núcleos

El día jueves 10 y viernes 11 de junio de 2021 se realizaron ensayos en el Proyecto Toachi Pilatón. El primer día de visita se realizaron 10 extracciones de núcleos, seis en la corona de la presa y cuatro en el talud derecho de la presa vista aguas abajo.

Figura 22

Ubicación donde se realizó la extracción de núcleos



Nota. Adaptada de (Proyecto Hidroeléctrico Toachi Pilatón -CWE-, 2016)

El equipo utilizado para este ensayo es el extractor de núcleos o saca muestras como se puede ver en la figura 23, con sus respectivos accesorios como son: bomba de vacío, brocas y herramienta menor.

Figura 23

Extractor de núcleos



Nota. Este extractor sirve para tomar muestras en sentido vertical y horizontal.

Para la toma de muestras en campo, lo esencial para usar el equipo es tener una cantidad constante de agua para que al momento de insertar la broca esta no se rompa. Cabe recordar que este tipo de ensayo es destructivo por lo que después de haber tomado la muestra se debe tapar el agujero con un mortero de buena resistencia, en este caso se utilizó sika grout que es un mortero expansivo para relleno y anclaje de maquinaria.

El extractor de núcleos que se utilizó necesita 110 V, por consiguiente, para realizar este tipo de ensayo se debe asegurar que haya una fuente de energía caso contrario se deberá contar con una planta eléctrica. Después de verificar todo lo mencionado se realiza la extracción como se puede ver en la figura 24.

Figura 24

Extracción de núcleos en la corona de la presa



Nota. Al momento de sacar la muestra se puede utilizar un desarmador para que se rompa la parte de abajo que sigue unida.

Figura 25

Extracción de núcleos en talud margen derecho (vista aguas abajo)








A continuación, en la tabla 3 se presenta las muestras tomadas en la corona de la presa y en la tabla 4 están las muestras tomadas en el talud. Adicional durante la visita se pudo obtener dos muestras de cilindros tomados en obra que se muestran en


la tabla 5, la desventaja de los cilindros tomados es que se desconoce la ubicación exacta de donde se utilizó el hormigón de los especímenes a ensayar, lo que se puede acotar es que estos cilindros fueron encontrados en el pie de la presa.

Tabla 3

Muestras tomadas en la corona de la presa



| Muestras | Ubicación | Imagen |
|-----------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| M-1 | Bloque 8 |  |
| M-2 | Bloque 7 |  |



| Muestras | Ubicación | Imagen |
|----------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| M-3 | Bloque 6 |  A cylindrical concrete sample, approximately 10 cm in diameter and 15 cm high. The surface is grey and textured. A white number '3' is hand-painted on the front. The top edge is slightly irregular. It is placed on a light-colored concrete surface against a dark background with a white grid. |
| M-4 | Bloque 5 |  A cylindrical concrete sample, similar in size to M-3. The surface is grey and textured. A white number '4' is hand-painted on the front. The top edge is slightly irregular. It is placed on a light-colored concrete surface against a dark background with a white grid. |
| M-5 | Bloque 2 |  A cylindrical concrete sample, similar in size to M-3. The surface is grey and textured. A white number '5' is hand-painted on the front. The top edge is slightly irregular. It is placed on a light-colored concrete surface against a dark background with a white grid. |

| Muestras | Ubicación | Imagen |
|----------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| M-6 | Bloque 1 |  A vertical cylindrical concrete sample, likely a core or test specimen. The surface is rough and grey, showing some internal structure and small dark spots. A white handwritten number '6' is visible on the side. The sample is standing on a light-colored, textured surface, possibly a concrete slab or a similar material. The background is dark and out of focus. |

Nota. Muestras antes de ser cortadas.

Tabla 4*Muestras tomadas en el talud derecho*

| Muestras | Ubicación | Imagen |
|-----------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| M-7 | Talud |  A cylindrical soil sample, approximately 5 cm in diameter and 10 cm high, with a rough, greyish-brown surface. It has several white, irregular markings on its side, including a horizontal line near the top and a vertical line extending downwards. |
| M-8 | Talud |  A cylindrical soil sample, similar in size and color to M-7, with a rough, greyish-brown surface. It features two prominent white circular markings on its side, one above the other, resembling the number '8'. |



| Muestras | Ubicación | Imagen |
|----------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| M-9 | Talud |  A cylindrical concrete sample, approximately 10 cm high and 4.4 cm in diameter. The surface is grey and textured. A white number '9' is painted vertically on the side. The top edge is slightly irregular. |
| M-10 | Talud |  A cylindrical concrete sample, similar in size to M-9. The surface is grey and textured. A white number '10' is painted vertically on the side. The top edge is slightly irregular. |

Nota. Muestras antes de ser cortadas, talud derecho vista aguas abajo.

Para las muestras de las tablas 3 y 4 se utilizó una broca de diámetro 4.4 centímetros, se optó por este diámetro debido a que es complejo obtener permisos por parte de la empresa para realizar perforaciones de mayor diámetro, mientras menos invasivo sea el ensayo es mejor para los representantes del proyecto.

En la tabla 5 se presentan los cilindros que se encontraron en el pie de la presa, se asume que son cilindros de hormigones que se utilizaron para inyecciones en la presa, aunque se desconoce la ubicación exacta.

Tabla 5*Especímenes cilíndricos*

| Muestras | Ubicación | Imagen |
|-----------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| M-11 | Pie de la presa |  |
| M-12 | Pie de la presa |  |

Resultados de los ensayos a compresión

Una vez las muestras en el laboratorio se realizan los cortes y el refrentado como se explicó en el capítulo 2 y se procede a ensayar, obteniendo los siguientes resultados:

Resultados corona de la presa

A continuación, se presentan los resultados en el formato proporcionado por el laboratorio de suelos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Tabla 6

Resultados del ensayo a compresión

| Muestra No. | Fecha extracción | Fecha rotura | Peso de la probeta (g) | Dimensiones | | | Área probeta (cm ²) | Volumen probeta (cm ³) | Peso volumétrico (g/cm ³) | Carga (kg) | Factor por esbeltez | Factor por presencia de armadura | Resistencia compresión | |
|-----------------|------------------|--------------|------------------------|-------------|---------------|--------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|------------|---------------------|----------------------------------|------------------------|-------|
| | | | | Altura (cm) | Diámetro (cm) | Relación L/D | | | | | | | (kg/cm ²) | (MPa) |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| M-1 | 10/06/21 | 15/06/21 | 337.53 | 9.1 | 4.4 | 2.07 | 15.21 | 138.37 | 2.44 | 5174 | 1.000 | - | 340.28 | 33.37 |
| M-2 | 10/06/21 | 15/06/21 | 298.90 | 8.1 | 4.4 | 1.84 | 15.21 | 123.16 | 2.43 | 6355 | 0.987 | - | 412.60 | 40.46 |
| M-3 | 10/06/21 | 15/06/21 | 333.80 | 9.0 | 4.4 | 2.05 | 15.21 | 136.85 | 2.44 | 5874 | 1.000 | - | 386.31 | 37.88 |
| M-4 | 10/06/21 | 15/06/21 | 329.43 | 9.0 | 4.4 | 2.05 | 15.21 | 136.85 | 2.41 | 6731 | 1.004 | - | 444.45 | 43.59 |
| M-5 | 10/06/21 | 15/06/21 | 300.70 | 8.1 | 4.4 | 1.84 | 15.21 | 123.16 | 2.44 | 4930 | 0.987 | - | 320.08 | 31.39 |
| M-6 | 10/06/21 | 15/06/21 | 335.54 | 9.0 | 4.4 | 2.05 | 15.21 | 136.85 | 2.45 | 3953 | 1.000 | - | 259.97 | 25.50 |
| Promedio | | | | | | | | | | | | | 360.61 | 35.36 |

Nota. Para determinar el factor por esbeltez de valores intermedios de la tabla 1 se debe interpolar.

La interpolación se la realiza cuando no se tiene valores exactos a los mostrados en la tabla 1, por ejemplo, con la muestra 2 se tiene una relación L/D de 1.84, entonces se realiza el siguiente calculo:

$$\frac{2.00 - 1.75}{1.84 - 1.75} = \frac{1.00 - 0.98}{x - 0.98}$$

$$x = 0.9872$$

Donde:


x: es el factor por esbeltez




Este cálculo se lo realiza con las muestras que lo necesiten.



De acuerdo con la norma INEN 1573 (ver figura 5), se tienen los siguientes tipos de falla, después de haber realizado el ensayo a compresión.

Tabla 7

Tipos de fractura en las muestras ensayadas de la corona de la presa

| Muestra | Ubicación | Imagen | Tipo de Falla |
|---------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| M-1 | Bloque 8 |  | Tipo 2 |

| Muestra | Ubicación | Imagen | Tipo de Falla |
|---------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| M-2 | Bloque 7 |  | Tipo 3 |
| M-3 | Bloque 6 |  | Tipo 3 |
| M-4 | Bloque 5 |  | Tipo 5 |

| Muestra | Ubicación | Imagen | Tipo de Falla |
|---------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| M-5 | Bloque 2 |  A cylindrical concrete specimen with a yellow cap and base. It shows a prominent vertical crack running down the center, with some surface spalling and discoloration. | Tipo 3 |
| M-6 | Bloque 1 |  A cylindrical concrete specimen with a yellow cap and base. It shows a vertical crack and some surface damage, similar to specimen M-5. | Tipo 3 |

Resultados talud margen derecho (vista aguas abajo)

Se mantiene el formato antes mencionado proporcionado por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, en una de las muestras tomadas del talud se tuvo presencia de acero, para ser exactos una varilla de 6 mm que atravesaba el espécimen, para este caso se aplicó el factor de corrección por presencia de acero, utilizando la ecuación presentada en el capítulo 2.

Tabla 8



Resultados del ensayo a compresión



| Muestra No. | Fecha extracción | Fecha rotura | Peso de la probeta (g) | Dimensiones | | | Área probeta (cm ²) | Volumen probeta (cm ³) | Peso volumétrico (g/cm ³) | Carga (kg) | Factor por esbeltez | Factor por presencia de armadura | Resistencia compresión | |
|-----------------|------------------|--------------|------------------------|-------------|---------------|--------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|------------|---------------------|----------------------------------|------------------------|-------|
| | | | | Altura (cm) | Diámetro (cm) | Relación L/D | | | | | | | (kg/cm ²) | (MPa) |
| M-7 | 10/06/21 | 15/06/21 | 199.91 | 5.7 | 4.4 | 1.30 | 15.21 | 86.67 | 2.31 | 6369 | 0.936 | - | 392.06 | 38.45 |
| M-8 | 10/06/21 | 15/06/21 | 249.86 | 7.1 | 4.4 | 1.61 | 15.21 | 107.96 | 2.31 | 7283 | 0.969 | - | 464.03 | 45.51 |
| M-9 | 10/06/21 | 15/06/21 | 324.25 | 9.1 | 4.4 | 2.07 | 15.21 | 138.37 | 2.34 | 7232 | 1.000 | - | 475.62 | 46.64 |
| M-10 | 10/06/21 | 15/06/21 | 312.86 | 8.5 | 4.4 | 1.93 | 15.21 | 129.25 | 2.42 | 7207 | 0.994 | - | 471.32 | 46.22 |
| Promedio | | | | | | | | | | | | | 402.86 | 39.52 |

Según la norma INEN 1573, las fallas que presentan las muestras al llegar al punto de fallo son las siguientes:

Tabla 9

Tipos de fractura en las muestras del talud

| Muestra | Ubicación | Imagen | Tipo de Falla |
|---------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| M-7 | Talud margen derecho |  | Tipo 3 |
| M-8 | Talud margen derecho |  | Tipo 3 |

| Muestra | Ubicación | Imagen | Tipo de Falla |
|---------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| M-9 | Talud margen derecho |  | Tipo 2 |
| M-10 | Talud margen derecho |  | Tipo 3 |

Resultados de cilindros de 30x15 cm (moldeados)

Para realizar el ensayo a compresión en cilindros moldeados el procedimiento a seguir es similar al de núcleos perforados descrito en el capítulo 2, la única diferencia es que a estos cilindros no es necesario realizar refrentado. Estos cilindros al no ser extraídos por perforación se pueden decir que fueron tomados como base para control de calidad de la dosificación del hormigón, también otra de las razones es para determinar si cumplen con las especificaciones técnicas, en las cuales se detallan los aditivos que se debieron usar, por lo tanto, sirven para verificar la eficacia del aditivo.

Tabla 10



Resultados de ensayo a compresión

| Muestra No. | Fecha extracción | Fecha rotura | Peso de la probeta (g) | Dimensiones | | | Área probeta (cm ²) | Volumen probeta (cm ³) | Peso volumétrico (g/cm ³) | Carga (kg) | Factor por esbeltez | Factor por presencia de armadura | Resistencia compresión | |
|-----------------|------------------|--------------|---------------------------|----------------|------------------|--------------|------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------|---------------|---------------------|----------------------------------|------------------------|-------|
| | | | | Altura (cm) | Diámetro (cm) | Relación L/D | | | | | | | (kg/cm ²) | (MPa) |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| M-11 | - | 15/06/21 | 12960.00 | 30.5 | 15.2 | 2.01 | 181.46 | 5534.48 | 2.34 | 94693 | 1.000 | - | 521.84 | 51.18 |
| M-12 | - | 15/06/21 | 12360.00 | 30.1 | 15.1 | 1.99 | 179.08 | 5390.27 | 2.29 | 101956 | 0.999 | - | 568.88 | 55.79 |
| Promedio | | | | | | | | | | | | | 545.36 | 53.48 |

Para los especímenes que no fueron obtenidos por extracción también se aplica la norma INEN 1573 para comparar el tipo de falla que ocurrió en la muestra.

Tabla 11

Tipos de fractura en los cilindros

| Muestra | Ubicación | Imagen | Tipo de Falla |
|----------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| M-11 | Pie de presa |  | Tipo 5 |
| M-12 | Pie de presa |  | Tipo 5 |

Determinación del número de rebote

Este ensayo se utiliza en hormigón endurecido manejando el martillo de acero impulsado por un resorte para estimar la resistencia de una estructura en sitio, esto se realizó en diferentes lugares de la presa como son en la corona, dentro de las galerías, en los vertederos y en ciertos lugares del talud donde la superficie no era muy rugosa, para realizar el ensayo se debe seguir el procedimiento descrito en la norma NTE INEN 3121. Los ensayos esclerométricos en la parte de la corona de la presa y en el talud, se realizaron cerca de donde se hizo la extracción de núcleos aproximadamente a 20 o 40 centímetros del agujero, con el objetivo de realizar una comparación entre los resultados de compresión simple y los resultados del esclerómetro.

Adicional se hicieron pruebas en el túnel Toachi-Alluriquín debido a que se tuvo un problema por compresión y presento desprendimiento de hormigón, más adelante se detallara este problema del túnel.



Figura 26



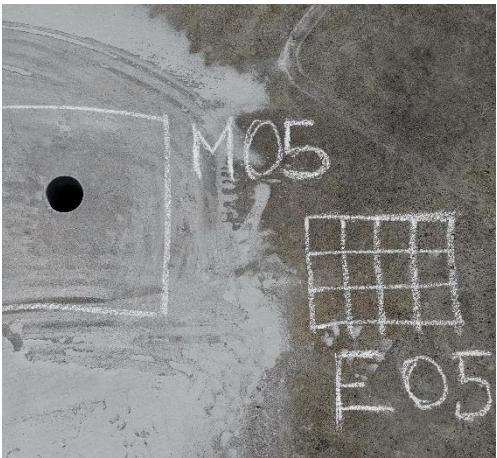
Demostración del ensayo con esclerómetro




Nota. Como se menciona en el capítulo 2 para el ensayo con el esclerómetro se realiza una cuadrícula para realizar un promedio.

Tabla 12*Ensayos esclerométricos en corona de la presa*

| Muestra | Ubicación | Imagen |
|---------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| E-01 | Bloque 8 |  |
| E-02 | Bloque 7 |  |

| Muestra | Ubicación | Imagen |
|---------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| E-03 | Bloque 6 |  A photograph of a wall with a white grid drawn on it. Above the grid, the text 'E03' is written in white. To the right of the grid, there is a small black hole. Below the grid, the text 'M03' is written in white. |
| E-04 | Bloque 5 |  A photograph of a wall with a white grid drawn on it. To the left of the grid, there is a small black hole. To the right of the grid, the text 'M04' is written in white. Below the grid, the text 'E04' is written in white. |
| E-05 | Bloque 2 |  A photograph of a wall with a white grid drawn on it. To the left of the grid, there is a small black hole. To the right of the grid, the text 'M05' is written in white. Below the grid, the text 'E05' is written in white. |

| Muestra | Ubicación | Imagen |
|---------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------|
| E-06 | Bloque 1 |  |

Las pruebas con el esclerómetro también se las realizó en uno de los vertederos de la presa (figura 27), aquí no se realizó extracción de núcleos por el difícil acceso con los equipos debido a esto se tomó la decisión de realizar ensayos con el esclerómetro, para estimar la resistencia del concreto ya que se considera un punto crítico al estar en constante contacto con el agua.



Figura 27

Vertedero ubicado en el bloque 3 de la presa



Tabla 13

Ensayos esclerométricos en el vertedero del bloque 3 de la presa

| Muestra | Ubicación | Imagen |
|----------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| E-07 | Vertedero/Pared |  |
| E-08 | Vertedero/Piso |  |

E-09 Vertedero/Piso



E-10 Vertedero/Pared





E-11 Vertedero/Piso



Posteriormente se realizaron las cuadrículas en el talud margen derecho vista aguas abajo, en este caso se hicieron dos pruebas con el esclerómetro, debido a que la superficie del talud era muy rugosa (ver imágenes de la tabla 12), incluso con la piedra abrasiva no se pudo obtener una superficie llana para realizar la práctica.

Tabla 14

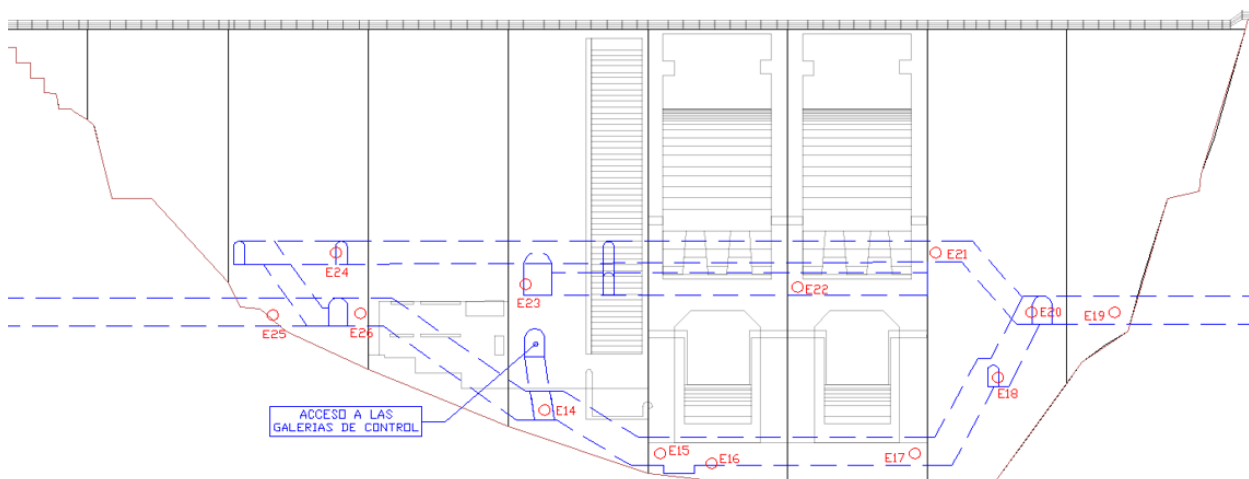
Ensayos esclerométricos en el talud margen derecho

| Muestra | Ubicación | Imagen |
|---------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| E-12 | Talud |  |
| E-13 | Talud |  |

Finalmente, dentro de la presa lo últimos ensayos con el esclerómetro que se realizaron fueron en las galerías en diferentes puntos como se muestra en la figura 29.

Figura 28

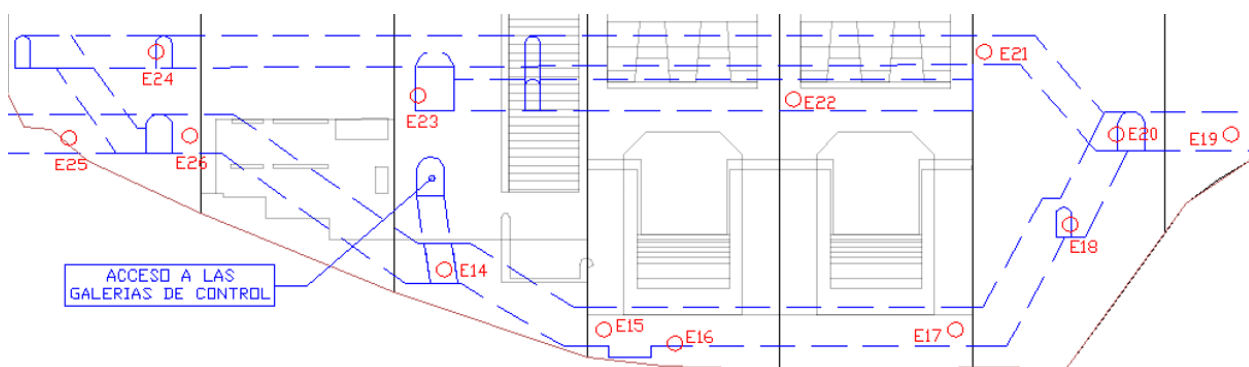
Detalle vista aguas debajo de la presa Toachi



A continuación, para que se pueda apreciar de mejor manera las galerías y los puntos donde se realizaron las pruebas con el esclerómetro se presenta un corte.



Figura 29

Detalle de las galerías y los puntos donde se realizaron las pruebas









Nota. La numeración de los círculos rojos representa los puntos y el orden en el que se realizaron los ensayos con el esclerómetro.

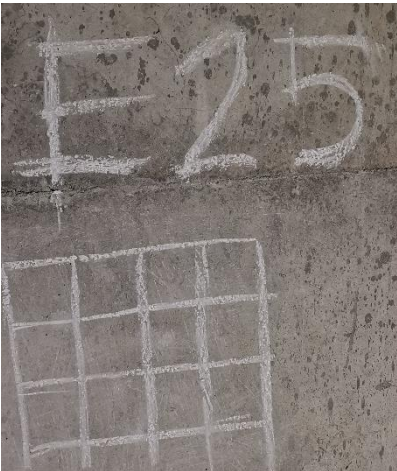

Tabla 15*Ensayos con el esclerómetro en las galerías*

| Muestra | Ubicación | Imagen |
|----------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| E-14 | Galerías/Pared |  |
| E-15 | Galerías/Pared |  |

| Muestra | Ubicación | Imagen |
|---------|----------------|--------|
| E-16 | Galerías/Piso | |
| E-17 | Galerías/Pared | |
| E-18 | Galerías/Pared | |

| Muestra | Ubicación | Imagen |
|---------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| E-19 | Galerías/Pared |  |
| E-20 | Galerías/Pared |  |
| E-21 | Galerías/Pared |  |

| Muestra | Ubicación | Imagen |
|---------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| E-22 | Galerías/Pared |  A photograph of a light-colored wall. At the top, the alphanumeric code 'E-22' is written in white. Below it, a white grid is drawn on the wall, consisting of three vertical lines and three horizontal lines, forming a 4x4 grid of squares. |
| E-23 | Galerías/Pared |  A photograph of a light-colored wall. A white grid is drawn on the wall, consisting of three vertical lines and three horizontal lines, forming a 4x4 grid of squares. Below the grid, the alphanumeric code 'E-23' is written in white. |
| E-24 | Galerías/Pared |  A photograph of a light-colored wall. A white grid is drawn on the wall, consisting of three vertical lines and three horizontal lines, forming a 4x4 grid of squares. Below the grid, the alphanumeric code 'E-24' is written in white. There are some dark, scratch-like marks on the wall around the grid. |

| Muestra | Ubicación | Imagen |
|---------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| E-25 | Galerías/Pared |  |
| E-26 | Galerías/Pared |  |

Resultados de los ensayos con el esclerómetro

Antes de presentar los resultados del esclerómetro se detallará brevemente las características del equipo que se utilizó.

Tabla 16

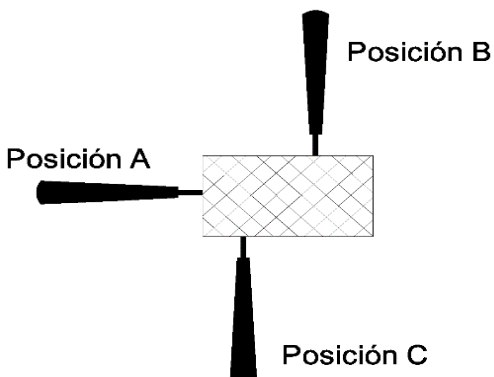
Características del esclerómetro

| | |
|--------------------|-----------------------|
| Fecha de la prueba | 11/06/2021 |
| Marca | MATEST S.p.A TREVIOLO |

| | |
|-------------------------|-----------------|
| Modelo | C380-01 |
| Serial N. | C380-01/AH/0053 |
| Orientación de martillo | Figura 24 |
| Fecha de calibración | Mayo 2021 |

Figura 30

Posiciones del esclerómetro



Nota. Estas posiciones vienen dadas en el esclerómetro que se utilizó, para entrar en una curva de acuerdo a la posición que se utilice.

Resultados corona de la presa

La resistencia especificada en los planos proporcionados por CELEC en la corona de la presa es de 350 kg/cm² y la característica de la superficie en donde se realizó el ensayo es seca y llana.

Tabla 17

Valores de rebote determinado por el esclerómetro en la corona de la presa

| Muestra | Posición | Valor de rebote | | | | | | | | | | | | Promedio | Resistencia a la compresión | | |
|---------|----------|-----------------|--------------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------|-----------------------------|--------|-------|
| | | PSI | kg/cm ² | MPa | | | | | | | | | | | | | |
| E-1 | B | 42 | 42 | 41 | 42 | 40 | 39 | 41 | 41 | 36 | 40 | 38 | 40 | 40.4 | 5600.0 | 393.72 | 38.62 |
| E-2 | B | 34 | 36 | 35 | 39 | 32 | 35 | 38 | 37 | 29 | 30 | 37 | 35 | 34.9 | 4500.0 | 316.38 | 31.03 |
| E-3 | B | 28 | 40 | 41 | 40 | 35 | 41 | 42 | 42 | 42 | 36 | 40 | 39 | 39.6 | 5500.0 | 386.69 | 37.93 |
| E-4 | B | 40 | 41 | 42 | 41 | 42 | 40 | 42 | 40 | 40 | 40 | 41 | 41 | 40.8 | 5750.0 | 404.27 | 39.66 |
| E-5 | B | 40 | 39 | 39 | 41 | 39 | 42 | 40 | 40 | 40 | 38 | 54 | 46 | 40.6 | 5700.0 | 400.75 | 39.31 |
| E-6 | B | 35 | 34 | 34 | 34 | 40 | 32 | 30 | 31 | 30 | 30 | 34 | 31 | 32.5 | 4000.0 | 281.23 | 27.59 |

Nota. Para realizar el promedio se eliminó el valor máximo y mínimo.

Figura 31

Resultado del ensayo esclerométrico y numero de muestras en la corona de la presa

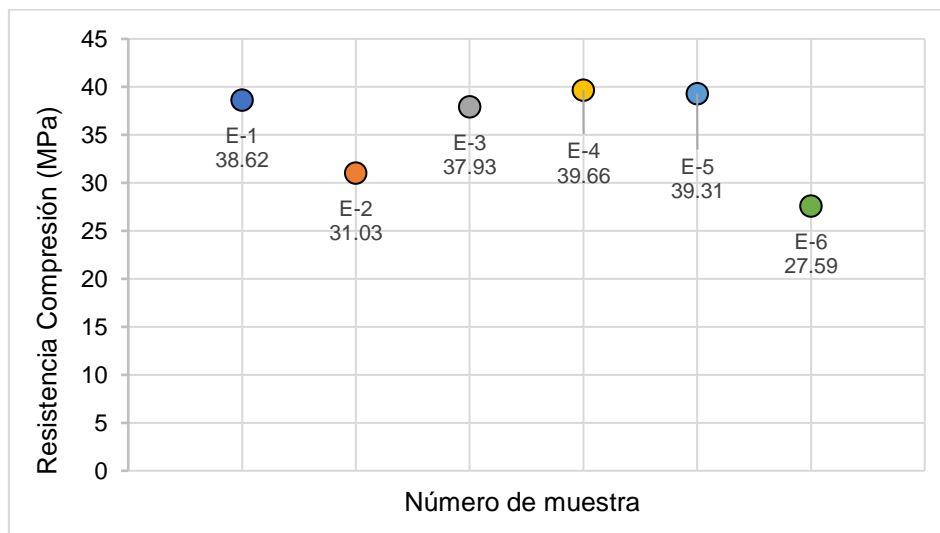
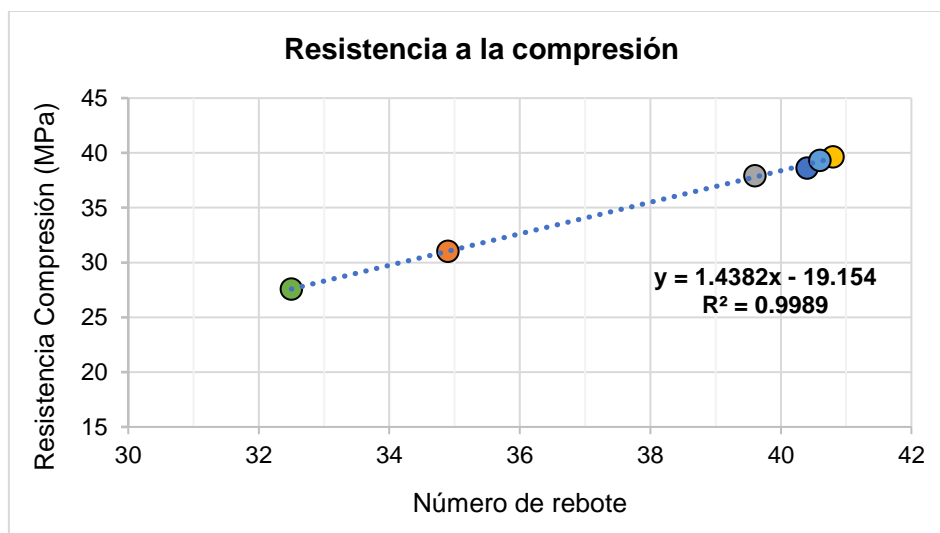


Figura 32

Correlación lineal de la resistencia a la compresión y numero de rebote en la corona de la presa



En la representación gráfica anterior se puede observar que los datos obtenidos por el esclerómetro tienen un coeficiente de determinación (R^2) de 0.9989 al aplicar una regresión lineal por ser la que mejor se ajusta a la tendencia de los datos. Lo que significa que cualquier medición hecha en este sector analizado tiene un 99.89% de probabilidades de caer dentro de la gráfica y es posible predecir su resistencia con la ecuación lineal: $f'c=1,4282x-19,154$.

El valor del coeficiente de determinación oscila entre 0 y 1, cuanto este se aproxime a 1 mayor será el ajuste del modelo que estamos realizando.

Resultados vertedero (Bloque 3)

La resistencia de los vertederos no se detalla en los planos ni en las especificaciones técnicas proporcionadas, pero durante las visitas al proyecto el Ingeniero a cargo mencionó que la resistencia de los vertederos debía ser mucho mayor que la corona de la presa es decir mayor a 350 kg/cm².

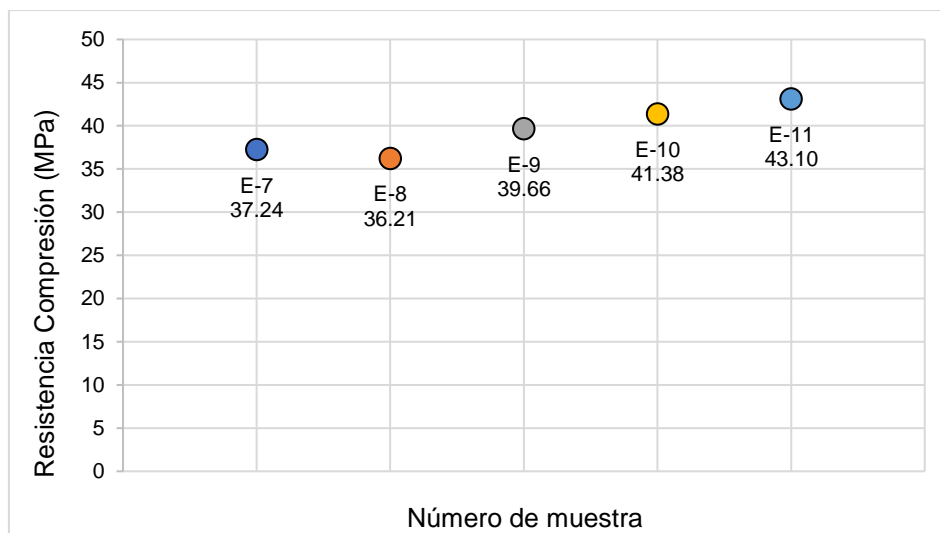
Tabla 18

Valor de rebote determinado por el esclerómetro en el vertedero bloque 3

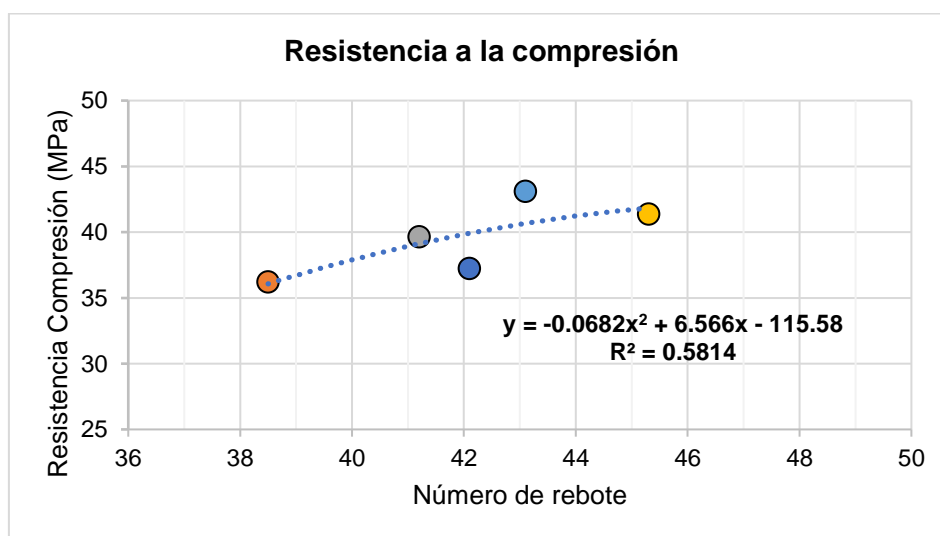
| Muestra | Posición | Valor de rebote | | | | | | | | | | | | Promedio | Resistencia a la compresión | | |
|-------------------------|----------|-----------------|--------------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------|-----------------------------|--------|-------|
| | | PSI | kg/cm ² | MPa | | | | | | | | | | | | | |
| E-7 | A | 42 | 43 | 43 | 41 | 42 | 42 | 43 | 42 | 40 | 43 | 41 | 42 | 42.1 | 5400.0 | 379.66 | 37.24 |
| E-8 | B | 38 | 40 | 40 | 42 | 38 | 39 | 38 | 42 | 34 | 30 | 38 | 38 | 38.5 | 5250.0 | 369.11 | 36.21 |
| E-9 | B | 42 | 42 | 41 | 41 | 42 | 39 | 40 | 41 | 42 | 42 | 39 | 42 | 41.2 | 5750.0 | 404.27 | 39.66 |
| E-10 | A | 54 | 52 | 42 | 44 | 44 | 46 | 41 | 42 | 44 | 49 | 43 | 47 | 45.3 | 6000.0 | 421.84 | 41.38 |
| E-11 | B | 42 | 45 | 48 | 42 | 44 | 42 | 50 | 42 | 42 | 40 | 44 | 40 | 43.1 | 6250.0 | 439.42 | 43.10 |
| Promedio General | | | | | | | | | | | | | | 5730.0 | 402.86 | 39.52 | |

Figura 33

Resultado del ensayo esclerométrico y numero de muestras en el vertedero bloque 3.

**Figura 34**

Correlación polinomial de la resistencia a la compresión y numero de rebote en el vertedero bloque 3.



En la gráfica anterior se puede apreciar que los datos obtenidos por el esclerómetro tienen un coeficiente de determinación (R^2) de 0.5814 al aplicar una regresión polinomial de segundo grado por ser la que mejor se ajusta a la tendencia de

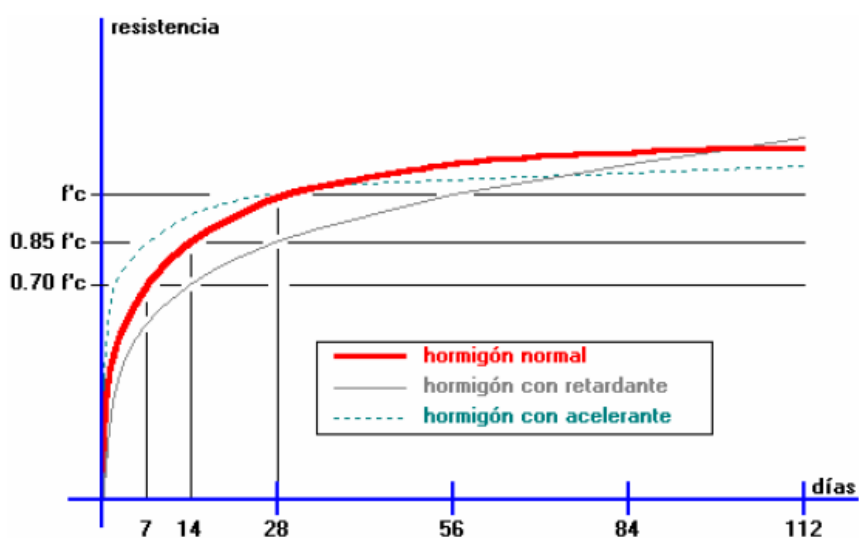
los datos. Lo que significa que cualquier medición hecha en este sector analizado tiene una probabilidad de 58.14% de caer dentro de la gráfica, al ser bajo el grado de confiabilidad la ecuación obtenida nos puede llevar a predecir de forma imprecisa los resultados deseados.

Resultados talud margen derecho (visa aguas abajo)

El hormigón que se utilizó en el talud es hormigón lanzado, la resistencia de este se encuentra en las especificaciones técnicas, la cual dice que su resistencia a los siete días será de 175 kg/cm², por lo que se asume que la resistencia a los 28 días debería ser de aproximadamente 270 kg/cm². De acuerdo con la curva porcentaje-tiempo a los siete días el hormigón obtiene aproximadamente el (65-70) % de su resistencia.

Figura 35

Resistencia que adquiere el hormigón de acuerdo a la edad



Nota. Tomado de (Romo Proaño, 2008)

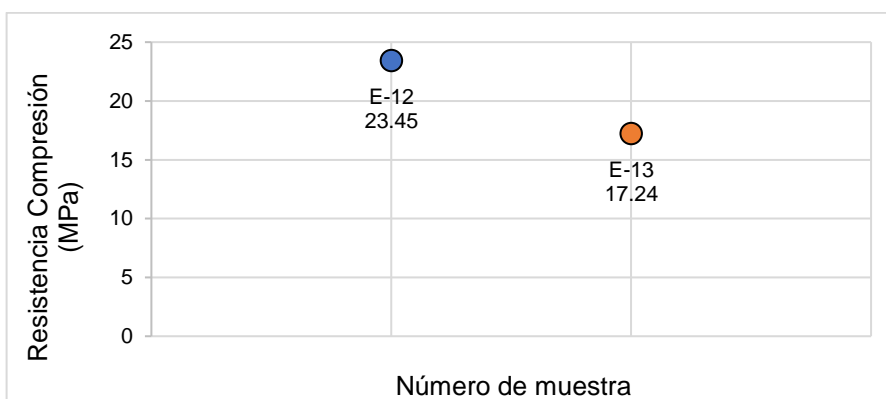
Tabla 19

Valor de rebote determinado por el esclerómetro en talud

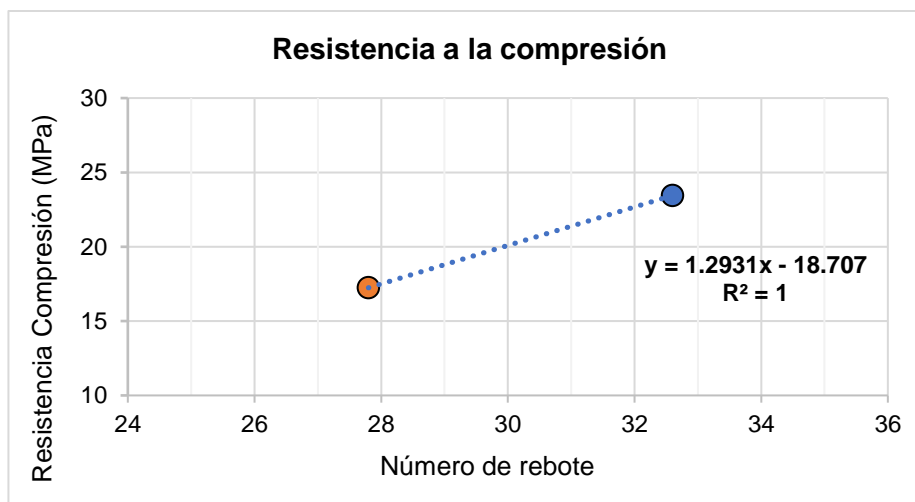
| Muestra | Posición | Valor de rebote | | | | | | | | | | | | Promedio | Resistencia a la compresión | | |
|-------------------------|----------|-----------------|--------|-----|-----|--------|-----|----|----|----|----|----|----|----------|-----------------------------|--------|-------|
| | | PSI | kg/cm2 | MPa | PSI | kg/cm2 | MPa | | | | | | | | | | |
| E-12 | A | 41 | 40 | 23 | 29 | 31 | 30 | 27 | 35 | 39 | 33 | 32 | 30 | 32.6 | 3400.0 | 239.04 | 23.45 |
| E-13 | A | 16 | 24 | 30 | 32 | 35 | 30 | 27 | 28 | 20 | 25 | 32 | 30 | 27.8 | 2500.0 | 175.77 | 17.24 |
| Promedio General | | | | | | | | | | | | | | | 2950.0 | 207.41 | 20.34 |

Figura 36

Resultado del ensayo esclerométrico y número de muestras en el talud

**Figura 37**

Correlación lineal de la resistencia a la compresión y número de rebote en el talud



Para el caso particular de la gráfica anterior al ser solo dos los lugares que se tomaron muestras con el esclerómetro no se puede llevar a cabo un análisis más a fondo de los datos. Se realizó una regresión lineal la cual consiste en realizar una recta que una los dos puntos por lo que se tiene un coeficiente de determinación (R^2) de 1. Al ser dos datos no se puede establecer con exactitud que el sector ensayado siga la misma tendencia de los resultados.

Resultados galerías

De acuerdo con la información presentada en los planos As Built, dentro de las galerías se tiene hormigón masivo con $f'c$ de 280 kg/cm² y hormigón estructural de 350 kg/cm² (ver Anexo 1).

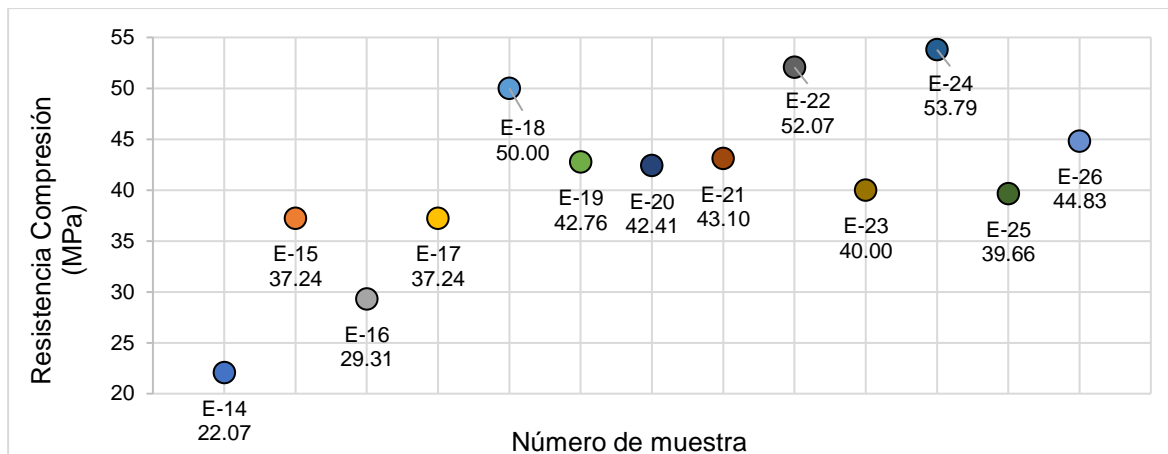
Tabla 20

Valor de rebote determinado por el esclerómetro en galerías

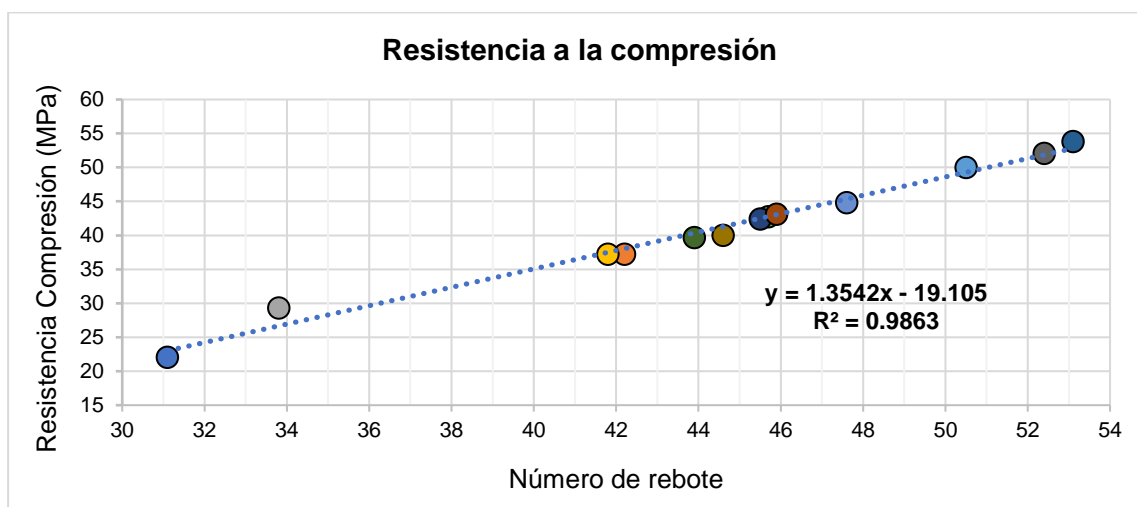
| Muestra | Posición | Valor de rebote | | | | | | | | | | | | Promedio | Resistencia a la compresión | | |
|-------------------------|----------|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------|-----------------------------|--------------------|-------|
| | | | | | | | | | | | | | | | PSI | kg/cm ² | MPa |
| E-14 | A | 34 | 47 | 28 | 28 | 30 | 29 | 31 | 29 | 40 | 29 | 30 | 31 | 31.1 | 3200.0 | 224.98 | 22.07 |
| E-15 | A | 34 | 42 | 41 | 40 | 40 | 44 | 46 | 42 | 45 | 44 | 42 | 42 | 42.2 | 5400.0 | 379.66 | 37.24 |
| E-16 | B | 36 | 36 | 37 | 32 | 35 | 33 | 31 | 31 | 32 | 36 | 28 | 36 | 33.8 | 4250.0 | 298.80 | 29.31 |
| E-17 | A | 43 | 45 | 42 | 35 | 43 | 42 | 43 | 37 | 39 | 40 | 44 | 47 | 41.8 | 5400.0 | 379.66 | 37.24 |
| E-18 | A | 48 | 52 | 52 | 52 | 55 | 48 | 52 | 48 | 48 | 42 | 52 | 53 | 50.5 | 7250.0 | 509.73 | 50.00 |
| E-19 | A | 50 | 51 | 42 | 45 | 42 | 54 | 44 | 47 | 42 | 44 | 46 | 46 | 45.7 | 6200.0 | 435.90 | 42.76 |
| E-20 | A | 42 | 47 | 46 | 44 | 48 | 47 | 44 | 46 | 43 | 50 | 46 | 44 | 45.5 | 6150.0 | 432.39 | 42.41 |
| E-21 | A | 44 | 48 | 46 | 44 | 46 | 43 | 45 | 46 | 48 | 52 | 44 | 48 | 45.9 | 6250.0 | 439.42 | 43.10 |
| E-22 | A | 49 | 55 | 55 | 49 | 53 | 53 | 55 | 53 | 47 | 56 | 54 | 48 | 52.4 | 7550.0 | 530.82 | 52.07 |
| E-23 | A | 60 | 42 | 45 | 47 | 44 | 46 | 45 | 44 | 44 | 45 | 44 | 42 | 44.6 | 5800.0 | 407.78 | 40.00 |
| E-24 | A | 55 | 49 | 46 | 53 | 42 | 55 | 57 | 56 | 54 | 54 | 52 | 57 | 53.1 | 7800.0 | 548.39 | 53.79 |
| E-25 | A | 45 | 40 | 45 | 44 | 46 | 44 | 42 | 45 | 42 | 42 | 44 | 48 | 43.9 | 5750.0 | 404.27 | 39.66 |
| E-26 | A | 43 | 44 | 50 | 44 | 55 | 44 | 44 | 48 | 54 | 49 | 48 | 51 | 47.6 | 6500.0 | 457.00 | 44.83 |
| Promedio General | | | | | | | | | | | | | | 5961.54 | 419.14 | 41.11 | |

Figura 38

Resultado del ensayo esclerométrico y numero de muestras en las galerías

**Figura 39**

Correlación lineal de la resistencia a la compresión y numero de rebote en las galerías



En la figura 39 se puede observar que al aplicar a los datos conseguidos por el esclerómetro una regresión lineal por ser la que mejor se ajusta a la tendencia de los datos se tiene un coeficiente de determinación (R^2) de 0,9863. Lo que significa que cualquier medición hecha en este sector analizado tiene un 98,63% de probabilidades de caer dentro de la gráfica y es posible predecir su resistencia con la ecuación lineal: $f'c=1,3542x-19,105$.

Determinación del número de rebote Túnel Toachi-Alluriquín

Se realizaron pruebas en el túnel de carga debido a defectos en la obra civil, entre la cota 6+113.4 m y 6+117 m existe desprendimiento del revestimiento de hormigón por problemas de compresión, hasta el punto en que se puede ver el acero, ver figura 40.

Figura 40

Desprendimiento de hormigón en túnel Toachi-Alluriquín



El túnel de carga Toachi-Alluriquín tiene una longitud de 8.7 km, con una pendiente inferior del 2%. El diámetro interno del túnel revestido por hormigón armado es de 5.6 m. Durante la etapa de construcción se observaron grandes volúmenes de filtración, debido a esta situación se necesitó colocar tuberías temporales de PVC para drenar como se puede ver en la figura 41.

Figura 41

Túnel Toachi-Alluriquín, lado izquierdo desprendimiento de hormigón



El diámetro de la varilla utilizada en la construcción del túnel es ϕ 25 mm con espaciamiento de 20 cm, malla de 150x150x5 mm @ 1755.31 kg, sección completa.

Figura 42



Túnel de ingreso al túnel de presión Toachi-Alluriquín









Nota. Este túnel de ingreso tiene una longitud de aproximadamente 2 km, hasta llegar a la escotilla.




A continuación, se presenta las cuadrículas que se realizaron para los ensayos esclerométricos.



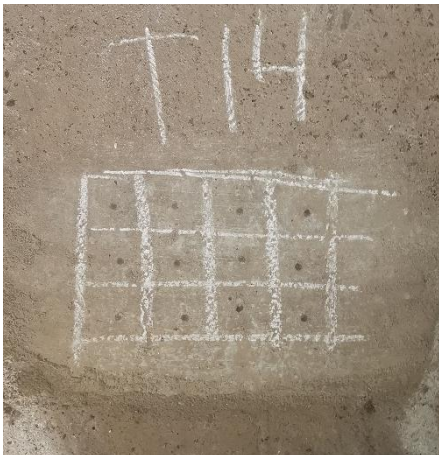
Tabla 21*Ensayos con el esclerómetro en el túnel Toachi-Alluriquín*



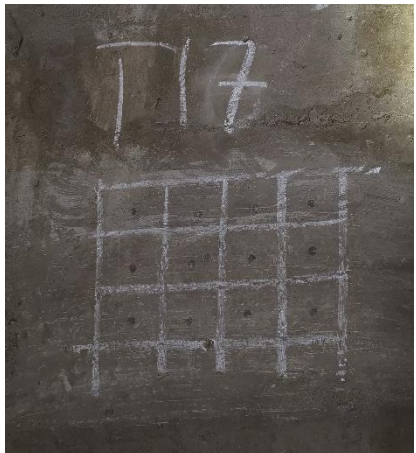
| Muestra | Ubicación (m) | Imagen |
|----------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| T-01 | 6+114 |  |
| T-02 | 6+114 |  |




| Muestra | Ubicación (m) | Imagen |
|---------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| T-03 | 6+114 |  |
| T-04 | 6+114 |  |
| T-05 | 6+113 |  |

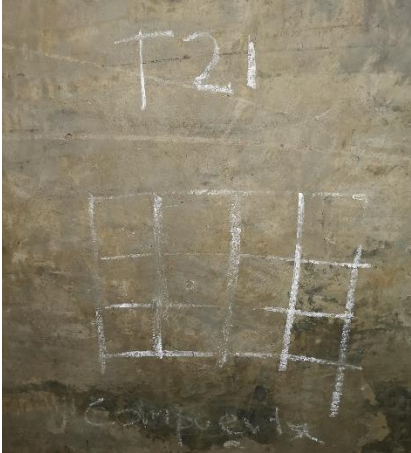
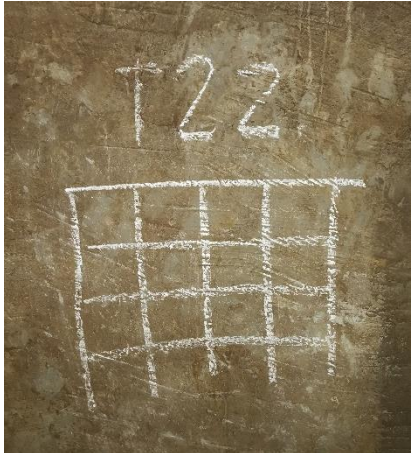
| Muestra | Ubicación (m) | Imagen |
|---------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| T-06 | 6+113 |  A photograph showing a chalk-drawn grid on a textured wall. The grid is approximately 4x4 squares. Above the grid, the number 'T6' is written in chalk. The wall has a slightly uneven, mottled appearance. |
| T-07 | 6+100 |  A photograph showing a chalk-drawn grid on a textured wall. The grid is approximately 4x4 squares. Above the grid, the number 'T7' is written in chalk. The wall has a slightly uneven, mottled appearance. |
| T-08 | 6+000 |  A photograph showing a chalk-drawn grid on a textured wall. The grid is approximately 4x4 squares. Above the grid, the number 'T8' is written in chalk. The wall has a slightly uneven, mottled appearance. |

| Muestra | Ubicación (m) | Imagen |
|---------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| T-09 | 5+900 |  |
| T-10 | 5+800 |  |
| T-11 | 5+700 |  |

| Muestra | Ubicación (m) | Imagen |
|---------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| T-12 | 5+600 |  A photograph showing a 3x3 grid of white chalk lines drawn on a dark, textured soil surface. Above the grid, the label 'T12' is written in white chalk. |
| T-13 | 5+500 |  A photograph showing a 3x3 grid of white chalk lines drawn on a light-colored soil surface. Above the grid, the label 'T13' is written in white chalk. |
| T-14 | 5+400 |  A photograph showing a 3x3 grid of white chalk lines drawn on a light-colored soil surface. Above the grid, the label 'T14' is written in white chalk. |

| Muestra | Ubicación (m) | Imagen |
|---------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| T-15 | 5+300 |  |
| T-16 | 5+200 |  |
| T-17 | 5+100 |  |

| Muestra | Ubicación (m) | Imagen |
|---------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| T-18 | 5+000 |  |
| T-19 | 4+900 |  |
| T-20 | 4+800 |  |

| Muestra | Ubicación (m) | Imagen |
|---------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| T-21 | Escotilla |  |
| T-22 | Escotilla |  |

Resultados túnel Toachi-Alluriquín

En la memoria de cálculo especifica que las características de los materiales serán las siguientes:

Hormigón: $f'c=28$ MPa, $E=24870$ MPa o $f'c=35$ MPa, $E=27806$ MPa

Armadura: ASTM A615, G60, $f_y=420$ MPa, $E=200000$ MPa

Las pruebas realizadas con el esclerómetro son del revestimiento de hormigón armado el cual está diseñado en base a la norma ACI 318-11 y EM 1110-2-2104. A continuación, se presentan los resultados:

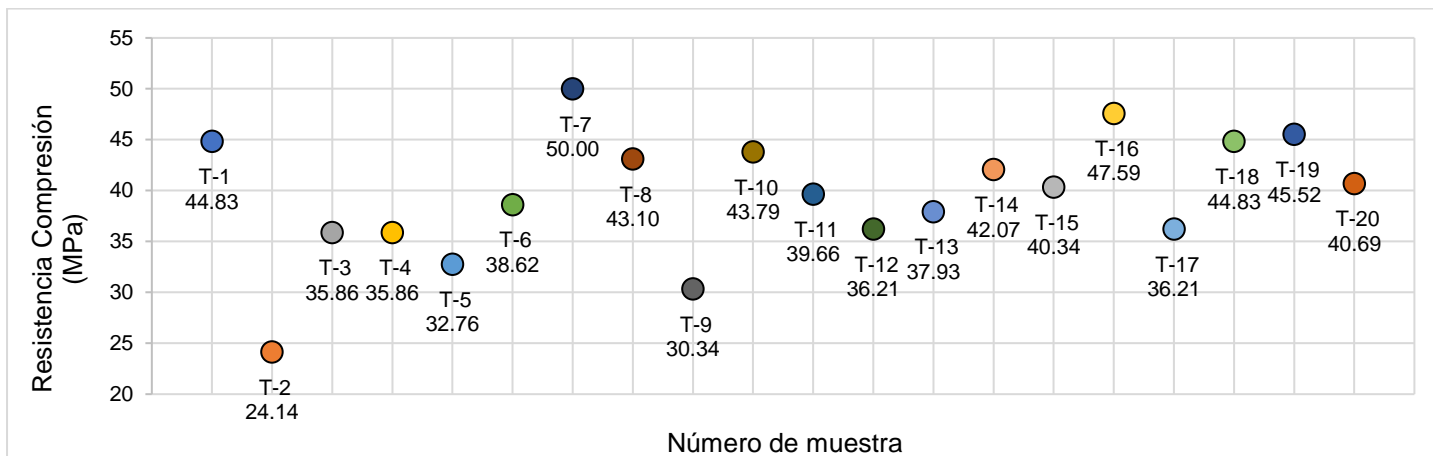
Tabla 22

Valor de rebote determinado por el esclerómetro en túnel Toachi-Alluriquín

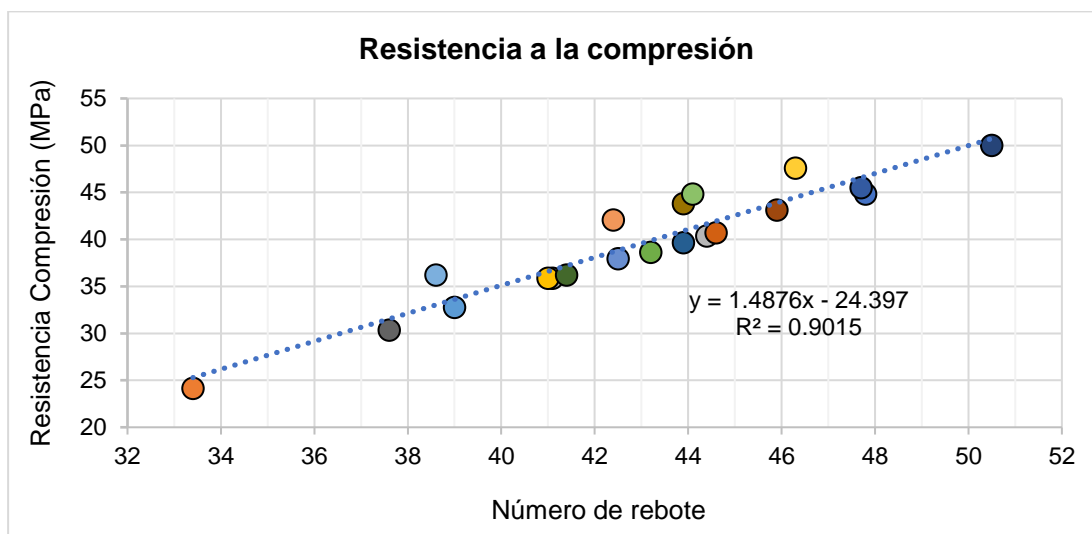
| Muestra | Posición | Valor de rebote | | | | | | | | | | | | Promedio | Resistencia a la compresión | | |
|-------------------------|----------|-----------------|--------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------|-----------------------------|--------|-------|
| | | PSI | kg/cm2 | MPa | | | | | | | | | | | | | |
| T-01 | A | 50 | 54 | 45 | 48 | 51 | 49 | 44 | 46 | 46 | 51 | 47 | 45 | 47.8 | 6500,0 | 457,98 | 44,83 |
| T-02 | A | 38 | 32 | 37 | 28 | 32 | 38 | 22 | 28 | 40 | 41 | 32 | 29 | 33.4 | 3500,0 | 246,07 | 24,14 |
| T-03 | A | 46 | 42 | 38 | 40 | 46 | 40 | 40 | 40 | 44 | 40 | 40 | 39 | 41.1 | 5200,0 | 365,60 | 35,86 |
| T-04 | A | 40 | 43 | 44 | 40 | 39 | 40 | 40 | 40 | 42 | 40 | 43 | 42 | 41.0 | 5200,0 | 365,60 | 35,86 |
| T-05 | A | 41 | 40 | 39 | 40 | 41 | 38 | 38 | 40 | 38 | 38 | 38 | 38 | 39.0 | 4750,0 | 333,96 | 32,76 |
| T-06 | A | 42 | 42 | 46 | 47 | 43 | 43 | 44 | 43 | 44 | 40 | 42 | 43 | 43.2 | 5600,0 | 393,72 | 38,62 |
| T-07 | A | 50 | 52 | 52 | 52 | 54 | 50 | 50 | 48 | 51 | 48 | 52 | 43 | 50.5 | 7250,0 | 509,73 | 50,00 |
| T-08 | A | 45 | 42 | 48 | 46 | 46 | 48 | 46 | 46 | 48 | 46 | 46 | 42 | 45.9 | 6250,0 | 439,42 | 43,10 |
| T-09 | A | 44 | 44 | 40 | 32 | 30 | 40 | 42 | 40 | 30 | 32 | 40 | 36 | 37.6 | 4400,0 | 309,35 | 30,34 |
| T-10 | B | 40 | 38 | 49 | 49 | 45 | 44 | 42 | 44 | 50 | 44 | 43 | 40 | 43.9 | 6350,0 | 446,45 | 43,79 |
| T-11 | A | 54 | 44 | 47 | 40 | 45 | 46 | 44 | 44 | 38 | 42 | 43 | 44 | 43.9 | 5750,0 | 404,27 | 39,66 |
| T-12 | A | 46 | 41 | 43 | 34 | 44 | 44 | 42 | 35 | 41 | 42 | 40 | 42 | 41.4 | 5250,0 | 369,11 | 36,21 |
| T-13 | A | 40 | 42 | 42 | 46 | 42 | 41 | 42 | 44 | 42 | 42 | 44 | 44 | 42.5 | 5500,0 | 386,69 | 37,93 |
| T-14 | B | 43 | 44 | 42 | 45 | 44 | 46 | 40 | 42 | 32 | 42 | 37 | 45 | 42.4 | 6100,0 | 428,87 | 42,07 |
| T-15 | A | 46 | 42 | 44 | 43 | 47 | 46 | 44 | 45 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44.4 | 5850,0 | 411,30 | 40,34 |
| T-16 | B | 50 | 43 | 44 | 48 | 50 | 48 | 46 | 45 | 45 | 45 | 46 | 46 | 46.3 | 6900,0 | 485,12 | 47,59 |
| T-17 | B | 42 | 42 | 38 | 38 | 36 | 42 | 36 | 38 | 38 | 40 | 36 | 38 | 38.6 | 5250,0 | 369,11 | 36,21 |
| T-18 | B | 46 | 43 | 46 | 45 | 44 | 44 | 46 | 42 | 45 | 40 | 42 | 44 | 44.1 | 6500,0 | 457,00 | 44,83 |
| T-19 | A | 55 | 53 | 44 | 45 | 48 | 48 | 44 | 52 | 48 | 47 | 47 | 45 | 47.7 | 6600,0 | 464,03 | 45,52 |
| T-20 | A | 48 | 44 | 44 | 40 | 44 | 45 | 44 | 48 | 50 | 44 | 45 | 40 | 44.6 | 5900,0 | 414,81 | 40,69 |
| Promedio General | | | | | | | | | | | | | | 5730,0 | 402,86 | 39,52 | |

Figura 43

Resultado del ensayo esclerométrico y numero de muestras en el túnel Toachi-Alluriquín

**Figura 44**

Correlación lineal de la resistencia a la compresión y numero de rebote en el túnel Toachi-Alluriquín



En la gráfica anterior se puede observar que los datos obtenidos por el esclerómetro tienen un coeficiente de determinación (R^2) de 0,9015 al aplicar una regresión lineal. Lo que significa que cualquier ensayo realizado en este sector

analizado tiene un 90,15% de probabilidades de caer dentro de la gráfica, el cual es alto al considerar que los datos aumentaron con relación a otros sectores y es posible predecir su resistencia con la ecuación lineal: $f_c = 1,4876x - 24,397$.

Observaciones-Resultados

A continuación, se presenta una tabla donde se compara los resultados del esclerómetro y de los núcleos extraídos.

Tabla 23

Promedio de la resistencia del hormigón obtenida con dos ensayos

| Esclerómetro | | Ensayo de compresión | | Datos del proyecto | |
|-------------------------------------------|-------|-----------------------------|-------|---------------------------|-------|
| (kg/cm ²) | (MPa) | (kg/cm ²) | (MPa) | (kg/cm ²) | (MPa) |
| Corona de la presa | | | | | |
| 363.84 | 35.69 | 360.61 | 35.36 | 350.00 | 34.32 |
| Vertedero bloque 3 | | | | | |
| 402.86 | 39.52 | - | - | 350.00 | 34.32 |
| Talud | | | | | |
| 207.41 | 20.34 | 450.76 | 44.21 | 270.0 | 26.48 |
| Galerías Internas | | | | | |
| 419.14 | 41.11 | - | - | 350.00 | 34.32 |
| Cilindros obtenidos en el proyecto | | | | | |
| - | - | 545.36 | 53.48 | - | - |
| Túnel de carga Toachi-Alluriquín | | | | | |
| 402.86 | 39.52 | - | - | 357.00 | 35.00 |

De acuerdo con los resultados mostrados en la tabla anterior, las pruebas realizadas en la corona de la presa muestran resistencias relativamente iguales. Por lo tanto, basada en esta comparación se asume que los resultados que se obtendrán con el esclerómetro no se alejan de la realidad, pero son datos que se deberían comprobar con ensayos a compresión.

Respecto a las pruebas realizadas en el vertedero arrojan resultados de una buena resistencia, por lo que se asume que en ese sitio se utilizaron hormigones de 350 kg/cm², se asume este valor de acuerdo con lo presentado en el plano proporcionado por la empresa CELEC. Adicional con el pasar de los años el hormigón va ganando un cierto porcentaje en su resistencia, siempre y cuando la mezcla sea la correcta y cumpla con lo especificado, este puede ser el motivo por el cual la resistencia obtenida con el esclerómetro es mayor a la especificada en los planos. Según tablas de investigaciones realizadas a los 360 días, la resistencia aumenta alrededor de un 20%.

En los ensayos realizados en el talud se obtuvieron valores muy distintos debido a que la superficie influye mucho en los resultados del ensayo con el esclerómetro, pues como se había mencionado anteriormente el talud presentaba irregularidades al ser hormigón lanzado. Por lo cual los resultados del ensayo a compresión serán los que demuestren el valor real de la resistencia del hormigón.

En cuanto a las galerías debido a restricciones por la empresa no se pudo realizar extracción de núcleos, por lo que solo se realizaron ensayos con el esclerómetro obteniendo resultados superiores a los indicados en el plano que fueron proporcionados por los ingenieros de CELEC.

Los resultados de los cilindros obtenidos durante el recorrido por el proyecto indican que existen hormigones de alta resistencia en algún lugar de la presa, además que en las especificaciones técnicas en la sección del hormigón hace mención que existen hormigones de alta resistencia.

De acuerdo con la investigación acerca de la resistencia del hormigón en proyectos similares, para establecer la resistencia del hormigón se debe realizar un análisis estructural estático y dinámico, con el fin de obtener los esfuerzos máximos de compresión y tracción.

Capítulo V

Evaluación de las características técnicas del acero

El punto de partida para esta evaluación son las especificaciones técnicas. Debido a que la represa ya está construida no se puede observar directamente la varilla que se utilizó, cada cuanto se colocó o realizar ensayos a la misma, por esta razón es que, en cuanto al acero de refuerzo, la investigación se basara en los planos, documentos y diálogos con los ingenieros del proyecto Toachi Pilatón.

De acuerdo con las especificaciones técnicas proporcionadas por CELEC el acero de refuerzo implementado es corrugado y cumplió con las especificaciones de la ASTM-A615 Grado 60, o ASTM-A617 Grado 60.

En una de las visitas realizadas al proyecto se dialogó con los ingenieros acerca de las características del acero que se utilizó, hicieron mención que la varilla utilizada fue proporcionada por la empresa ADELCA.

Según ADELCA (s.f.), sus varillas son de acero de sección circular, con resaltes transversales que asegura una alta adherencia con el concreto; laminadas en caliente y termotratadas que garantizan mayor flexibilidad y seguridad que el acero común. Puede ser soldable en caso de que la estructura así la requiera, cumpliendo la norma AWS D1.4, según lo especificado en la NEC.

El acero fabricado por ADELCA cumple con la norma NTE INEN 2167 y la normas ASTM A706.

Tabla 24

Propiedades mecánicas de la varilla de ADELCA

| Propiedades mecánicas | MPa | Kgf/mm² |
|----------------------------------|------------|---------------------------|
| Límite de fluencia mínimo | 420 | 42 |
| Límite de fluencia máximo | 540 | 55 |
| Resistencia a la tracción mínima | 550 | 56 |

Nota. Extraído de (ADELCA, s.f.)

La calidad de los productos según ADELCA (2017), depende de la cadena de producción la cual garantiza la calidad de los productos mediante pruebas periódicas tales como:

- Verificación de la calidad de la chatarra
- Ensayos de composición química de la materia prima
- Ensayos de acuerdo a las Normas de calidad INEN
- Ensayos mecánicos o de tracción
- Ensayos dimensionales o físicos
- Manejo de quejas y reclamos de clientes

Existen dos desagües de fondo que están formados por planchas de acero, hay un total de 76 planchas entre los dos desagües, las cuales están soldadas entre sí, con un ancho de 2m y una altura de 6m en estas planchas existen cordones de soldadura vertical y horizontal. La calidad de la suelda será el objetivo en este caso para la evaluación que se pretende realizar.

Figura 45

Desagües de fondo



Los electrodos para suelda cumplirán la norma ASTM-A 233 (electrodos para soldadura al arco para acero medio), clasificaciones E 6015, E 6016, E 6018, E 7015, E 7016 y E 7018 (CHINA INTERNACIONAL WATER & ELECTRIC CORP., 2015).

De acuerdo con CHINA INTERNACIONAL WATER & ELECTRIC CORP. (2015), los electrodos se mantendrán limpios y libres de humedad. Los electrodos que no fueren empleados dentro de las cuatro horas siguientes a la apertura de las cajas, serán almacenados en hornos eléctricos, equipados con control de temperatura, a las temperaturas indicadas en las recomendaciones del fabricante. Todas las características mencionadas son importantes para que la calidad de suelda sea la mejor.

Inspección visual

De acuerdo con UPCOMMONS, la inspección visual revela discontinuidades en superficies, en este caso en cordones de soldadura, es un método que tiene gran aceptación, pero para que sea confiable requiere de un inspector bien capacitado, adicional es un método de bajo costo.

Antes de realizar el ensayo con tintas, se realizó una inspección visual rápida, en la cual se utilizó una galga de medición como se puede apreciar en la figura 46, para inspeccionar el cordón de soldadura vertical y horizontal, el espesor del cordón de soldadura no excedió los 3 mm como hace mención la norma.

Figura 46

Galga de medición en cordón vertical



Durante el recorrido se encontró en la placa V1 del desagüe del bloque 4 una mordedura como se puede observar en la figura 47. En cuanto a la inspección del resto de planchas del desagüe de fondo se pudo determinar que los cordones de soldadura presentan homogeneidad en las uniones de las placas tanto del piso como de la pared.

Figura 47

Mordedura en una de las planchas del desagüe de fondo

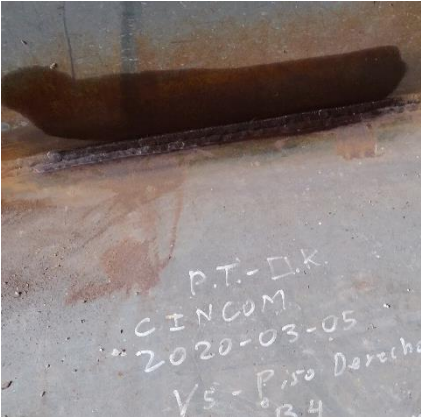
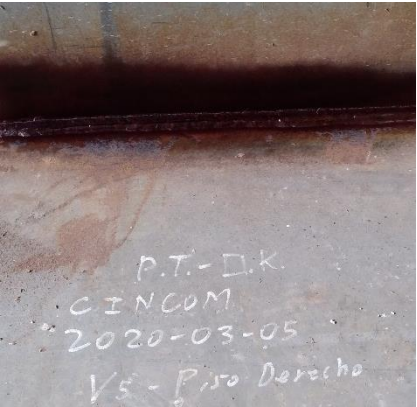
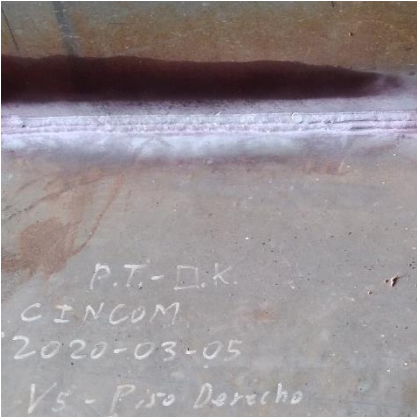


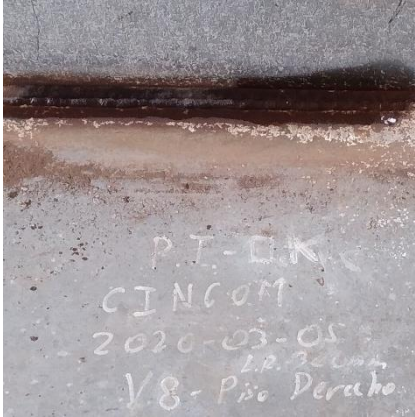
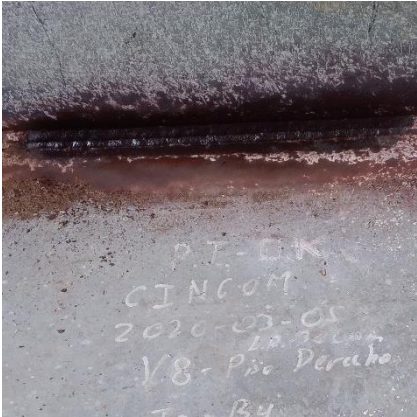
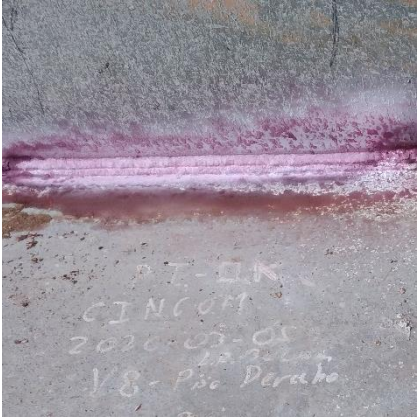
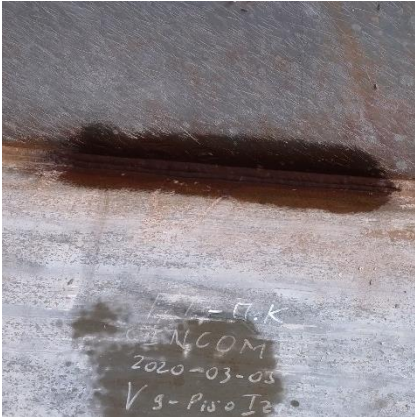
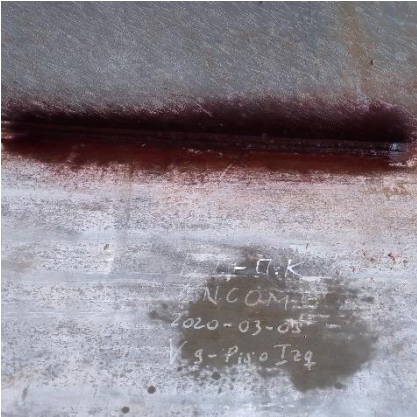

Inspección por tintas penetrantes



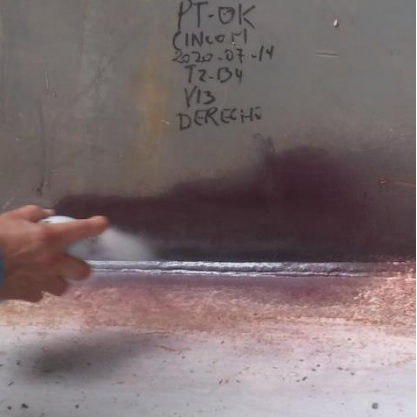



Se seleccionaron 14 planchas, siete en el desagüe del bloque 4 y siete en el desagüe del bloque 3. Para el ensayo se utilizó un kit de tintas penetrantes marca Met-L-Chek el cual consta de un limpiador, revelador y penetrante.

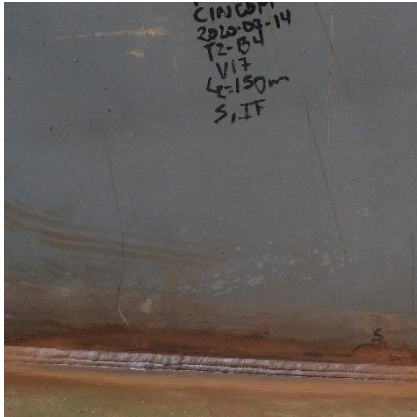

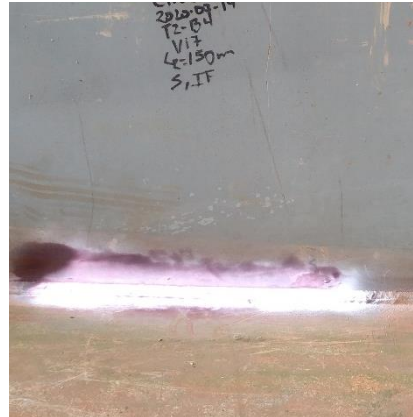


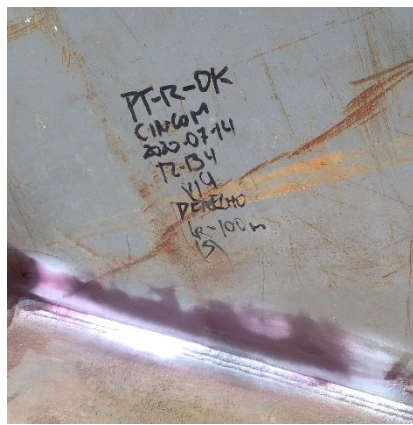
Tabla 25

Ensayo por líquidos penetrantes en desagüe de fondo bloque 4

| Plancha | Limpiador E-59A | Penetrante VP-31A | Revelador D70 | Observaciones |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| V5 |  |  |  | <p>Unión de placas de pared y piso lado derecho Distancia desde el borde (Izq.): 70 cm Longitud: 30 cm</p> |

| Plancha | Limpiador E-59A | Penetrante VP-31A | Revelador D70 | Observaciones |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| V8 |  |  |  | <p>Unión de placas de pared y piso lado derecho Distancia desde el borde (Izq.): 80 cm Longitud: 30 cm</p> |
| V9 |  |  |  | <p>Unión de placas de pared y piso lado izquierdo Distancia desde el borde (Izq.): 90 cm Longitud: 30 cm</p> |

| Plancha | Limpiador E-59A | Penetrante VP-31A | Revelador D70 | Observaciones |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| V13 |  |  |  | <p>Unión de placas de pared y piso lado derecho Distancia desde el borde (D): 70 cm Longitud: 30 cm</p> |
| V16 |  |  |  | <p>Unión de placas de pared y piso lado izquierdo Distancia desde el borde (D): 60 cm Longitud: 30 cm</p> <p>Existe falsas indicaciones por presencia de pintura en la superficie</p> |




| Plancha | Limpiador E-59A | Penetrante VP-31A | Revelador D70 | Observaciones |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| V17 |  |  |  | <p>Unión de placas de pared y piso lado derecho Distancia desde el borde (D): 100 cm Longitud: 30 cm</p> |
| V19 |  |  |  | <p>Unión de placas de pared y piso lado derecho Distancia desde el borde (Izq.): 70 cm Longitud: 20 cm</p> |



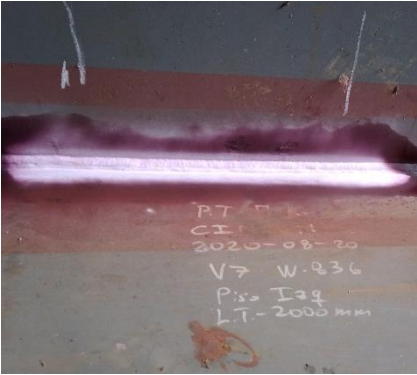



Nota. Al terminar los ensayos, se procedió a remover la tinta con una franela húmeda.

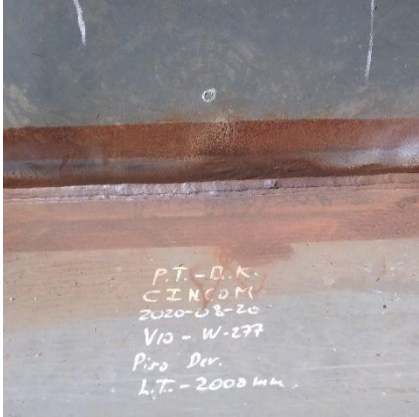



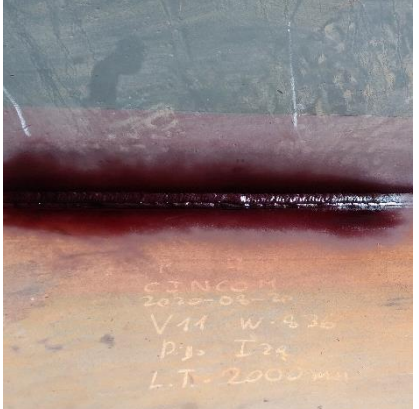

Se realizó el mismo procedimiento para las planchas del desagüe de fondo del bloque 3.


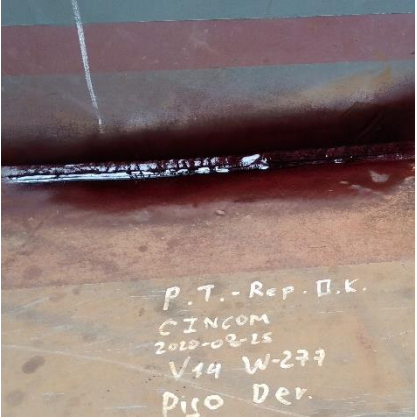




Tabla 26

Ensayo por líquidos penetrantes en desagüe de fondo bloque 3

| Plancha | Limpiador E-59A | Penetrante VP-31A | Revelador D70 | Observaciones |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| V5 |  |  |  | <p>Unión de placas de pared y piso lado izquierdo Distancia desde el borde (D): 80 cm Longitud: 30 cm</p> |

| Plancha | Limpiador E-59A | Penetrante VP-31A | Revelador D70 | Observaciones |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| V7 |  |  |  | <p>Unión de placas de pared y piso lado izquierdo Distancia desde el borde (D): 70 cm Longitud: 30 cm</p> |
| V7 |  |  |  | <p>Unión de placas de pared y piso lado derecho Distancia desde el borde (D): 80 cm Longitud: 30 cm</p> |

| Plancha | Limpiador E-59A | Penetrante VP-31A | Revelador D70 | Observaciones |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| V10 |  |  |  | <p>Unión de placas de pared y piso lado derecho Distancia desde el borde (D): 100 cm Longitud: 30 cm</p> |
| V11 |  |  |  | <p>Unión de placas de pared y piso lado izquierdo Distancia desde el borde (D): 100 cm Longitud: 30 cm</p> |

| Plancha | Limpiador E-59A | Penetrante VP-31A | Revelador D70 | Observaciones |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| V14 |  <p>P.T.-Rep. P.K. CINCOM 2020-02-15 V14 W-277 Piso Der.</p> |  <p>P.T.-Rep. P.K. CINCOM 2020-02-15 V14 W-277 Piso Der.</p> |  <p>P.T.-Rep. P.K. CINCOM 2020-02-15 V14 W-277 Piso Der.</p> | <p>Unión de placas de pared y piso lado derecho Distancia desde el borde (D): 100 cm Longitud: 30 cm</p> |
| V19 |  <p>P.T.-P.K. CINCOM 2020-08-25 Piso Der W-277 L.T. - 2500 mm V19</p> |  <p>P.T.-P.K. CINCOM 2020-08-25 Piso Der W-277 L.T. - 2500 mm V19</p> |  | <p>Unión de placas de pared y piso lado derecho Distancia desde el borde (D): 40 cm Longitud: 20 cm</p> |

Observaciones-Resultados

Después de realizar la inspección en las uniones elegidas, por el Ingeniero Quezada, inspector ISO 9712 ASNT Nivel II, docente de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, al aplicar el revelador y esperar 10 minutos no se presentaron manchas en la franja de color blanco, por lo tanto, se determinó que no existen discontinuidades en los cordones de soldadura ensayados, quedando revisado y analizado sin novedades.

Figura 48

Inspector certificado



Adicional se pudo observar que si se realizaron inspecciones visuales (VT), inspección de tintas penetrantes (PT) e inspección por ultrasonido (UT).

Figura 49

Inspección por ultrasonido en cordón vertical



Fiscalización realizó ensayos PT y UT en todas las uniones de las planchas, en cuanto a ensayos PT se realizaron en los cordones horizontales, e inspección UT se realizaron en cordones verticales. Según las anotaciones en las planchas, en todos los ensayos realizados tienen la aprobación de las personas encargadas de realizar los ensayos, como se puede ver en la figura anterior.

Capítulo VI

Conclusiones

- Las propiedades características del hormigón en el diseño de una presa a gravedad, dependen de la cantidad y calidad del cemento, del tamaño del agregado y de los requerimientos estructurales. La resistencia del hormigón se establece una vez realizado el análisis estructural, el cual indica los esfuerzos máximos de tracción y compresión que se presentaran en el hormigón de la presa.
- Los ensayos de compresión de los núcleos extraídos en la corona de la presa Toachi ubicada en Alluriquín, muestran que la resistencia del hormigón es 360.61 kg/cm², cumpliendo con los requerimientos de la resistencia especificada en los planos. En la misma zona donde se realizaron la extracción de núcleos se hicieron ensayos con el esclerómetro obteniendo una resistencia de 363.84 kg/cm², lo que indica que los resultados que se obtuvieron con el esclerómetro son confiables.
- Los taludes se encuentran revestidos por hormigón lanzado, en el talud margen derecho vista aguas abajo se realizaron extracción de núcleos, los cuales al medir su resistencia en la maquina a compresión se obtuvo una resistencia de 450.76 kg/cm², una resistencia mucho mayor a la expuesta en las especificaciones técnicas, presenta un 167% mayor a la requerida.
- Los vertederos al estar en constante contacto con el agua deben tener resistencia alta o normal, los resultados del ensayo con el esclerómetro

mostraron que la resistencia promedio del hormigón en el vertedero bloque 3 es de 402.86 kg/cm².

- Los ensayos no destructivos realizados al hormigón con el esclerómetro en todas las galerías internas que contiene la presa arrojan una resistencia promedio de 419.14 kg/cm², lo cual es indicador que el hormigón colocado en el interior cumple y supera con los valores estipulados en los planos.
- En el túnel de carga Toachi-Alluriquín se recorrió desde la cota 4+800m hasta la cota 6+117m, en donde se realizaron ensayos con el esclerómetro obteniendo una resistencia promedio de 402.86 kg/cm², de acuerdo con la memoria de cálculo cumple con el requerimiento especificado, el estado general del túnel es bueno, con excepción del tramo en la cota 6+114m en el cual existe desprendimiento de hormigón debido a que la presión ejercida en las paredes es superior a la que resiste el hormigón.
- De acuerdo con la inspección visual realizada junto a un inspector certificado conforme estable la norma AWS D1.1, se pudo establecer que el estado de los cordones de soldadura de las uniones de las planchas presenta homogeneidad.
- Se realizó ensayo de tintas penetrantes en 14 cordones de soldadura, los cuales no presentaron discontinuidades ni porosidad, el procedimiento y la calidad de la soldadura se estableció bajo la normativa internacional AWS D1.1 y la normativa ecuatoriana RTE INEN 040, quedando revisado y analizado sin novedades.

- De acuerdo con las resistencias de los proyectos nacionales e internacionales investigados, oscilan entre los 140 hasta los 350 kg/cm², como se sabe cada proyecto es distinto, pero buscando similitudes con el proyecto Toachi Pilatón se concluye que los resultados obtenidos son los esperados para este tipo de presa.

Recomendaciones

- Para la toma de datos es importante llevar los implementos y herramientas necesarias, verificar que los equipos estén en buen estado, anotar la fecha del ensayo y observaciones en el caso de presentarse algo inusual.
- Para obtener una resistencia del hormigón completamente confiable se recomienda realizar extracción de núcleos basándose en las normas ACI 228.1R-03, ASTM C39 y ASTM C42.
- Para utilizar el esclerómetro en la evaluación de una estructura se debe verificar que se encuentre calibrado, e inspeccionar la estructura que se va a ensayar para comprobar si cumple con las condiciones de superficie para el uso del esclerómetro.
- Al momento de proceder a ejecutar los ensayos esclerométricos es importante que el plano de rebote este completamente perpendicular (90°) al esclerómetro y

que la persona encargada de manejar el equipo no cambie con el fin de evaluar en las mismas condiciones un elemento.

- Es importante verificar las normas para extracción de núcleos, ensayos de resistencia a compresión simple, refrentado, etc., así mismo comprobar que estén en buenas condiciones y calibrados los equipos a utilizarse para determinar la resistencia al hormigón.
- Para realizar la inspección visual e inspección por tintas penetrantes en la soldadura, es importante tener accesibilidad directa a todas las zonas y que el inspector sea certificado demostrando habilidad y experiencia porque de eso depende la fiabilidad de los ensayos.

Bibliografía

- ADELCA. (s.f.). *ADELCA*. Obtenido de CONSTRUCCIÓN:
<https://www.adelca.com/producto.php?nom=VARILLA%20RECTA&cat=0>
- Aguiar, R., & Moreno, F. (Febrero de 2012). *Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Obtenido de ANALISIS SISMICO DE PRESAS DE GRAVEDAD CON HORMIGON RODILLADO CONSIDERANDO LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA:
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5146/3/T-ESPE-033093-A.pdf>
- American Concrete Institute (ACI). (s.f.). ACI 228.1R-03. *In-Place Methods to Estimate Concrete Strength*.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2004). *Método de prueba estándar para obtención y ensayos de núcleos perforados y vigas aserradas de hormigón*. Obtenido de PDFCOFFEE: <https://pdfcoffee.com/astm-c-42-2-pdf-free.html>
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (s.f.). *Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto*. Obtenido de PDFCOFFEE: <https://pdfcoffee.com/resumen-astm-c39pdf-pdf-free.html>
- Aspilcueta Asencios, M. U. (2015). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO ESTIMADA A PARTIR DE LA UTILIZACIÓN DEL MÉTODO DE MADUREZ*. Obtenido de Repositorio Institucional Universidad Nacional de Ingeniería:
http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/4406/1/aspilcueta_am.pdf

Bustamante Vásquez, Y. A. (Diciembre de 2017). *Universidad Nacional de Cajamarca, repositorio*. Obtenido de Optimización estructural de una presa a gravedad con elementos finitos:

<https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1499/OPTIMIZACI%C3%93N%20ESTRUCTURAL%20DE%20UNA%20PRESA%20A%20GRAVEDAD.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Campos de Moura, A. (Noviembre de 2012). *Ánalysis numérico de presas de hormigón bajo acciones expansivas*. Obtenido de UpCommons: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/94825>

CELEC. (2018). *Características técnicas*. Obtenido de Corporación eléctrica del Ecuador-CELEC EP: <https://www.celec.gob.ec/termomanabi/index.php/80-toachi-pilaton?start=2>

CHINA INTERNACIONAL WATER & ELECTRIC CORP. (2015). Especificaciones técnicas Proyecto Toachi Pilatón. *Sección 13 Estructuras y tuberías HT-LO*.

Comision Nacional de Zonas Áridas. (17 de Junio de 2021). *Lucha contra la Desertificación y la Sequía*. Obtenido de Gobierno de México: <https://www.gob.mx/conaza/articulos/lucha-contra-la-desertificacion-y-la-sequia?idiom=es>

Domingo, L. A. ((2001)). *Estimación de la Resistencia el Hormigón Mediante Ensayos No Destructivos*. Obtenido de Universidad Nacional de Tucumán: <https://www.facet.unt.edu.ar/iest/wp-content/uploads/sites/22/2019/10/Estimaci%C3%B3n-de-la-Resistencia-del-Hormig%C3%B3n-Mediante-END.pdf>

- Ercolani, G., N.F, O., & L, S. (2007). *Empleo de Ultrasonidos y Esclerometría en el diagnóstico de estructuras de hormigón afectadas por elevadas temperaturas*. Obtenido de NDT.net: <https://www.ndt.net/article/panndt2007/papers/37.pdf>
- García Pérez, J. (2004). *Diseño de hormigones dirigido a la aplicación*. Obtenido de UPCommons.Portal de acceso abierto al conocimiento de la UPC: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3327/05-Introducci%
c3%
b3n.pdf?sequence=25&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3327/05-Introducci%c3%b3n.pdf?sequence=25&isAllowed=y)
- García Pérez, J. (2004). *Diseño de hormigones dirigido a la aplicación*. Obtenido de Upcommons.Portal de acceso abierto al conocimiento de la UPC: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3327/08-
Ejemplos%
20de%
20aplicacion.pdf?sequence=28&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3327/08-Ejemplos%20de%20aplicacion.pdf?sequence=28&isAllowed=y)
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico*. Obtenido de Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN): <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1573.pdf>
- Lanzafame, G. (s.f.). *Repositorio Digital Institucional Universidad Nacional del Comahue*. Obtenido de Análisis de solicitaciones y dimensionamiento estructural del vertedero del aprovechamiento hidroeléctrico Manduriacu en Ecuador: <http://rdi.uncoma.edu.ar/handle/123456789/15707>
- Marengo Mogollón, H. (1996). *Análisis de riesgo de falla en presas, estadísticas y parámetros de referencia*. Obtenido de Tecnología y ciencias del agua: <http://revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/762/735>

Minergía. (s.f.). gov.co. Obtenido de Estudios proyecto Porce II:
<https://biblioteca.minminas.gov.co/pdf/ESTUDIOS%20PROYECTO%20PORCE%20II.pdf>

Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (Mayo de 2021).
PROYECTO HIDROELÉCTRICO “TOACHI PILATÓN”. Obtenido de
recursosyenergia.gob.ec: <https://www.recursosyenergia.gob.ec/proyecto-hidroelectrico-toachi-pilatón/>

Moreno Brito, F. M. (Febrero de 2012). *Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Obtenido de ANÁLISIS SÍSMICO DE LA PRESA MINAS-SAN FRANCISCO MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS CONSIDERANDO LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA:
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5146/1/T-ESPE-033093.pdf>

Néstor, O., & Marianela, R. (Octubre de 2007). *Experiencias en el empleo de ensayos no destructivos, en el análisis de estructuras de hormigón afectadas por diferentes situaciones patológicas*. Obtenido de NDT.net:
<https://www.ndt.net/article/panndt2007/papers/38.pdf>

Padrino, L. A. (10 de Septiembre de 2018). *Riesgo por Rotura de Presa (Dam Break): Consideraciones para América Latina*. Obtenido de iagua:
<https://www.iagua.es/blogs/luis-alejandro-padrino/riesgo-rotura-presa-dam-break-consideraciones-america-latina>

Proyecto Hidroeléctrico Toachi Pilatón -CWE-. (31 de octubre de 2016). *Proyecto Hidroeléctrico Toachi Pilatón -CWE-*. Obtenido de Facebook:

<https://www.facebook.com/Proyecto-Hidroel%C3%A9ctrico-Toachi-Pilat%C3%B3n-CWE--1794747837410369/photos/1795764627308690>

Ramírez Orozco, A. I. (2011). *La seguridad de presas desde la perspectiva hidrológica. Conferencia Enzo Levi 2010*. Obtenido de Scielo: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222011000200010

Revuelta Crespo, D., & Gutiérrez Jiménez, J. P. (Diciembre de 2009). *ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN MEDIANTE EL MUESTREO, EXTRACCIÓN Y ROTURA*. Obtenido de DIGITAL.CSIC: https://digital.csic.es/bitstream/10261/6298/1/IIJEC_Revuelta.pdf

Reyes Bermúdez, E. P. (2020). *Soldadura eléctrica*. Obtenido de ResearchGate: https://www.researchgate.net/profile/Erik_Reyes9/publication/350721231_SOLDADURA_ELECTRICA_una_Revision_Sistematica_de_la_Literatura_Electric_Welding_a_Systematic_Review_of_the_Literature/links/606e84714585150fe98ff6c5/SOLDADURA-ELECTRICA-una-Revision-Sis

Romo Proaño, M. (2008). Fundamentos del hormigón simple. En M. Romo Proaño, *temas de hormigón armado* (pág. 27). Ecuador.

Saif Valdez, I. A. (2019). *Análisis comparativo entre ensayos destructivos y no destructivos de la resistencia del hormigón con diferentes métodos de dosificación*. Obtenido de Repositorio Pontificia Universidad Católica del Ecuador: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/17797>

Sandoval Erazo, W. R. (Julio de 2018). *Presas y Embalses*. Obtenido de ResearchGate:
https://www.researchgate.net/publication/326560488_Capítulo_1_Presas_y_Embalses

Sanz Moro, J. (Mayo de 2021). *Control de calidad de soldaduras en estructuras metálicas*. Obtenido de Universidad de Valladolid Repositorio documental:
<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/47193/TFG-I-1820.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Suárez Díaz, J. (s.f.). *Presas de Tierra y Enrocado*. Obtenido de Documen.site:
https://documen.site/download/diapositiva-1-erosioncomco_pdf

UPCOMMONS. (s.f.). Obtenido de Anexo D –Estudio de la soldadura de las aleaciones de aluminio: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/2833/41774-5.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

Yépez, F., & Calderón, F. (13 de Junio de 2014). *Diseño de hormigones de alto desempeño: alta resistencia a la compresión, trabajabilidad adecuada y alta resistencia a la erosión-abrasión para obras hidráulicas*. Obtenido de USFQ PRESS Archivo pdf:
<https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/article/view/162/164>

Anexos