



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

Disertación previa a la obtención del título de Ingeniero Civil

Evaluación técnica de la patología del hormigón de los mono-bloques y diseño del refuerzo estructural de la cimentación para las torres de la línea de transmisión Limón – Macas

Autor: Darwin Eduardo Pazmiño Sandoval

Tutor: Ing. Juan Calos Moya Mg. Sc.

Quito, marzo de 2015

APROBACION: Ing. Byron Morales

Resumen

El tema de la tesis fue desarrollado mediante una investigación de campo con el objetivo de determinar los principales problemas presentados en el hormigón de las cimentaciones y analizar las patologías más representativas, se ejecutaron ensayos de campo obteniéndose muestras de material para efectuar ensayos de laboratorio destinados a demostrar la presencia de un determinado factor que pudo ser el causante del problema; una vez analizada la información obtenida en campo y los resultados de los ensayos de laboratorio, se descartaron los factores que pudieron haber sido el origen del problema y de manera más certera, con los factores restantes se determinó un plan de intervención para la reparación y tratamiento del hormigón para que se garantice el normal funcionamiento durante su vida útil.

Palabras clave: Patología del hormigón, Grietas, Eflorescencias, Resistencia a la compresión.

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a las personas que han hecho posible la culminación de este trabajo y mi carrera universitaria, colaborando de manera directa o indirecta en la consecución de los objetivos planteados; a mi esposa por su gran apoyo durante todas las etapas del estudio, a mis hijos por ser un incentivo en este camino recorrido y a mis padres, quienes me guiaron durante mis primeras etapas de vida e inculcaron en mí valores de honestidad, responsabilidad y superación.

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios por ser la fuerza suprema que me ha impulsado a seguir en el camino de la superación y ha sido el artífice para que en este recorrido hayan existido seres que me han apoyado y guiado en las diferentes etapas de mi vida.

APROBACION DEL TUTOR

Yo, Ingeniero Juan Carlos Moya, tutor designado por la Universidad Internacional del Ecuador UIDE para revisar el Proyecto de Investigación Científica con el tema: "EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA PATOLOGÍA DEL HORMIGÓN DE LOS MONO-BLOQUES Y DISEÑO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL DE LA CIMENTACIÓN PARA LAS TORRES DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN LIMÓN – MACAS" del estudiante Darwin Eduardo Pazmiño Sandoval, alumno de Ingeniería Civil, considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos de fondo y los méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Comité Examinador designado por la Universidad.

Quito, marzo 26 de 2015



Ing. Juan Carlos Moya Mg. Sc.

C.I. 1710919083

AUTORIA DEL TRABAJO DE INVESTIGACION

Yo, Darwin Eduardo Pazmiño Sandoval, declaro que el trabajo de investigación denominado: EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA PATOLOGÍA DEL HORMIGÓN DE LOS MONO-BLOQUES Y DISEÑO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL DE LA CIMENTACIÓN PARA LAS TORRES DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN LIMÓN – MACAS es original, de mi autoría y exclusiva responsabilidad legal y académica, habiéndose citado las fuentes correspondientes y en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, sin restricción de ningún género o especial.

Quito, marzo 26 de 2015



Firma

INDICE DEL CONTENIDO

CAPÍTULO I

	Página
1. El problema	1
1.1. El objeto de investigación.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	1
1.3. Formulación del problema.....	1
1.4. Sistematización.....	2
1.5. Objetivos.....	3
1.5.1 Objetivo general	3
1.5.2 Objetivos específicos	3
1.6. Justificación	4
1.6.1 Justificación teórica.....	4
1.6.2 Justificación práctica.....	4
1.6.3 Justificación relevancia social.....	5
1.7. Ideas a defender.....	5

CAPÍTULO II

2. Marco referencial	7
2.1. Marco conceptual	7
2.2. Marco teórico.....	8
2.2.1 Elementos del hormigón armado	8
a) Componentes del hormigón armado	9

b) Espesores de recubrimiento	9
2.2.2 Patologías del hormigón armado	10
a) Evaluación del hormigón	11
b) Durabilidad del hormigón.....	11
2.2.3 Resistencia al intemperismo	12
a) Ataque químico	12
b) Ataque físico	14
2.2.4 Corrosión del hormigón armado.....	15
a) Tipos de corrosión	15
b) Factores que aceleran la corrosión en el hormigón armado.....	16
2.2.5 Trabajos de reparación	16
2.3. Marco legal	17

CAPÍTULO III

3. Metodología.....	19
3.1. Tipo de metodología.....	19
3.2. Enfoque de la investigación.....	19
3.3. Plan de recolección de la información.....	20
3.3.1 Inspección preliminar	20
3.3.2 Inspección detallada	21
3.3.3 Pruebas de campo	21
3.3.4 Técnicas e instrumentos.....	22

CAPITULO IV

4.	Recopilación, análisis e interpretación de la información.....	26
4.1.	Evaluación preliminar	26
4.2.	Evaluación detallada	35
4.2.1	Pruebas para determinar resistencia a la compresión del hormigón	39
4.2.2	Pruebas para determinar características del hormigón	40
4.2.3	Análisis estructural de los bloques de cimentación	42
4.3.	Propuesta para el problema.....	43
4.3.1	Ejecución de los trabajos	43
4.3.2	Presupuesto de intervención.....	45

CAPITULO V

5.	Conclusiones y recomendaciones	48
5.1.	Conclusiones	48
5.2.	Recomendaciones	51

CAPITULO VI

6.1.	Bibliografía.....	53
6.2.	Anexos.....	55

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1. Corte esquemático de la cimentación tipo mono-bloque	27
Gráfico 2. Problemas detectados en las cimentaciones	29
Gráfico 3. Grietas típicas de las cimentaciones.....	30
Gráfico 4. Ancho de grietas.....	31
Gráfico 5. Patrón de grietas	32
Gráfico 6. Eflorescencias en el hormigón	33
Gráfico 7. Cultivo biológico en el hormigón	34
Gráfico 8. Equipo de extracción de núcleo cilíndrico de hormigón.....	35
Gráfico 9. Núcleo de hormigón extraído	36
Gráfico 10. Prueba esclerométrica.....	37
Gráfico 11. Muestra de lámina delgada para análisis petrográfico	38
Gráfico 12. Ensayo de carbonatación	41

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Problemas analizados en las cimentaciones.....	29
Tabla 2. Ancho de grietas en las cimentaciones	31
Tabla 3. Profundidad de grietas en las cimentaciones	32
Tabla 4. Resultado de los ensayos de resistencia indirecta a la compresión utilizando esclerómetro	39
Tabla 5. Resultado de los ensayos de compresión realizados sobre núcleos cilíndricos de hormigón	40
Tabla 6. Presupuesto referencial para estructuras con grietas menores a 3mm	45
Tabla 7. Presupuesto referencial para estructuras con grietas mayores a 3mm	46
Tabla 8. Presupuesto total de intervención en la LT Limón- Macas.....	47

Introducción

La línea de transmisión de alta tensión Limón - Macas es una obra de infraestructura estratégica del Ecuador, fue construida en el año 1996 con la finalidad de transmitir energía eléctrica a la zona suroriental del país; tiene una longitud de 90 km y es de propiedad del estado ecuatoriano, constituyendo un activo de la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP, siendo operada y mantenida por la unidad de negocio TRANSELECTRIC (perteneciente a la mencionada corporación).

La línea de transmisión está conformada por estructuras metálicas de acero galvanizado tipo celosía, las cuales son soportadas por cimentaciones de hormigón simple tipo mono-bloque y tipo zapatas aisladas; la presente tesis está enfocada a realizar un análisis detallado referido a la evaluación técnica de las patologías presentes en el hormigón de las cimentaciones tipo mono-bloque, las cuales presentan el problema de agrietamiento del hormigón que las conforma.

La durabilidad del hormigón puede verse afectada por diversos factores, los cuales pudieron originarse por errores en la etapa constructiva o por el intemperismo al que están expuestos los elementos de hormigón, cuyas acciones físicas, mecánicas, químicas o biológicas afectan el normal desempeño del hormigón.

Para analizar el problema se realizó un trabajo de campo consistente en la recolección de datos mediante fichas técnicas diseñadas para el efecto, para reconocer las principales patologías presentadas y analizar las causas por las cuales se produjeron.

Para que el hormigón tenga la característica de durabilidad deseada, son factores determinantes: el diseño de sus elementos, las características de los materiales componentes, un adecuado control de calidad del proceso constructivo y la resistencia al intemperismo.

La investigación se realizó con una metodología experimental descriptiva, utilizando para el efecto fichas investigativas en donde se cuantificaron los tipos de patologías presentes en cada estructura y describiendo las características de cada patología (ubicación, dimensiones, color etc.).

En la inspección preliminar se determinaron los tipos de problemas y se planificó la ejecución de la inspección detallada en donde se realizó el análisis de las patologías de manera puntual, determinando los ensayos a ejecutarse (destructivos o no destructivos).

En conformidad con las patologías más representativas, se efectuaron ensayos al hormigón para determinar su resistencia a la compresión, análisis petrográfico para determinar las características del hormigón y presencia de agregados reactivos, se realizó adicionalmente el análisis estructural de los bloques de cimentación para determinar deficiencias en el diseño.

Una vez descartados los factores que pudieron ser los causantes de la patología (agrietamiento del hormigón) factores físicos, químicos o diseño deficiente, se propuso una alternativa para dar solución al problema patológico con su respectivo presupuesto de intervención.

Las acciones correctivas que se desprenden del análisis realizado tienen el propósito de mejorar la confiabilidad de la línea de transmisión eléctrica, evitando que por efectos de deterioro de la obra civil se vea afectado el suministro de energía eléctrica al consumidor, siendo por lo tanto un aporte al mejoramiento de la calidad de vida de las poblaciones que forman parte de la provincia de Morona Santiago.

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA

Evaluación técnica de la patología del hormigón de los mono-bloques y planteamiento de un sistema de refuerzo estructural de la cimentación para las torres de la línea de transmisión de alta tensión Limón - Macas.

1.1. EL OBJETO DE INVESTIGACION

La presente disertación centra su investigación en las cimentaciones tipo mono-bloque pertenecientes a la línea de transmisión Limón – Macas, las cuales presentan el problema de agrietamiento del hormigón que las conforma.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Determinar los factores causantes de la presencia de grietas en las cimentaciones, para la implementación de los trabajos de reparación, los cuales contemplan un adecuado e innovador sistema que detenga el deterioro del hormigón, alargando así su vida útil y por lo tanto de la línea de transmisión.

Gomezjurado (2010, 137) menciona que “Es claro que la durabilidad de un elemento en hormigón depende de las propiedades del mismo y las prácticas de colocación, pero también es función de las condiciones que lo rodean y por esto es importante estudiar muy bien el medio ambiente y las características de servicio a las que estará sometido”.

Por lo mencionado, se hace necesario el planteamiento de acciones correctivas para la aplicación de trabajos de mantenimiento destinados a la reparación y corrección del problema presentado, los cuales deben ejecutarse en forma inmediata para detener el avance del problema y evitar así que la estructura pueda llegar a fallar.

1.3. FORMULACION DEL PROBLEMA

Existen diversas acciones que pueden afectar la resistencia y la durabilidad del hormigón, entre las más generales tenemos: las acciones mecánicas (sobrecargas,

impactos, vibraciones), las acciones físicas (temperatura, humedad, fuego), las acciones químicas (gases contaminantes, aguas agresivas, áridos reactivos, suelos agresivos) y las acciones biológicas (vegetación, microorganismos).

La presente investigación está destinada a evaluar técnicamente la afectación de los elementos constitutivos del hormigón, debido a las grietas presentes en las cimentaciones tipo mono-bloque, el problema se debe a la concurrencia de diversos factores tales como: el intemperismo al que están expuestas, asentamientos, tipo de suelo, materiales inadecuados utilizados en la elaboración del hormigón y la falta de control y seguimiento en la etapa constructiva.

El intemperismo, especialmente con el recurrente ingreso de humedad hacia el interior del hormigón, ataca al acero de refuerzo provocando corrosión del mismo, lo cual afecta también al funcionamiento de la estructura de la cimentación, conduciendo con el paso del tiempo a la aparición de zonas críticas que podrían causar problemas a la estabilidad de las estructuras.

Otros factores a tomarse en cuenta para la determinación de la causa del problema son las características geotécnicas de los suelos de este sector oriental del país; un monitoreo de asentamientos puede darnos datos que servirán para proseguir con investigaciones en este sentido, por otro lado nos pueden servir también para darnos pistas en cuanto a las características del suelo de manera que se pueda evaluar si las cimentaciones construidas no sobrepasan la capacidad portante del suelo.

De manera general deben ser minimizados los efectos de los factores externos que afecten al hormigón, mediante la implementación de obras destinadas a dar protección a la estructura, por lo tanto es más eficaz y menos costosa una medida preventiva que una medida correctiva, con el agravante que las correcciones sin control adecuado pueden ser mal ejecutadas, con la correspondiente consecuencia de daño a la estructura y por lo tanto de su servicialidad.

1.4. SISTEMATIZACION

El problema a estudiarse es enfrentado con una recolección de datos de oficina, los cuales serán analizados para obtener información referente a posibles eventos

causantes de las patologías; luego hay que efectuar una recolección de datos en campo en donde se describen las características cualitativas y cuantitativas de los problemas encontrados y sistemáticamente se organiza la información para ser analizada e interpretada.

El programa a adoptarse para el manejo de los datos a ser utilizados en el estudio del problema es de tipo experimental, en razón de que se analizarán diferentes variables que intervienen en el problema de manera que se logre definir cuál de esas variables es la que más incide en el problema de la infraestructura objeto de estudio.

La información requerida para el estudio de las cimentaciones, será recolectada en campo mediante observaciones directas y mediciones de las características de las patologías tales como espesor, longitud de las grietas y ejecución de determinados ensayos en los elementos afectados, con su correspondiente toma de muestras y fotografías que servirán como evidencias.

Posteriormente se realizará el análisis de los datos con la guía y aplicación de bibliografía especializada, los cuales serán analizados comparativamente de acuerdo a las variables presentadas en este tipo de obra, para esto se utilizarán cuadros de requerimientos mínimos de los elementos que nos ayudarán a determinar el grado de afectación del hormigón.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General:

Evaluar técnicamente y determinar la patología del hormigón de los mono-bloques de cimentación en las torres de la línea de transmisión Limón – Macas.

1.5.2 Objetivos Específicos:

Determinar las causas por las que se produjeron las grietas en el hormigón de las cimentaciones.

Elaborar el plan de tratamiento y proponer la metodología de trabajo para la reparación de las cimentaciones.

Obtener el costo de la implementación del plan de mejoras, con sus correspondientes especificaciones técnicas y procesos constructivos.

1.6. JUSTIFICACION

1.6.1 Justificación Teórica

El mantenimiento de las estructuras de obras civiles es un aspecto que en muchas ocasiones no se le da la importancia que merece, debido a que generalmente las obras civiles están compuestas por elementos de hormigón, los cuales por sus características soportan muy bien el intemperismo; el problema surge cuando aparecen factores no tomados en cuenta en el diseño, Galán (2011) indica que “el hormigón, diseñado y producido para el ambiente en el que va a prestar servicio, es un material muy duradero, pero si el diseño o la producción no son adecuados, se puede deteriorar, dejando de cumplir su función correctamente.”

En una estructura de hormigón, constituye un tema esencial el adecuado comportamiento estructural de sus elementos, de manera que se cumpla con el modelo matemático para el cual fue diseñado, en el caso del presente estudio, los factores que afectaron al hormigón, causaron problemas evidenciados en la aparición de grietas que de alguna manera disminuyen la capacidad del elemento para absorber las sollicitaciones para las cuales fue concebido en su diseño estructural.

La oportuna detección de problemas como el agrietamiento, la pérdida de recubrimiento de hormigón y su correspondiente exposición y deterioro del acero de refuerzo, en estructuras de cimentación, constituyen un tema que merece una investigación detallada de sus causas y posibles soluciones, debido a que éstas afectan, en caso de falla del elemento, de manera directa a la estabilidad estructura.

1.6.2 Justificación Práctica

La línea de transmisión Limón - Macas forma parte del sistema nacional de transmisión del Ecuador, lo cual implica que por la misma fluye la energía eléctrica que dota del tal servicio a las poblaciones del suroriente del país, por lo tanto es de

mucha importancia el conservar la estabilidad de las torres, por ende mantener la confiabilidad de la entrega de energía en este sector del país.

Debido a que el servicio de energía eléctrica es uno de los principales servicios básicos para la población en la actualidad, se hace necesario efectuar trabajos de mantenimiento en las líneas de transmisión del país, los que no impliquen suspensión del fluido eléctrico, siendo así, los trabajos de mantenimiento propuestos para la solución del problema no podrán incluir acciones tales como construcción de nuevas cimentaciones.

1.6.3 Justificación Relevancia Social

Dada la condición en que la línea de transmisión Limón-Macas se vea afectada debido a inestabilidad de las estructuras por falla de la cimentación a causa de las grietas presentadas, se produciría un problema en la normal entrega del servicio de energía eléctrica a las empresas eléctricas distribuidoras en la zona suroriental: Limón Indanza, Méndez, Macas, Sucúa, con la consecuente molestia en la población y pérdidas económicas de los negocios que dependen de la electricidad.

En consecuencia, el mayor beneficiado por una acción correctiva al problema presentado en las cimentaciones de las estructuras, es la población del sector suroriente del país, tomando en cuenta que el correcto funcionamiento de la referida línea de transmisión, logrará como consecuencia que se eviten inconvenientes futuros que puedan afectar las actividades cotidianas de la población y del comercio de la zona.

1.7. IDEAS A DEFENDER

- 1) La durabilidad del hormigón es una garantía para su desempeño estructural, pero su resistencia no es suficiente para predecir su durabilidad, depende también de la química.
- 2) El conocimiento de la composición química de los agregados que conforman el hormigón, constituye un punto esencial para evitar reacciones indeseables que pueden causar deterioro futuro.

- 3) Un adecuado control de los trabajos durante la etapa de construcción, con la vigilancia del cumplimiento de especificaciones técnicas y normas de construcción, disminuye los riesgos de problemas que se harán evidentes durante la vida útil de la estructura de hormigón.

CAPÍTULO II

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO CONCEPTUAL

Acero de refuerzo: Barra de acero con patrones de corrugado en su superficie que le sirve para proporcionar una mayor unión con el hormigón cuando se usa en hormigón armado (Harrys, 2006, p. 800).

Corrosión: La corrosión es la interacción de un metal con el medio que lo rodea, produciendo el consiguiente deterioro en sus propiedades tanto físicas como químicas. La característica fundamental de este fenómeno, es que sólo ocurre en presencia de un electrólito, ocasionando regiones plenamente identificadas, llamadas estas anódicas y catódicas (Paredes, 2011, p. 2).

Eflorescencias: El término eflorescencias se emplea para describir depósitos que se forman algunas veces sobre la superficie de los hormigones, los morteros u otros materiales de construcción. Usualmente, los depósitos eflorescentes están compuestos de sales de calcio (principalmente carbonatos y sulfatos) o de metales alcalinos (sodio y potasio), o de una combinación de ambos. (Sánchez de Guzmán, 2011, p. 70).

Fisura: Se denomina fisura la separación incompleta entre dos o más partes con o sin espacio entre ellas. Su identificación se realizará según su dirección, ancho y profundidad utilizando los siguientes adjetivos: longitudinal, transversal, vertical, diagonal, o aleatoria (Muñoz, 2001, p. 11)

Hormigón: Material pétreo, formado mediante la mezcla de un agregado (tales como piedras de forma irregular o piedra triturada) con cemento (que actúa como el material aglutinante) y agua, permitiendo que la mezcla se seque y endurezca (Harrys, 2006, p. 243).

Intemperismo: Cambios en el color, la textura, la dureza, la composición química, u otras propiedades de un material natural o artificial debido a la acción de la intemperie (Harrys, 2006, p. 1063).

Patologías de la construcción del hormigón: La patología puede ser definida como la parte de la ingeniería que estudia los síntomas, los mecanismos, las causas y los orígenes de los defectos de las obras civiles, o sea, es el estudio de las partes que componen el diagnóstico del problema (Lago, 1997, p. 5).

Reacción química: Proceso mediante el cual una o más sustancias químicas se convierten en una o más sustancias diferentes (Bull Publishing, 1985, p. 150).

Reacción electroquímica: una reacción electroquímica es una reacción de cambio de electrones; oxidación o reducción en un electrodo (Ramírez, 2009, p. 23)

2.2. MARCO TEORICO

2.2.1 Elementos del hormigón armado:

El hormigón es utilizado en la actualidad para la fabricación de distintos elementos en obras de infraestructura de diversa índole, aplicadas en las diferentes ramas de la ingeniería civil; por esto es de vital importancia para el buen funcionamiento de la obra, un minucioso control de calidad en la fabricación del hormigón, lo cual evitará a futuro, problemas e inconvenientes que afecten a la estructura y por ende a su vida útil.

El hormigón presenta, como ventaja indiscutible frente a los demás materiales, su cualidad de formáceo, es decir, de adaptarse a cualquier forma de acuerdo con el molde o encofrado que lo contiene. Ello proporciona al técnico que lo emplea una mayor libertad al proyectar estructuras, con la contrapartida de exigir de él un proyecto más prolijo, por existir más variables que definir y más aspectos que detallar. En la elección final hay que tener en cuenta la facilidad de ejecución, tanto del encofrado como de la colocación de armaduras y del hormigón (Jiménez, 1973, p. 167).

Debido a lo mencionado, el hormigón constituye un excelente material para ser utilizado, pero debe tenerse muy en cuenta su correcta fabricación, pues de ello depende en gran medida el éxito de la funcionalidad y durabilidad de la obra, lo cual está íntimamente relacionado con el cumplimiento de la expectativa de la vida útil para la cual fue diseñada.

a) Componentes del hormigón armado:

El hormigón se compone de áridos (agregado grueso, agregado fino), material aglutinante (cemento), para su elaboración se utiliza agua, la misma que es fundamental en esta etapa, pues de ella dependen factores futuros como la resistencia una vez endurecido, además durante la elaboración del hormigón el agua ayuda a la trabajabilidad durante la puesta en obra.

Según Salas (1989, p. 11): “Las características de los áridos empleados para la fabricación del hormigón deberán permitir alcanzar la adecuada resistencia y durabilidad del mismo, así como las restantes exigencias que se requieran al Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares”.

El hormigón en su estado endurecido, se crea debido a la acción del elemento ligante, es decir el elemento que sirve de nexo para que los áridos permanezcan unidos, según Jiménez (1973, p. 11): “Los conglomerantes hidráulicos más importantes son los cementos, que de una manera general pueden clasificarse en cementos portland y cementos especiales”.

El acero de refuerzo en el hormigón armado cumple la función de absorber los esfuerzos de tracción y corte de los elementos, por lo que tal como los otros elementos, se debe construir tomando en cuenta los detalles necesario para la colocación del acero de refuerzo, de manera que en su conjunto el hormigón armado cumpla su trabajo y mantenga su funcionalidad.

b) Espesores de recubrimiento:

Para que el hormigón armado trabaje adecuadamente, es decir absorba las sollicitaciones de tracción y compresión al que es sometido durante el uso, sus componentes deben haberse conformado siguiendo las respectivas normativas y especificaciones técnicas, la correcta aplicación de éstas garantizará la materialización del modelo matemático con el cual fue concebido su diseño.

Según Jiménez (1973): “Se denomina recubrimiento de una barra a la distancia libre entre su superficie y el paramento más próximo a la pieza. El objeto del recubrimiento es proteger las armaduras, tanto de la corrosión como de la posible

acción del fuego. Por ellos es fundamental la buena compacidad del hormigón del recubrimiento, más aún que su espesor”. (p. 172)

Conforme a lo establecido en la Norma Ecuatoriana de la Construcción, Capítulo 4 (NEC 2011), se indica que “El refuerzo debe ser colocado a una distancia mínima de la superficie del hormigón tal como se indica en el capítulo 7 del ACI 318. Este recubrimiento evita el pandeo bajo ciertas condiciones de carga de compresión, evita la oxidación cuando se exponga al clima y la pérdida de resistencia cuando se expone al fuego”.

Al igual que la adecuada ejecución del hormigón como tal, se constituye en parte fundamental del hormigón armado, la colocación del acero de refuerzo, la correcta aplicación de las normas correspondientes y consecuentemente un control minucioso por parte de los responsables de la construcción, es decir fiscalización profesional y capacitada.

2.2.2 Patologías del hormigón armado:

Debido a su característica de ser elaborado a partir de otros elementos y en razón de que en dicha elaboración intervienen la mano del hombre, el hormigón armado es propenso a errores en su fabricación, lo cual puede producir en su etapa de servicio patologías que afectan sus características físicas y por lo tanto su vida útil.

Conforme a lo indicado por Do Lago (1997): “Los problemas patológicos, salvo raras excepciones, presentan manifestaciones externas características, a partir de las cuales se puede deducir cual es la naturaleza, el origen y los mecanismos de los fenómenos involucrados, así como estimar sus probables consecuencias. Estos síntomas, también denominados lesiones, daños, defectos o manifestaciones patológicas, pueden ser descritos y clasificados, orientando un primer diagnóstico, a partir de detalladas y experimentadas observaciones visuales.” (p. 5)

Se puede indicar entonces que el hormigón es propenso a presentar patologías debido a diversos factores, los mismos que deben ser identificados adecuadamente para en base a ello, escoger la aplicación de la metodología más adecuada para la reparación o sustitución de el o los elementos estructurales que presentan síntomas de afectación.

a) Evaluación del hormigón de las cimentaciones:

Para llegar a una evaluación específica hay que recabar información de manera sistematizada y ordenada, según Broto (2004 p. 168): “La diagnosis de una estructura exige seguir un proceso ordenado en su reconocimiento. Es conveniente trabajar con una metodología que nos permita ir avanzando por etapas sucesivas hasta llegara a las conclusiones finales.” Las tres etapas esenciales de todo proceso de evaluación son: observación, estudios y diagnóstico.

La observación se basa en hacer un reconocimiento inicial de los componentes estructurales del hormigón y detectar la presencia de síntomas como deformaciones excesivas, fisuraciones o grietas, cambio de aspecto superficial del hormigón; los estudios previos consisten en recolectar información acerca de la estructura en planos, archivos constructivos, agresividad ambiental del entorno y finalmente el diagnóstico decidirá el procedimiento a seguir para obtener mayor información y así corroborar o no las hipótesis iniciales. (Broto, 2004 p: 168-172)

En definitiva hay que definir tan claramente como sea posible las causas del daño, es decir la patología presentada en la estructura de hormigón, de manera que la propuesta de reparación sea la más adecuada y los resultados de comportamiento estructural en el futuro tengan una duración aceptable durante toda a su vida útil.

b) Durabilidad del hormigón:

La durabilidad del hormigón es una de las características por la cuales éste es utilizado en innumerables obras de construcción, en especial las que van a estar expuestas a la intemperie, hay que anotar también que debido a su proceso de fabricación, el hormigón está sujeto a malas técnicas constructivas que pueden afectar las características propias del hormigón, entre estas la durabilidad.

Jiménez (1973, 111) menciona que “para cumplir su cometido como material de construcción, el hormigón debe ser no sólo resistente, sino también durable. En este sentido, puede definirse la durabilidad del hormigón como el conjunto de propiedades necesarias para conseguir que el material conserve, durante su vida de servicio prevista y hasta el final de la misma, un coeficiente de seguridad de valor aceptable”.

De manera general los factores determinantes de la durabilidad de una estructura de hormigón armado son: el diseño y cálculo de la estructura (geometría y cuantía de acero de refuerzo), los materiales empleados, las prácticas constructivas y los procedimientos de protección y curado (condiciones de humedad y de temperatura). (Sánchez de Guzmán, 2011, p. 1)

2.2.3 Resistencia al intemperismo:

Los elementos de hormigón armado son concebidos desde su origen para resistir a las acciones producidas por la intemperie, es decir estos elementos van a estar expuestos a las acciones de la lluvia, el viento, el sol, los cambios de temperatura, etc., es por esto que se ha utilizado el hormigón como elemento constitutivo resistente para varias obras de importancia en la infraestructura del país.

Según Broto (2004, 141): "La agresividad del entorno está relacionada con acciones físicas y químicas que actúan sobre las estructuras de hormigón, independientemente de las acciones mecánicas, de las variaciones volumétricas de origen térmico, de la retracción hidráulica y otras previstas en el dimensionamiento de las estructuras de hormigón".

Es por esto que la resistencia al intemperismo es una característica que juega un papel importante en la durabilidad del hormigón, consecuentemente debe tenerse especial cuidado en la elaboración del mismo, de manera que se disminuyan los errores que puedan desembocar en fallas que permitan al medio ambiente perjudicar al material.

a) Ataque químico

Son los ataques que se producen en las estructuras por acciones patológicas de carácter químico por presencia de sales, ácidos o álcalis que reaccionan provocando descomposiciones que afectan la integridad del material, entre los ataques químicos tenemos: ataque por ácidos, ataque por sulfatos, reacción álcali-agregado, carbonatación del hormigón, corrosión del acero.

Ataque por ácidos: el hormigón armado resulta afectado debido a que las soluciones ácidas, provenientes del medio en el que está ubicado, reaccionan con el hidróxido de calcio y luego con los hidrosilicatos e hidroaluminatos de calcio del

cemento endurecido para formar sales de calcio. Además cuando el hormigón es muy permeable los ácidos pueden llegar hasta el acero de refuerzo y ocasionar su corrosión.

Ataque por sulfatos: existen dos orígenes que pueden provocar este ataque, el primero se produce cuando los sulfatos reaccionan químicamente con la cal y al aluminato de calcio hidratados en la pasta de cemento, formando sulfato de calcio y sulfoaluminato respectivamente, lo cual produce una considerable expansión que ocasiona esfuerzos de tracción internos que culminan con agrietamientos. El segundo origen se da cuando el hormigón está en contacto con aguas alcalinas con deposición de sulfato en los poros y canales capilares, en los ciclos de humedecimiento y secado se pueden llenar los poros y desarrollar presiones suficientes para la rotura del hormigón.

Reacción álcali-agregado: Se produce cuando existe una reacción química de los agregados que contengan óxidos de sílice inestables con el cemento (hidróxidos alcalinos), lo cual origina expansiones dentro del hormigón endurecido. En consecuencia cuando se quiere aprovechar una fuente de agregados con comportamiento desconocido es recomendable hacer exámenes petrográficos y químicos, así como ensayos de expansión de morteros.

Carbonatación del hormigón: Sucede cuando el hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) presente en la pasta de cemento, en presencia de agua, reacciona con el dióxido de carbono (CO_2), produciendo carbonato de calcio (CaCO_3), generando así una pérdida de volumen. La carbonatación se presenta en la superficie del hormigón produciendo descascaramiento superficial, su profundidad dependerá de la porosidad de la pasta.

Corrosión del acero de refuerzo: se presenta por efectos electroquímicos en presencia de oxígeno y soluciones acuosas de sales, bases o ácidas en el hormigón, la forma más común es causada por el flujo de una corriente generada por diferencial de humedades, presencia de oxígeno o concentración electrolitos, así mismo los iones de cloruro de calcio causan corrosión del acero produciendo expansión y aparición de esfuerzos de tracción que producen agrietamiento (Gomezjurado, 2010, p. 138-140).

b) Ataque físico

Consiste en todos aquellos factores que producen en las estructuras una problemática patológica a causa de fenómenos físicos, entre los más comunes se puede mencionar: congelamiento-deshielo, humedecimiento-secado, cambios de temperaturas, abrasión, fuego.

Congelamiento-deshielo: al disminuir la temperatura de un hormigón saturado el agua que se encuentra dentro de los poros aumenta de volumen por congelamiento produciendo expansión y fisuras en el elemento, volviéndose crítico cuando los ciclos de congelamiento-deshielo se hacen repetitivos, produciendo un efecto acumulativo.

Humedecimiento y secado: cuando un elemento está sujeto ciclos de humedecimiento y secado, se presentan eflorescencias en la superficie del hormigón, las eflorescencias constan de un depósito de sales que son lixiviadas del hormigón y cristalizadas por la evaporación del agua y la interacción con el dióxido de carbono presente en la atmósfera; la eflorescencia indica que está ocurriendo lixiviación dentro del hormigón, su exceso aumenta la porosidad, disminuye la resistencia incrementando la vulnerabilidad a los químicos agresivos.

Abrasión: se ocasiona por fluidos en movimiento que crean fricción o cavitación produciendo desgaste sobre la superficie del hormigón, en la medida que la resistencia a la compresión aumenta, se incrementa su resistencia a la abrasión, esta propiedad es importante en elementos sometidos a tráfico, deslizamientos y rozamiento.

Exposición al fuego: la resistencia a los daños causados por el fuego es menor a medida que aumenta el espesor de la estructura. En el hormigón armado expuesto al fuego las capas superficiales calientes tienden a separarse y descascararse desde la parte de la estructura más fría, produciéndose grietas en las juntas, en las paredes de hormigón mal compactadas o en los planos de las varillas de refuerzo, el hormigón comienza a perder su resistencia a los 330°C pero una vez que el acero de refuerzo queda al descubierto se calienta rápidamente con la consecuente pérdida de resistencia (Gomezjurado, 2010, p. 140-141).

2.2.4 Corrosión del hormigón armado:

Reacción química: los metales se encuentran en la naturaleza formando compuestos y para poder utilizarlos hay que extraerlos mediante un proceso de reducción, para lo cual se requiere cierta cantidad de energía; el proceso inverso, mediante el cual el metal regresa a su estado natural, va acompañado de un descenso de energía que corresponde a un proceso de oxidación, conocido comúnmente como corrosión (Sika, 1993, p. 1).

Reacción electroquímica: se genera cuando la corrosión del metal se produce en un medio acuoso con una reacción de oxidación, una de reducción y la circulación de iones a través de un electrolito; la zona donde se reproduce la oxidación del metal se llama ánodo y la zona donde se depositan los residuos se llama cátodo (Sika, 1993, p. 1).

Pérez Méndez (2010, 18) indica lo siguiente: “La corrosión puede provocar además que los elementos de hormigón sufran daños estructurales debido a la pérdida de adherencia entre el hormigón y el acero, y a la pérdida de la sección de la barra, razones que a su vez originan un descenso en la capacidad mecánica del acero”.

En su tesis de maestría Pérez Méndez (2010, 21), indica que: “Hay que señalar que la manifestación del daño de corrosión va a depender de numerosos factores, de los cuales se puede mencionar: la separación de las armaduras, el diámetro, el espesor del recubrimiento, la calidad del hormigón y la forma del elemento estructural”.

En la medida de lo posible una vez detectado el problema de corrosión en el elemento de hormigón, es necesario la aplicación de un tratamiento específico que ayude a mitigar los efectos que este problema genera, permitiendo conservar la vida útil residual del hormigón y manteniendo su servicialidad.

a) Tipos de corrosión

Corrosión localizada (por picaduras): en la mayoría de los casos de da por la presencia de cloruros, los cuales producen la corrosión de la armadura en forma puntual, haciendo que la capa pasivamente se destruya en ciertos puntos

progresando en profundidad, pudiendo llegar a producir la rotura puntual de la armadura.

Corrosión generalizada: se produce cuando la capa pasivamente se destruye en forma total, esto puede suceder entre otras causas por la carbonatación del hormigón o por la lluvia acida (Sika, 1993, p. 2).

b) Factores que aceleran la corrosión en el hormigón armado

De acuerdo a lo indicado por Broto (2004): “El deterioro del acero de refuerzo se produce de forma acelerada si no son considerados algunos aspectos en la ejecución del hormigón. Si durante esta etapa, que incluye el amasado y fraguado se producen fallas por no realizar los procesos correctamente, podrían producir una formación excesiva de poros o de un tamaño de los mismos mayor al necesario.” (p. 162)

En su etapa de servicio la **humedad** es el factor que más influye en la velocidad de corrosión, si los poros del hormigón están saturados de humedad, la pila de corrosión está muy facilitada, pero las velocidades de corrosión máximas se dan en hormigones con contenido de humedad altas, pero sin saturar los poros, en este caso el oxígeno llega libremente a la armadura.

El aumento de la concentración de **cloruros** en el hormigón, está directamente relacionado con el incremento de la velocidad de corrosión del acero de refuerzo. La **temperatura** también juega un papel importante en el deterioro del acero de refuerzo, a temperaturas altas se produce un incremento de la velocidad de corrosión y la movilidad de iones, por otro lado la disminución de la temperatura produce condensaciones que dan lugar a incrementos locales de contenido de humedad, lo que facilita el proceso de corrosión (Sika, 1993, p. 2).

2.2.5 Trabajos de reparación

Antes de iniciar el proceso de reparación de la estructura se debe comprobar el estado de la superficie mediante una inspección primaria que nos dé un indicio del problema presente, también es conveniente aplicar posteriormente ensayos no destructivos que nos indiquen con mayor claridad el tipo de patología que está

afectando a la estructura, en último caso cuando no se tengan datos concisos se debe aplicar métodos destructivos para efectuar ensayos en laboratorio.

Para iniciar se debe **preparar la superficie** con la utilización de métodos tales como: chorro de arena, chorro de agua a alta presión, chorro de agua y arena, chorro de llamas, fresado, los cuales nos ayudarán a eliminar las partes sueltas del hormigón.

Una vez preparada la superficie del hormigón y de las armaduras hay que **proteger las varillas de refuerzo** mediante la aplicación de un recubrimiento epóxico o acrílico que incluya en su composición inhibidores de corrosión, lo cual garantizará su protección por muchos años.

Antes de proteger la sección del hormigón, se debe **tratar las fisuras**, en el caso de que éstas sean menores a 3 mm se usa una soldadura rígida en base a resinas epóxicas de baja viscosidad, aplicadas ya sea por inyección o gravedad. Si las fisuras son mayores a 3 mm se procede a rellenar con una resina de viscosidad normal o con morteros epóxicos según el tamaño.

Una vez efectuados los trabajos anteriormente descritos, se procede a efectuar la **recuperación de la sección inicial del elemento** estructural, mediante un mortero mejorado con resina, lo cual le proporciona mejor adherencia, resistencia e impermeabilidad; adicionalmente hay que **proteger la estructura contra nuevos daños** con un recubrimiento resistente al medio agresivo al que está expuesto (Sika, 1993, p. 4).

2.3. MARCO LEGAL

American Society for Testing and Materials ASTM

Norma ASTM E119, método de ensayo para medir la resistencia al fuego del hormigón.

Norma ASTM C876, protección contra la corrosión

Norma ASTM C227, reacción álcali-agregado

Norma ASTM C586, reacción álcali-carbonato

Norma ASTM C452, C1012 resistencia a los sulfatos

Norma ASTM C418, C779, C944 resistencia a la abrasión

Norma ASTM C42, método normalizado de obtención y ensayo de núcleos perforados de hormigón

Norma ASTM C 295, caracterización petrográfica del agregado (para evitar agregados reactivos, reacción álcali-agregado)

Norma ASTM C805, procedimiento martillo schmidt (esclerómetro)

ASTM C856, norma para la examinación por microscopio petrográfico del hormigón endurecido

Norma Técnica Colombia NTC

Norma NTC 3692, procedimiento martillo schmidt (esclerómetro)

Norma NTC 3759, procedimiento pistola de Windsor (resistencia a la penetración)

Norma NTC 3658 extracción de núcleos

American Concrete Institute ACI

ACI 201 Durabilidad del hormigón

ACI 364.1R Guía para la evaluación de estructuras de hormigón antes de la rehabilitación

ACI 228.1R Métodos en sitio para determinar la resistencia del hormigón

ACI 224.1R Causas, evaluación y reparación de grietas en estructuras de hormigón

Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2011

NEC 2011 Capítulo 1, numeral 1.2.4 requisitos de durabilidad del hormigón

NEC 2011 Capítulo 2, peligro sísmico, zonas sísmicas y factor de zona z

Uniform Building Code UBC

CAPÍTULO III

3. METODOLOGIA

3.1. TIPO DE METODOLOGÍA

La presente investigación se realizará mediante la aplicación de fichas investigativas las cuales recogerán datos en campo para identificar las características de los problemas patológicos predominantes que posteriormente se analizarán de manera minuciosa a fin de extraer generalizaciones que nos permita predecir las variables que están afectando a las estructuras.

Se aplicará una metodología de tipo experimental – descriptiva, como parte del estudio **experimental** se realizarán ensayos de laboratorio aplicados a los componentes del hormigón (en primera instancia van a utilizar ensayos de tipo no destructivos y si las condiciones lo determinan, se aplicaran ensayos destructivos), con los que se busca recabar información y datos para encontrar las causas que provocaron la patología presentada en el hormigón de las cimentaciones.

3.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Los ensayos de laboratorio están destinados a obtener información **cuantitativa** acerca de: la resistencia aproximada del hormigón, determinación de la presencia de reacción álcali-agregado, medición de la actividad, ancho de las fisuras y sus características

La información de las inspecciones realizadas a las estructuras serán descritas en su respectiva ficha investigativa, en dicha inspección se deben registrar **cuantitativamente** características de los daños como los siguientes: desplomes, planos de falla, fisuras por acciones físicas, cambios de aspecto de la masa, fisuras estructurales, fracturas y aplastamientos, erosión, descascaramiento, polvo, desmoronamientos, ablandamiento (perdida de rigidez), hinchamientos y reventones, contaminación por polución, cultivos biológicos (biocapa), decoloración y manchado, eflorescencias, lixiviación, cristalización, expansión, corrosión del acero de refuerzo, corrosión de otros metales embebidos. (Sánchez de Guzmán, 2011, p. 165-166)

Se puede indicar en resumen que el análisis de la patología presentada en el hormigón de las cimentaciones de las estructuras de la línea de transmisión Limón – Macas, va a ser realizado mediante la recopilación de información de campo con la generación de fichas investigativas que detallarán las características del problema, lo que será complementado con la aplicación de ensayos de laboratorio específicos, todo esto concluirá en una propuesta técnica y económica para la reparación de los elementos afectados.

3.3. PLAN DE RECOLECCION DE LA INFORMACION

3.3.1 Inspección preliminar

Para determinar el grado de afectación de las cimentaciones se van a ejecutar inspecciones en diferentes niveles, como primer paso se realizará una inspección preliminar para determinar las condiciones de la estructura y evaluar el tipo de problemas que la están afectando de manera que se pueda planificar la inspección detallada, en esta etapa se debe recabar la mayor cantidad de información técnica con la finalidad de obtener antecedentes de diversa índole que conduzca a la mejor comprensión de la patología ocurrida y así mismo optar por la mejor decisión para dar solución al problema.

Se aplicaran algunos procedimientos básicos que permitirán comprobar en primera instancia el estado de la superficie, esto nos ayudará a clasificar en forma general la patología:

- Pasar la mano sobre la superficie para reconocer si se trata de un hormigón que se deshace en polvo.
- Golpear la superficie con un martillo tipo geólogo para conseguir indicaciones referentes a su solidez.
- Al pasar una herramienta sobre la superficie, es posible desprender partes disgregadas, esto nos dará una idea de la resistencia, cuando se trata de lechadas de morteros de bajas resistencias se producen rayas fácilmente reconocibles.
- Al rociar con agua la superficie, si se forman perlas esto indica la existencia de residuos de desencofrantes o productos de curado lo cual afectaría a la adherencia.

- Colocando un plástico sobre la superficie y sellando sus bordes, se puede comprobar si el hormigón contiene humedad.

(Sika, 1993, p. 4).

3.3.2 Inspección detallada

Partiendo de los informes de la inspección preliminar se efectuará una inspección detallada para analizar patologías puntuales, esto se realizará mediante inspecciones visuales detalladas, toma de fotografías, levantamiento gráfico de las afectaciones mediante fichas investigativas destinadas para el efecto; en esta etapa se realizará el planeamiento y definición de los ensayos a ejecutarse posteriormente en cada estructura.

El levantamiento gráfico de las patologías se debe realizar en un formato y a una escala apropiada, de manera que se pueda esquematizar adecuadamente la afectación presentada; en el caso de las fisuras se indicará: dirección, posición, longitud, ancho, profundidad y cualquier otro dato que nos dé indicios de las causas y efectos presentes, para el caso de manchas o eflorescencias se destacará: ubicación, dimensión, color, consistencia y anotaciones adicionales de relevancia para la investigación.

En una etapa posterior se realizará un análisis de la información recogida en campo para establecer con base a patrones de grietas, manchas o eflorescencias la clase de falla, lo cual nos dará una idea de los tipos de ensayos requeridos, pudiendo ser ensayos no destructivos del hormigón y en casos especiales ensayos de extracción de núcleos que nos indicarán si el daño es o no estructural.

3.3.3 Pruebas de campo

Se realizará la visita al campo para aplicar el o los ensayos de acuerdo al tipo de problema determinado en las etapas preliminar y detallada; pruebas de resistencia mediante esclerómetros, pruebas de penetración, pruebas de carbonatación, pruebas de reacción álcali-agregado; en situaciones especiales si los datos recabados así lo sugieren y el caso lo amerita, se pueden realizar ensayos con extracción de núcleos de hormigón para efectuar pruebas en laboratorio referentes a la compresión o la resistencia a la tracción indirecta.

Con la información recogida y con los resultados de los ensayos, nuevamente se realizarán los análisis respectivos con los que se logrará identificar el tipo de patología presente en el hormigón y se determina con base al análisis de tipo estructural, en primer lugar si la afectación no compromete el desempeño estructural del elemento, es decir si es viable o no un trabajo de reparación que permita mantener el tiempo de vida útil del elemento estructural.

3.3.4 Técnicas e instrumentos

A continuación se describen las técnicas e instrumentos que se utilizarán para la determinación del estado en el que se encuentra el hormigón de las cimentaciones objeto del presente estudio.

Impacto acústico con martillo: la forma más rápida de auscultar una estructura es el uso de un martillo convencional (o de Geología), que por el sonido que despide puede indicar si hay presencia de vacíos, delaminaciones, y/o discontinuidades superficiales del hormigón.

Martillo de rebote o esclerómetro (ASTM C 805): es un equipo que permite estimar la resistencia aproximada del hormigón, basado en curvas de calibración con una limitada precisión, también permite comparar la calidad del hormigón (uniformidad a nivel superficial) entre diferentes áreas del miembro estructural.

Resistencia a la penetración, pistola de Windsor (ASTM C 803): este equipo también permite estimar de manera aproximada la resistencia del hormigón, su uniformidad a nivel superficial y su calidad general.

Velocidad de pulso ultrasónico (ASTM C 597): la determinación de la velocidad de pulso ultrasónico, suministra un estimativo de la uniformidad, calidad o resistencia a la compresión del hormigón, mediante curvas de calibración previamente elaboradas.

Medidor de humedad (ASTM D 3017): el medidor nuclear de humedad estima el contenido de humedad del hormigón endurecido, mediante el bombardeo de neutrones.

Contenido de cloruros (NTC 4049, ASTM C 1218, AASHTO 260): para la determinación del contenido de cloruros del hormigón, se extrae polvo para realizar ensayos químicos.

Para la medición del ancho de las fisuras se utiliza un comparador de fisuras que consiste en una lámina transparente con una escala gráfica que nos permite medir el ancho de la fisura. Para medir la actividad de las fisuras se utilizan testigos de vidrio que permiten medir la evolución de algunas magnitudes de las fisuras.

(Sánchez de Guzmán, 2011, p. 166-170)

Fichas investigativas:

En las fichas investigativas se debe incluir la información que permita identificar claramente el elemento inspeccionado, su código de identificación, su ubicación geográfica, registro fotográfico y cualquier otro dato adicional relevante para la investigación.

Adicionalmente se recolectarán datos referentes a las características de las anomalías presentadas en el hormigón, estas contarán con listado de preguntas relacionadas con las condiciones de apariencia del hormigón, afectación de la superficie (desmoronamientos, hinchamientos), presencias de elementos extraños como eflorescencias, cultivo biológico, etc.

A continuación se presenta como ejemplo la ficha investigativa a ser utilizada en la recolección de los datos en campo:

**FICHA DE EVALUACION TECNICA
 PATOLOGIA DEL HORMIGON DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS
 ESTRUCTURAS DE LA LINEA DE TRANSMISION LIMON - MACAS**



FICHA N°

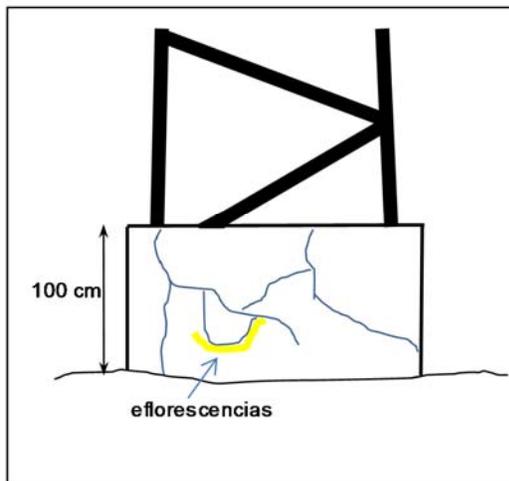
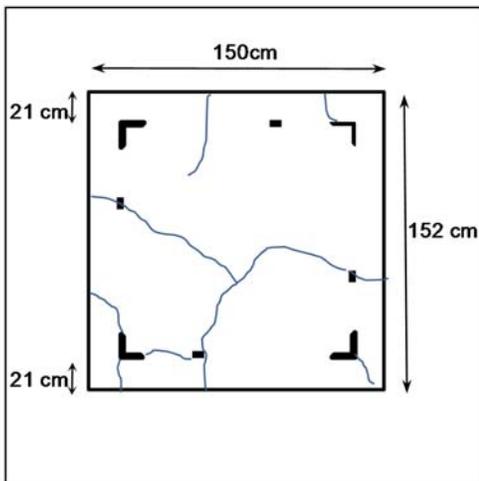
Página 1 de 2

FECHA:

ESTRUCTURA N°:

UBICACIÓN GEOGRAFICA:

ESQUEMA DE DIMENSIONES Y PROBLEMAS DETECTADOS EN EL HORMIGON:



INDICAR CON UNA X QUE TIPO DE GRIETA ES LA MAS REPRESENTATIVA

GRIETAS MENORES A 1 mm	GRIETAS MAYORES A 5 mm	X
GRIETAS ENTRE 1 A 3 mm	PROFUNDIDAD DE GRIETAS	30 cm
GRIETAS ENTRE 3 A 5 mm		

REGISTRO FOTOGRAFICO



**FICHA DE EVALUACION TECNICA
 PATOLOGIA DEL HORMIGON DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS
 ESTRUCTURAS DE LA LINEA DE TRANSMISION LIMON - MACAS**



FICHA N°

002

Página 2 de 2

INDICAR CON UNA X SI SE PRESENTAN ALGUNAS DE ESTAS CONDICIONES

	SI	NO
Existen grietas en el hormigón de la cimentación _____	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Existe desplome de la estructura _____	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Existe cambios de aspectos de la masa del hormigón _____	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Existe erosión de la base de la estructura _____	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Existe descascaramiento del hormigón _____	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Existe exfoliación del hormigón _____	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Existe polvo presente en las caras del hormigón _____	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Existen desmoronamientos del hormigón _____	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Existen hinchamientos y reventones del hormigón _____	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Existe contaminación por polución _____	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Existe cultivo biológico (biocapa) _____	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Existe decoloración y manchado del hormigón _____	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Existen eflorescencias en el hormigón _____	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Existe lixiviación en el hormigón _____	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Existe cristalización del hormigón _____	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Existe expansión del hormigón _____	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Existe evidencia de corrosión del acero de refuerzo _____	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Existe evidencia de corrosión de otros metales embebidos _____	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

OBSERVACIONES: Existen fisuras de hasta 7 mm en la masa del hormigón y presencia de eflorescencias de color blanco

ELABORADO POR:

Darwin E. Pazmiño S.

CAPITULO IV

4. RECOPIACION, ANALISIS E INTERPRETACION DE LA INFORMACION

En base a las recomendaciones presentadas en el ACI 364, referente a la evaluación de estructuras de hormigón previo a su rehabilitación, se efectuó una evaluación la cual está dividida en dos fases, una evaluación preliminar que nos informará sobre la condición de la estructura, tipo y gravedad de los problemas, identificando la necesidad o no de una investigación más a fondo, en esta etapa se realiza una revisión de los documentos históricos de la obra como reportes de construcción, planos as-built, entrevistas a los constructores, fiscalizadores, personal de mantenimiento, etc.

La segunda fase consiste en una evaluación más detallada en donde se realizarán ensayos de campo y de laboratorio con su correspondiente toma de muestras las cuales servirán para efectuar los análisis e interpretaciones del caso según el experimento realizado.

4.1. EVALUACION PRELIMINAR

De acuerdo a los datos recabados en los archivos de CELEC EP, institución a cargo de los bienes a ser analizados, la línea de transmisión Limón-Macas está conformada por un total de 312 estructuras, de las cuales 225 tienen cimentación tipo mono-bloque, nuestro estudio estará centrado en analizar este universo de 225 estructuras, las cuales son las que presentan problemas patológicos del hormigón en su cimentación.

De los documentos revisados y de las entrevistas realizadas al personal de operación y mantenimiento de CELEC EP-TRANSELECTRIC, se desprende que los mono-bloques de cimentación son elementos macizos de hormigón simple de una resistencia aproximada a la compresión 210 kg/cm^2 , cabe aclarar que los bloques de cimentación de acuerdo a la información proporcionada no cuenta con acero de refuerzo en su interior.

En el hormigón de la cimentación se encuentra embebida la estructura metálica de acero galvanizado que conforma la torre de transmisión eléctrica, las características en cuanto a conformación de la estructura y dimensiones de sus elementos se detallan en el Gráfico 1.

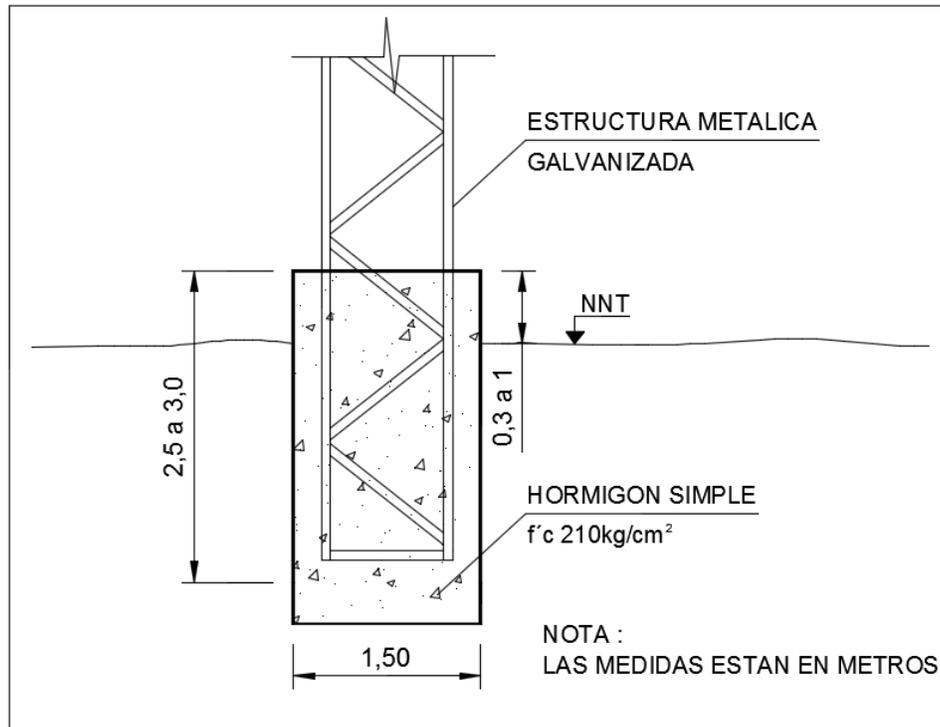


Gráfico 1. Corte esquemático de la cimentación tipo mono-bloque

Fuente: CELEC EP - TRANSELECTRIC

Autor: Darwin Pazmiño S.

Tomando en cuenta que nuestro universo de estructuras a analizar es de 225, y con la finalidad de que el estudio no se encarezca desde el punto de vista económico, se ha obtenido el tamaño de la muestra finita en la cual se va a trabajar, aplicando la siguiente fórmula estadística (Murray y Larry, 2005, p. 275):

$$\text{tamaño muestra} = \frac{k^2 N p q}{e^2(N - 1) + k^2 p q}$$

Dónde:

N: número total del universo

k: constante que depende del nivel de confianza

e: porcentaje de error

p: porcentaje de aceptación del trabajo a efectuarse

q: es 1-p

Para el presente caso N=225, k proviene de un nivel de confianza del 95% que corresponde a una constante de 1.96, e es 6%, p es 95% y q es 5% (Murray y Larry, 2005, p. 276).

$$\text{tamaño muestra} = \frac{1.96^2 \cdot 225 \cdot 0.95 \cdot 0.05}{0.06^2(225 - 1) + 1.96^2 \cdot 0.95 \cdot 0.05}$$

Aplicando los valores a la fórmula y realizando las operaciones respectivas se obtiene un tamaño de muestra correspondiente a 42 cimentaciones, las cuales van a ser objeto de análisis.

Una vez determinado el tamaño de la muestra a ser analizada, se realizó un levantamiento de información en el campo con la ayuda de fichas investigativas donde se anotaron los problemas observados en las estructuras de hormigón, tomando en cuenta la presencia de los principales problemas patológicos; la ficha cuenta con un registro fotográfico que ayudará a identificar de mejor manera la problemática.

Este análisis preliminar está orientado a determinar los problemas típicos en los elementos estudiados, indicando si existen variaciones entre las anomalías presentes en las estructuras, señalando el tipo, su magnitud y describiendo las diferencias existentes comparando entre sí las estructuras.

Del análisis de los datos recabados, como consta en el Anexo 1, se puede apreciar que los problemas que se repiten con mayor frecuencia en el hormigón de las cimentaciones (Tabla 1 y Gráfico 2) son: presencia de grietas (81.4%) y aparición de eflorescencias (69,8%), debiendo anotar que las estructuras en las cuales existen problemas de eflorescencias, presentan también grietas.

Tabla 1. Problemas analizados en las cimentaciones

N°	PROBLEMAS DETECTADOS	%
1	Grietas en el hormigón de la cimentación	81,4%
2	Desplome de la estructura	0,0%
3	Cambios de aspectos, masa del hormigón	0,0%
4	Erosión de la base de la estructura	4,7%
5	Descascaramiento del hormigón	0,0%
6	Exfoliación del hormigón	0,0%
7	Polvo presente en las caras del hormigón	0,0%
8	Desmoronamientos del hormigón	7,0%
9	Hinchamientos y reventones del hormigón	0,0%
10	Contaminación por polución	0,0%
11	Cultivo biológico (biocapa)	46,5%
12	Decoloración y manchado del hormigón	25,6%
13	Eflorescencias en el hormigón	69,8%
14	Lixiviación en el hormigón	0,0%
15	Cristalización del hormigón	0,0%
16	Expansión del hormigón	0,0%
17	Evidencia de corrosión acero de refuerzo	0,0%
18	Evidencia de corrosión metales embebidos	0,0%

Fuente: CELEC EP - TRANSELECTRIC

Autor: Darwin Pazmiño S.

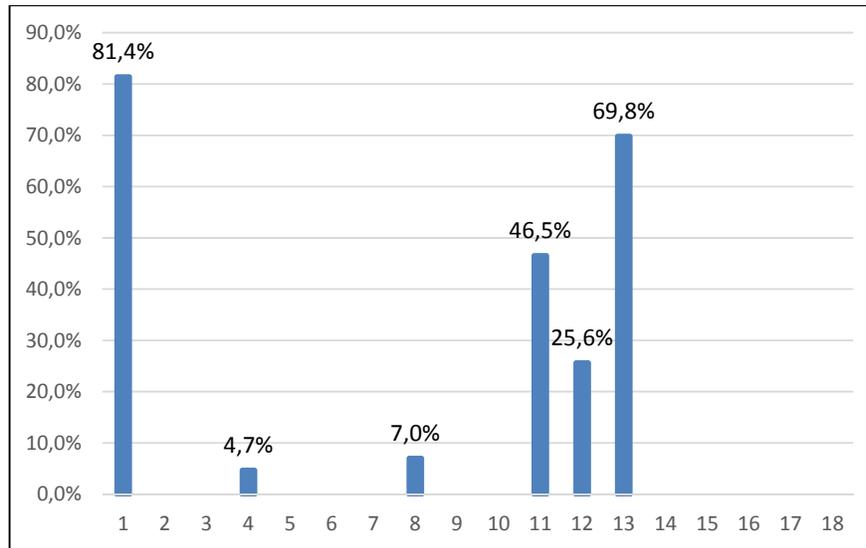


Gráfico 2. Problemas detectados en las cimentaciones

Fuente: CELEC EP - TRANSELECTRIC

Autor: Darwin Pazmiño S.

Con un porcentaje menor (46.5%) se presentan problemas de cultivo biológico o biocapa y la decoloración y manchado de la superficie del hormigón se presenta con un porcentaje del 25.6%; esporádicamente las estructuras se ven afectadas con problemas de desmoronamiento (7.0%) y erosión de la base de la estructura (4.7%).

Se hace evidente que el principal problema consiste en la presencia de grietas en el hormigón (Gráfico 3), las cuales de acuerdo al levantamiento realizado, están directamente relacionadas con la presencia de eflorescencias, debido esto, se realizó un análisis más detallado en lo referente a la descripción de las grietas, detallando sus características en cuanto a ubicación, magnitud, y apariencia en relación al elemento estructural de hormigón.



Gráfico 3. Grietas típicas de las cimentaciones

Fuente: CELEC EP - TRANSELECTRIC

Autor: Darwin Pazmiño S.

En el hormigón de las cimentaciones, se presentan diferentes espesores y magnitudes de grietas, para clasificarlas se consideró realizar un agrupamiento tomando en cuenta la mayor presencia de un tamaño de grieta y también mayor porcentaje de número de grietas del tipo seleccionado como representativa en relación a los otros tipos.

Las grietas del hormigón de las cimentaciones de las 35 estructuras fueron clasificadas en cuatro tipos (Anexo 2), grietas menores a 1 mm, grietas entre 1 mm a 3 mm, grietas entre 3 mm a 5 mm y grietas mayores a 5 mm de acuerdo a lo indicado en la Tabla 2 y Gráfico 4.

Tabla 2. Ancho de grietas en las cimentaciones

ANCHO DE GRIETAS	Grietas menores a 1mm	Grietas entre 1 a 3mm	Grietas entre 3 a 5mm	Grietas mayores a 5mm
Porcentaje	2.9 %	54,3%	28,6%	14,3%

Fuente: CELEC EP - TRANSELECTRIC

Autor: Darwin Pazmiño S.

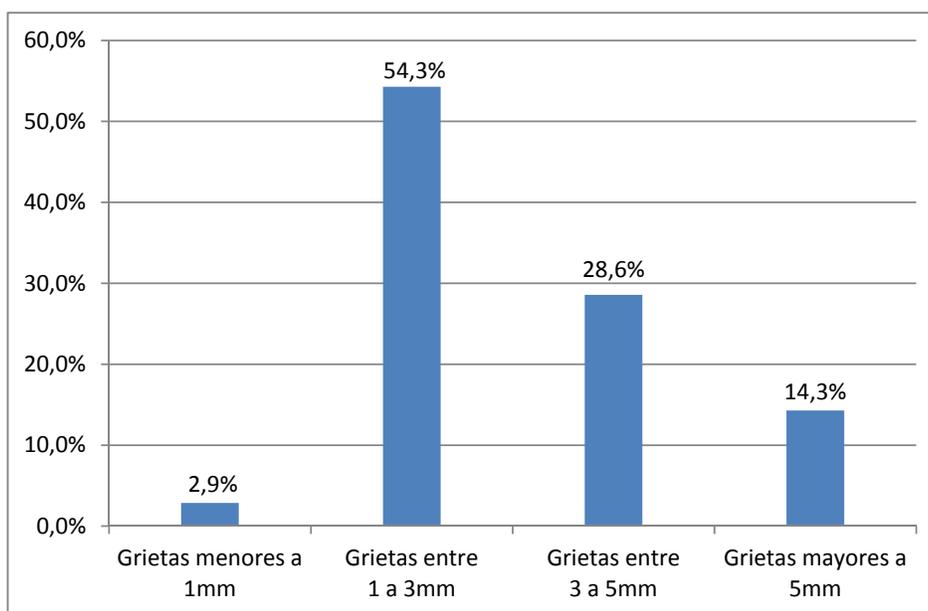


Gráfico 4. Ancho de grietas

Fuente: CELEC EP - TRANSELECTRIC

Autor: Darwin Pazmiño S.

Lo indicado anteriormente nos permite identificar de manera clara que el tamaño de grieta más representativo en las estructuras analizadas (con un 54.3%) es el que está en el rango de 1 mm a 3 mm.

En lo que se refiere a la profundidad de las grietas, ésta fue categorizada en base a la evidencia de las caras de los mono-bloques, en los cuales es posible apreciar de forma directa su profundidad, debido a que las grietas son continuas y el patrón que se aprecia en la cara superior, puede ser seguido por los lados y verificada su distancia (Tabla 3).

Tabla 3. Profundidad de grietas en las cimentaciones

PROFUNDIDAD DE GRIETAS	Grietas menores a 1mm	Grietas entre 1 a 3mm	Grietas entre 3 a 5mm	Grietas mayores a 5mm
Profundidad mm	máximo 3 cm	entre 4cm a 20 cm	entre 4cm a 20 cm	hasta 30 cm

Fuente: CELEC EP - TRANSELECTRIC

Autor: Darwin Pazmiño S.

Las grietas ubicadas en la cara superior de las cimentaciones de hormigón tienen un patrón definido en cuanto a su ubicación (Gráfico 5), se originan en el lugar donde el perfil de acero galvanizado que conforma la estructura metálica se embebe en el hormigón, recorriendo luego por el centro de la masa de hormigón de manera circular hasta llegar al siguiente perfil embebido.



Gráfico 5. Patrón de grietas

Fuente: CELEC EP - TRANSELECTRIC

Autor: Darwin Pazmiño S.

Repitiendo el recorrido mencionado anteriormente, la grieta cubre toda el área del bloque de manera periférica, de las grietas principales generalmente surgen ramificaciones que llegan al borde del bloque y continúan por las caras laterales, también es común la presencia de pequeñas grietas ramificadas de menor tamaño hacia el resto del cuerpo de la cimentación.

El aparecimiento de eflorescencias constituyen la segunda patología con mayor incidencia en los mono-bloques de hormigón, su presencia en la cara superior es mínima, pero en la parte baja de las caras laterales del hormigón es donde se presentan en mayor proporción (Gráfico 6) tiene un color blanco con una capa cristalina dura.



Gráfico 6. Eflorescencias en el hormigón

Fuente: CELEC EP - TRANSELECTRIC

Autor: Darwin Pazmiño S.

En lo correspondiente al cultivo biológico presente en las caras del hormigón, existe una capa verde posiblemente de líquen que cubre áreas dispersas especialmente en sitios rugosos o en los lugares donde se embebe el perfil galvanizado (Gráfico 7), es decir se presenta en sitios donde el agua no fluye adecuadamente,

adicionalmente hay que mencionar que existe presencia de pequeñas plantas que crecen en las grietas.



Gráfico 7. Cultivo biológico en el hormigón

Fuente: CELEC EP - TRANSELECTRIC

Autor: Darwin Pazmiño S.

De acuerdo a las características de los datos recabados y analizados en la investigación preliminar, existe la necesidad de realizar una investigación detallada que nos permita determinar con mayor certeza las causas y posibles consecuencias de los problemas más relevantes presentados en el hormigón, esto es, la presencia de grietas y eflorescencias, adicionalmente con los resultados de los ensayos de campo y de laboratorio que se aplicarán en la investigación detallada, se busca determinar la relación que existe entre estos fenómenos presentados.

4.2. INVESTIGACION DETALLADA

Una vez efectuada la primera etapa de investigación en julio de 2014, en donde se realiza a detalle la descripción de las características de las patologías presentes en el hormigón, se definió con base a las observaciones realizadas, la necesidad de efectuar ensayos más específicos que nos permitan determinar las causas que produjeron el problema patológico del hormigón.

Conforme a lo recomendado por el ACI 364 en la Tabla 6.1(b) “Evaluación de las condiciones físicas del hormigón” (Anexo 3), se determinan algunos de los procedimientos de evaluación a efectuarse de acuerdo a las condiciones presentes en el hormigón.

Para el problema de **agrietamiento** presentado en el hormigón de las cimentaciones, se aplicaron los siguientes ensayos:

Prueba de núcleos, la cual se realiza mediante la extracción de un núcleo cilíndrico del hormigón de la estructura (Gráfico 9), con equipo de perforación especializado, el cual está indicado en el Gráfico 8 (norma ASTM C42), con el que se determina en forma directa la resistencia a la compresión.



Gráfico 8. Equipo de extracción de núcleo cilíndrico de hormigón

Fuente: CELEC EP - TRANSELECTRIC

Autor: Darwin Pazmiño S.



Gráfico 9. Núcleo de hormigón extraído

Fuente: CELEC EP - TRANSELECTRIC

Autor: Darwin Pazmiño S.

Prueba esclerométrica, consiste en una prueba no destructiva que se basa en la utilización de un martillo de rebote el cual mediante el impacto de una esfera metálica de gran dureza sobre la superficie endurecida del hormigón (Gráfico 10), determina la resistencia a la compresión del hormigón de manera indirecta, relacionándola con su dureza superficial, se deben realizar varias mediciones de impactos en las zonas escogidas, para posteriormente obtener un promedio de los datos.

Las relaciones entre el valor obtenido en la medición y la resistencia a la compresión del hormigón son proporcionadas por el fabricante del instrumento mediante tablas de calibración, los valores medidos pueden verse afectados por las condiciones del

elemento de hormigón como: uniformidad de la superficie, rugosidad del elemento, contenido de humedad de la superficie de ensayo; estos factores deben tomarse en cuenta para la interpretación de los resultados, de manera que no se obtengan interpretaciones erróneas.



Gráfico 10. Prueba esclerométrica

Fuente: CELEC EP - TRANSELECTRIC

Autor: Darwin Pazmiño S.

Análisis petrográfico (norma ASTM C856), éste ensayo es realizado por un profesional especializado (Ingeniero Geólogo) y nos proporciona información detallada de la génesis y mineralogía de las rocas, basado en el análisis microscópico de una muestra que en este caso consiste en un corte de una lámina delgada de la probeta cilíndrica de hormigón extraída (Gráfico 11), en la que mediante observación con el microscopio petrográfico se determinan las características y componentes del hormigón, pasta, agregados, curado, causas del deterioro y posibles daños ocultos a simple vista.

El análisis petrográfico requiere de un gran tiempo de preparación de la muestra y varias horas de trabajo altamente calificado para su análisis, por lo que no es muy aplicado en ensayos de rutina; este estudio suple a menudo a otros análisis como el químico.

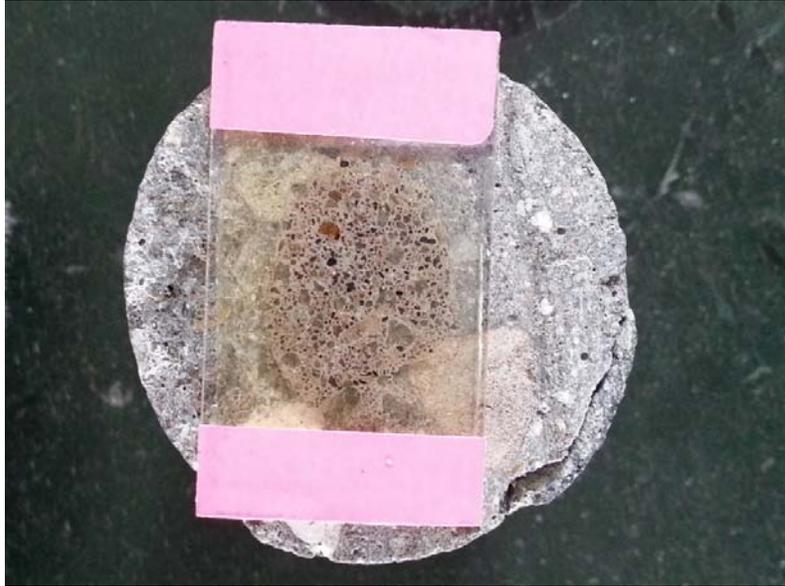


Gráfico 11. Muestra de lámina delgada para análisis petrográfico

Fuente: LABORATORIO DE PETROGRAFIA, UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

Autor: Darwin Pazmiño S.

Examen visual (ACI 201.1R, ASTM C823), evalúa el estado de la superficie del hormigón (acabado, rugosidad, grietas, rasguños, color), determinando deformaciones, asentamiento diferenciales de la estructura, con la ayuda de mediciones y registros fotográficos.

En el caso de las **eflorescencias**, de acuerdo a las recomendaciones de ACI y a las características de nuestras estructuras, se realizan los siguientes ensayos:

Con la recolección de muestras, se realizan ensayos químicos de laboratorio para determinar características que podrían ser las causantes de las patologías presentadas, determinando así contenido aproximado de cemento, sales de sodio, sales de potasio, determinación del frente de carbonatación, contenido aproximado de sulfatos. (Sánchez de Guzmán, 2011, p. 177)

Análisis petrográfico, en esta etapa sirve para determinar la reacción álcali-carbonato, reacción alcalí-silice, contenido de cloruros presentes en la masa de hormigón. El examen visual también se recomiendan para las eflorescencias, el cual va a ser encaminado a describir las principalmente las características físicas de las eflorescencias.

4.2.1 Pruebas para determinar resistencia a la compresión del hormigón

Se efectuaron ensayos de campo con extracción de muestras en tres estructuras de la línea de transmisión Limón – Macas (estructuras E225, E268 y E305), para obtener información relacionada principalmente al agrietamiento y a las eflorescencias presentes en el hormigón.

En el campo se efectuó el ensayo esclerométrico con la utilización del martillo de rebote, este ensayo fue realizado en cuatro puntos de la estructura con cinco lecturas en cada caso, determinando con esto la resistencia promedio indirecta a la compresión del hormigón (norma ASTM C805). Los resultados de las pruebas realizadas se muestran en la Tabla 4 y Anexo 4.

Tabla 4. Resultado de los ensayos de resistencia indirecta a la compresión utilizando esclerómetro

PROBETA	ESTRUCTURA	RESISTENCIA A LA COMPRESION PROMEDIO (kg/cm ²)
1	E305	387,49
2	E268	458,87
3	E225	387,68

Fuente: Universidad Central del Ecuador

Autor: Ing. Jorge Santamaría

Nota: Los valores de resistencia a la compresión altos pueden deberse a resistencias iniciales altas sumado a que el hormigón sigue adquiriendo resistencia con el paso del tiempo (19 años en este caso).

El método esclerométrico por ser una medida indirecta de la resistencia a la compresión, nos proporciona un criterio preliminar de la calidad del hormigón, estimando los datos de la resistencia a la compresión superficial, debido a que se basa en la correlación de la dureza superficial del hormigón y su resistencia; para

tener datos más precisos, se hizo necesario un ensayo directo de resistencia a la compresión, en este caso se realizó el ensayo de compresión con núcleos de hormigón extraídos de los elementos a analizar.

Mediante la utilización de un taladro vertical, se realizó la extracción de los núcleos en las tres estructuras mencionadas anteriormente, las probetas obtenidas fueron ensayadas a la compresión en el laboratorio del departamento de materiales de la Universidad Central del Ecuador (norma ASTM C42), obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 5 y Anexo 5.

Tabla 5. Resultado de los ensayos de compresión realizados sobre núcleos cilíndricos de hormigón

PROBETA	ESTRUCTURA	RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm ²)
1	E305	507,91
2	E268	558,80
3	E225	381,78

Fuente: Universidad Central del Ecuador

Autor: Ing. Jorge Santamaría

Nota: Los valores de resistencia a la compresión altos pueden deberse a resistencias iniciales altas sumado a que el hormigón sigue adquiriendo resistencia con el paso del tiempo (19 años en este caso).

4.2.2 Pruebas para determinar características del hormigón

El ACI 364 en la tabla 6.1 (b), recomienda ante la presencia de eflorescencias en el hormigón, entre otros ensayos la realización del análisis petrográfico para poder determinar condiciones del material y causas del deterioro del hormigón, grado de carbonatación de la pasta de cemento, evidencia de reacción álcali-agregado, ataque de sulfato y potencial reactivo de agregados.

Con una lámina delgada de la muestra de hormigón extraída de las cimentaciones, se realizó el análisis petrográfico macroscópico y microscópico (Anexo 6), en el cual se indica que las rocas presentes en la muestra son de origen andesita, cuyos

minerales componentes debido a sus características, no son reactivos con los álcalis de la pasta de cemento.

Se comprobó que no existe presencia considerable de minerales con contenido de sílice, y carbonatos entre los clastos ni en la matriz, es así que la presencia de sílice en la matriz es reducida, en el orden del 1% a 2% y el carbonato con solo un 5% al 10%.

Lo mencionado anteriormente, se corrobora en la conclusión del informe del análisis petrográfico, donde se indica que no hay evidencia de superficies de alteración o de reacción entre los agregados del hormigón y la pasta de cemento o aglomerante (matriz).

Para la determinación de la carbonatación del hormigón, es decir la reducción de la alcalinidad propia del elemento (pH por debajo de 10), se realizó el ensayo respectivo con la aplicación de una solución de fenolftaleína que marca con color violeta las zonas no carbonatadas, en el ensayo no hubo muestras de zonas carbonatadas marcándose toda el área aplicada de color violeta (Gráfico 12), por lo que se pudo determinar que no existe presencia de carbonatación.



Gráfico 12. Ensayo de carbonatación

Fuente: CELEC EP - TRANSELECTRIC

Autor: Darwin Pazmiño S.

4.2.3 Análisis estructural de los bloques de cimentación

Se efectuó el análisis estructural de las cimentaciones, con la finalidad de determinar si el diseño aplicado en la estructura existente es suficiente para soportar las solicitaciones a las que está expuesta; para este análisis en primer lugar se realizó la modelación de la geometría de la celosía metálica de la torre mediante la ayuda del paquete computacional SAP 2000 V16 que utiliza la teoría de los elementos finitos para el cálculo estructural.

En el modelo del SAP se ingresaron las cargas a las que va a estar expuesta la estructura, la carga muerta constituida por el peso propio de la estructura metálica y el peso de los conductores que sostiene la torre, la carga viva considerando el peso del personal de mantenimiento con su respectivo equipo y herramienta, cargas horizontales de sismo de acuerdo a la zona geográfica y cargas horizontales de viento de acuerdo al UBC97.

Para el análisis estructural fue considerada la zona sísmica en la que se encuentra el Ecuador (NEC 2011 capítulo 2), por lo que se introdujo en el cálculo el factor de zona Z igual a 0,3 (correspondiente a la provincia de Morona Santiago) esto quiere decir que las estructuras están ubicadas en la zona sísmica III.

Del análisis realizado con la combinación de los casos de ocurrencia de cargas (carga viva, carga muerta, sismo y viento), tenemos como producto los esfuerzos que la estructura metálica transmite al bloque de hormigón de la cimentación (Anexo 7).

Para determinar si la configuración del hormigón es la adecuada para soportar las solicitaciones actuantes, se efectuó el análisis en el programa computacional SAFE 2014, con este análisis se puede indicar que los esfuerzos transmitidos al suelo no sobrepasan la capacidad portante del mismo (10 T/m^2), llegando a 5.2 T/m^2 ; adicionalmente al realizar el cálculo del acero de refuerzo se tiene como resultado que el bloque de cimentación soporta las cargas aplicadas, necesitando armadura de acero inferior a la mínima, por lo tanto no necesita armado (Anexo 8).

De acuerdo a los reportes de control de verticalidad de las torres de transmisión, no existen datos que indiquen que las estructuras estén fuera de los rangos permitidos, por lo que no hay evidencia de asentamientos del suelo de cimentación de las estructuras y en tal circunstancia no se toma en cuenta este factor como productor de la patología estudiada.

4.3. Propuesta para el problema

En vista de que se ha descartado que las patologías presentes en el hormigón se deban a la baja resistencia a la compresión del hormigón, agregados componentes del hormigón reactivos con la pasta de cemento, carbonatación del hormigón o falta de capacidad portante del suelo y tomando en cuenta que las grietas no atraviesan en su totalidad la estructura, es decir todas las estructuras son susceptibles de ser reparadas, se propone un proceso de reparación basado en la aplicación de aditivos para el hormigón los cuales tienen como fin recuperar sus propiedades para trabajar de manera monolítica, además de proteger la superficie mediante una barrera impermeable que evite el ingreso de humedad al interior del hormigón.

4.3.1 Ejecución de los trabajos

Con la finalidad de obtener una superficie libre de impurezas como grasas, restos de polvo y material suelto, en la cual se pueda colocar de manera efectiva los aditivos para la reparación del hormigón, se realizará en la superficie del hormigón y en el interior de las grietas de las cimentaciones a intervenir, un lavado con agua a presión, mediante la utilización de una máquina hidrolavadora de alta presión (máximo 6000 psi).

Para las estructuras con fisuras menores a 3 mm se propone un tratamiento consistente en una inyección a presión de aditivo en base a resinas epóxicas, con características de baja viscosidad que facilitan la penetrabilidad, el cual tiene como objetivo sellar los espacios vacíos y soldar las grietas estructurales, este sistema se basa en la adherencia de altísima resistencia del aditivo.

Luego de la aplicación de la inyección epóxica, se efectuará un recubrimiento de la superficie aplicando un imprimante constituido por una resina epóxica con características de impermeabilidad, buena resistencia química y mecánica, el cual es colocado directamente sobre la superficie del hormigón mediante brocha o rodillo.

Sobre las fisuras, complementando el refuerzo, se aplicará en dos capas un impermeabilizante acrílico elástico, el cual consiste en una emulsión a base en resinas acrílicas estirenadas, que cuentan con gran durabilidad a la intemperie, característica que es muy importante en el presente caso, debido al intemperismo al que están expuestas las estructuras.

Con este tratamiento, basado en la aplicación de aditivos para reparación del hormigón, se logra en primer lugar que no ingresen elementos extraños al interior de las estructuras y se logra impermeabilidad de la superficie, de manera que no ingresen elementos extraños disueltos, a la vez que se genera una soldadura estructural entre los elementos que se encuentran separados por las fisuras.

Para el tratamiento de las fisuras mayores a 3 mm, de manera similar a lo aplicado a las anteriores fisuras, se procederá al sellado y soldado estructural de las fisuras con la utilización del aditivo en base a resinas epóxicas con características de baja viscosidad y adherencia de altísima resistencia; esta vez el aditivo será inyectado a gravedad (debido a la dimensión de las fisuras), logrando con esto que el elemento trabaje de manera monolítica.

Luego de la inyección epóxica, igualmente que en el anterior caso, se efectuará un recubrimiento de la superficie aplicando un imprimante constituido por una resina epóxica con características de impermeabilidad, buena resistencia química y mecánica; se complementan el refuerzo sobre las fisuras con la aplicación en dos capas del impermeabilizante acrílico elástico consistente en una emulsión a base de resinas acrílicas estirenadas de gran durabilidad a la intemperie.

Con el procedimiento sugerido para la reparación de las cimentaciones, se logrará en primer lugar que la masa antigua de hormigón se adhiera y trabaje de forma monolítica, logrando también un sellado de las fisuras, evitando el ingreso de agua y material extraño.

4.3.2 Presupuesto de intervención

Dentro de la intervención a que se hace referencia en la presente disertación, vamos a tratar el tema económico, efectuando un presupuesto referencial de los trabajos a ser ejecutados para tratar la patología, el presupuesto está respaldado por su respectivo análisis de precios unitarios (Anexo 9) y especificaciones técnicas (Anexo 10) para cada rubro.

Se tiene dos tipos de estructuras para ejecutar la reparación, una intervención a las estructuras que tienen fisuras menores a 3 mm, en la que se efectuará el sellado de las fisuras y un posterior tratamiento de protección e impermeabilización del hormigón, para este trabajo se obtuvo un presupuesto referencial de USD900,33 dólares por cada estructura de acuerdo al detalle indicado en la Tabla 6.

Tabla 6. Presupuesto referencial para estructuras con grietas menores a 3mm

N°	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	TRATAMIENTO DE GRIETAS MENORES A 3 mm				
1.1	Limpieza y desbroce del acceso y sitio de la estructura	gbl	1,00	28,63	28,63
1.2	Hidrolavado a presión	gbl	1,00	55,09	55,09
1.3	Inyección a presión con aditivo en base a resinas epóxicas de baja viscosidad	kg	12,00	41,28	495,36
1.4	Recubrimiento de la superficie con aditivo en base a resinas epóxicas impermeables	m ²	8,25	23,38	192,89
1.5	Refuerzo con aditivo impermeabilizante acrílico elástico en base a resinas acrílicas estirenadas	m ²	4,10	12,58	51,58
1.6	Movilización de equipo y personal entre bases de trabajo	gbl	1,00	41,21	41,21
1.7	Manejo ambiental	gbl	1,00	35,57	35,57
SUBTOTAL 1					900,33

Fuente: CELEC EP - TRANSELECTRIC

Autor: Darwin Pazmiño S.

El número de estructuras que están catalogadas con la afectación de grietas de espesor menor a 3 mm es de 128 unidades, por lo que al multiplicar el valor

obtenido de USD900,33 por el número de estructuras, tenemos que el costo de reparación de este sector de estructuras sería de USD115.242,24.

En lo que corresponde al tratamiento a aplicar en las cimentaciones con fisuras mayores a 3 mm, la diferencia consiste en que, debido a la mayor magnitud de las grietas, la inyección será aplicada a gravedad, obviando la utilización del equipo de inyección a presión, posteriormente se continúa con el sellado y la impermeabilización de las grietas; en este caso el presupuesto referencial por cada estructura asciende a USD1.304,04 (Tabla 7).

Tabla 7. Presupuesto referencial para estructuras con grietas mayores a 3mm

N°	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
2	TRATAMIENTO DE GRIETAS MAYORES A 3 mm				
2.1	Limpieza y desbroce del acceso y sitio de la estructura	gbl	1,00	28,63	28,63
2.2	Hidrolavado a presión	gbl	1,00	55,09	55,09
2.3	Inyección a gravedad con aditivo en base a resinas epóxicas de baja viscosidad	kg	23,00	39,09	899,07
2.4	Recubrimiento de la superficie con aditivo en base a resinas epóxicas impermeables	m ²	8,25	23,38	192,89
2.5	Refuerzo con aditivo impermeabilizante acrílico elástico en base a resinas acrílicas estirenadas	m ²	4,10	12,58	51,58
2.6	Movilización de equipo y personal entre bases de trabajo	gbl	1,00	41,21	41,21
2.7	Manejo ambiental	gbl	1,00	35,57	35,57
SUBTOTAL 2					1.304,04

Fuente: CELEC EP - TRANSELECTRIC

Autor: Darwin Pazmiño S.

Las estructuras a intervenir son un número de 97, por lo que al hacer la multiplicación correspondiente el valor de la reparación de las cimentaciones de este rango sería de USD126.491,88, cabe aclarar que en ambos casos los valores indicados en el presupuesto no incluyen el 12% del impuesto del al valor agregado IVA.

En resumen, el presupuesto para realizar la intervención de todas las estructuras afectadas con el agrietamiento del hormigón en la línea de transmisión Limón-Macas es de USD241.734,12 (Tabla 8), este tratamiento implica un trabajo especializado completo que garantizará que esta obra de infraestructura estratégica mantenga su vida útil, dentro de los parámetros normales de funcionamiento.

Tabla 8. Presupuesto total de intervención en la LT Limón- Macas

N°	ITEM	PRECIO UNITARIO USD	CANTIDAD ESTRUCTURAS	PRECIO TOTAL USD
1	Tratamiento de grietas menores a 3 mm	900,33	128,00	115.242,24
2	Tratamiento de grietas mayores a 3 mm	1.304,04	97,00	126.491,88
TOTAL USD				241.734,12

Fuente: CELEC EP - TRANSELECTRIC

Autor: Darwin Pazmiño S.

El análisis de precios unitarios utilizado para este presupuesto considera en el costo de cada material y equipo a utilizarse, el valor del transporte que se debe realizar entre estructuras en carretera asfaltada (500 m aproximadamente) y desde el camino de acceso de segundo orden (donde llega el vehículo) hasta el sitio de la torre donde se implementarán los trabajos, el cual tiene una longitud aproximada promedio de 50 metros.

De la misma manera en el presupuesto fue tomado en cuenta el tema de medio ambiente, para que en la ejecución de los trabajos se apliquen acciones tendientes a eliminar los riesgos que afectan la salud de los trabajadores y también para evitar afectación al entorno ambiental sobre todo con el manejo adecuado de los desechos generados.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de haber realizado las observaciones preliminares, pruebas en campo, ensayos de laboratorio y análisis estructural de la cimentación, a continuación se presentan las conclusiones que se derivan del análisis de los resultados y las recomendaciones consecuentes.

Lo mencionado implica una definición de la metodología de construcción, especificaciones técnicas, detalle de las obras a implementarse con su respectivo análisis de precios unitarios y presupuesto, es decir el impacto que tendrá la ejecución de los trabajos propuestos.

5.1. CONCLUSIONES

Debido a que las pruebas de resistencia a la compresión indican que el hormigón cuenta con una resistencia superior a la de diseño, $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, se concluye que la dosificación del hormigón en origen fue la suficiente para conseguir las resistencias nominales requeridas, por lo que se puede aseverar que éste punto no es el generador del problema de agrietamiento.

Del análisis petrográfico realizado se puede indicar que no hay evidencia de que los componentes del material con el que se fabricó el hormigón, es decir el agregado grueso y fino, tengan componentes reactivos con la pasta de cemento, debido a que son de origen andesítico, por lo tanto sus minerales no generan reacción álcali agregado, por esto se concluye que las grietas no deben su origen a estas reacciones químicas.

Lo mencionado en el párrafo anterior es coherente con la inspección visual realizada en campo, debido a que no existe evidencia de hinchazones de la masa de hormigón que indiquen reacciones químicas presentes.

Del análisis estructural se puede concluir que las cimentaciones fueron diseñadas adecuadamente, es decir que con la configuración estructural de materiales actual y con las condiciones de combinación de carga fijas y eventuales, pueden mantenerse en estado de equilibrio sin llegar al colapso; la condición sería que se

deben efectuar trabajos que protejan al hormigón ante los factores externos que pueden modificar negativamente sus propiedades físicas y/o químicas.

En razón de que se ha descartado que la presencia de grietas en el hormigón se deba a factores físicos (resistencia a la compresión del hormigón), factores químicos (reacción álcali-agregado, carbonatación) o a un diseño deficiente de la estructura, a continuación se presentan algunas conclusiones basadas en las observaciones de la configuración de las grietas y en las entrevistas al personal de mantenimiento.

Los elementos diagonales que se encuentran embebidos en el hormigón, están diseñados para trabajar como celosía de la estructura metálica de la torre, es decir absorben esfuerzos de tracción y compresión únicamente, pero al entrar en contacto con el hormigón dejan de transmitir una parte de ellos al marco de la estructura, provocando que sus esfuerzos sean transmitidos al hormigón.

Lo mencionado en el párrafo anterior indica que el hormigón desde que inició a tomar carga con el armado de la celosía de la estructura metálica de la torre y con la aplicación de fuerzas durante los trabajos de tendido de los conductores, estuvo sometido a fuerzas diferentes a las de compresión para las que está diseñado provocando la aparición de fisuras que se fueron incrementando con el pasar del tiempo.

La inexistencia de acero de refuerzo (que pueda absorber esfuerzos de tracción) y la ubicación del perfil de la celosía embebido hasta un punto medio de su longitud, son los factores que produjeron esfuerzos no contemplados en el diseño y provocaron agrietamiento de la masa del hormigón.

En relación a las eflorescencias, debido a que no existe indicios de presencia de sílice, carbonatación de la masa de hormigón o presencia de sulfatos, éstas pueden deberse al intemperismo al que están expuestas las estructuras, lo que produce infiltración de agua y otros elementos extraños por las grietas, provocando un efecto de lixiviación que genera eflorescencias en las grietas de la parte baja.

El plan de tratamiento planteado para dar solución al problema presentado en el hormigón de las cimentaciones, constituye una metodología que implica la adición

de elementos (aditivos para reparación de hormigón) cuya finalidad es ser un puente entre las grietas, dando continuidad a la masa de hormigón y proporcionando de esta manera un trabajo monolítico del cimiento, adicionalmente se constituye en una barrera que impide el ingreso de elementos extraños al interior de las grietas y evita de esta forma que se siga afectando el hormigón.

El presupuesto elaborado para la implementación del plan de mejoras en las cimentaciones, contempla todos los trabajos a ser ejecutar, incluyendo trabajos preliminares de desbroce, limpieza de las áreas de hormigón a intervenirse, aplicación de las inyecciones epóxicas de reparación, recubrimiento de la superficie y los refuerzos con impermeabilizante acrílico.

Las cimentaciones a intervenirse corresponden a un 72,1% del total de las estructuras componentes de la línea de transmisión, tomando en cuenta el costo que generaría la energía no suministrada a las poblaciones del suroriente del país en el caso de un corte del servicio de energía eléctrica, los trabajos de reparación propuestos constituyen una inversión que se justifica en el tiempo.

En las grietas menores a 3 mm, que constituye el 57,2% del total de estructuras a intervenirse, el tratamiento a aplicarse es una inyección a presión en base a resinas epóxicas de baja viscosidad, luego un recubrimiento con un imprimante de resina epóxica y finalmente un impermeabilizante acrílico elástico, en las grietas mayores a 3 mm, 42,8% del total de estructuras, el tratamiento será el mismo pero con la diferencia de la aplicación de la inyección de las resinas epóxicas que en este caso será aplicada a gravedad.

Se puede decir como conclusión final que de acuerdo a lo indicado en las ideas a defender del capítulo 1, la resistencia del hormigón no es el único factor que influye en su durabilidad, se debe tomar en cuenta también la composición química de los agregados, los detalles constructivos en la etapa de fabricación de los elementos, y también analizar la influencia y consecuencias de elementos que se interrelacionan con la estructura que pueden afectar la durabilidad y el desempeño estructural del hormigón como el presente caso.

5.2. RECOMENDACIONES

Tomando en cuenta que se ha descartado que la patología del hormigón se deba a factores de resistencia del material o a elementos reactivos de la masa de hormigón y que se ha determinado que el problema está relacionado con la inadecuada ubicación de los elementos diagonales de la celosía que están en contacto con el hormigón, sumado a la falta de acero de refuerzo, los trabajos recomendados para dar solución al problema están destinados a recuperar la continuidad del hormigón para lograr que los componentes trabajen de manera monolítica.

Complementariamente los trabajos de reparación deben tener características de barrera, logrando el sellado de las grietas, de manera que se evite el ingreso de agua y otros elementos del medio que puedan afectar la estructura interna del hormigón, evitando su deterioro y restituyendo su funcionalidad en condiciones de seguridad.

Con la presente investigación el área de mantenimiento de líneas de transmisión CELEC EP-TRANSELECTRIC contará con datos técnicos relacionados a la patología del hormigón que servirán como elementos de decisión ante problemas similares que se presenten en otras instalaciones del sistema nacional de transmisión, así mismo servirá para que se realicen estudios y planes de mantenimiento preventivo.

La problemática planteada sirve como antecedente a tomar en cuenta en los diseños y construcciones de instalaciones futuras de la empresa, de manera que se prevea el adecuado acople de los elementos con diferentes características físicas que interactúan, con un análisis de los elementos y detalles constructivos, de manera que no se vuelvan a repetir patologías del hormigón como las analizadas en la presente disertación.

Tomando en cuenta que en la actualidad el Ecuador está encaminado al cambio de su matriz productiva, lo que implica también cambio de su matriz energética, con la construcción y puesta en marcha de grandes proyectos de infraestructura

relacionada con la generación y transmisión de energía eléctrica, la presente investigación debe ser tomada en cuenta como aporte para evitar que problemas patológicos del hormigón se presenten en sus diferentes estructuras, de manera que las instalaciones sean confiables y permitan su operación normal dentro de la vida útil para la cual están diseñadas.

CAPITULO VI

6.1. BIBLIOGRAFÍA

1. Gomezjurado Sarria, Jaime, (2010) ***Tecnología del Concreto Materiales Propiedades y Diseño de Mezclas*** (3ª ed.) Colombia: Asociación Colombiana de Productores de Concreto – ASOCRETO.
2. Sánchez de Guzmán, Diego, (2011) ***Durabilidad y Patología del Concreto*** (2ª ed.) Colombia: Asociación Colombiana de Productores de Concreto – ASOCRETO.
3. Galán García, Isabel, (2011) ***Carbonatación del hormigón: combinación de CO₂ con las fases hidratadas del cemento y frente de cambio de pH*** (tesis de doctorado), Universidad Complutense de Madrid, España.
4. Paredes Josué, (2011) ***Corrosión del acero en elementos de hormigón armado*** (publicación), Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador.
5. Harris, Cyril M (2006) ***Dictionary of architecture and construction*** (4a ed.) Estados Unidos de América: McGraw-Hill.
6. Salas Casanova, Manuel (1989 noviembre) Componentes del hormigón. ***CEMOSA Ingeniería y control, volumen 6.***
http://www.fym.es/NR/rdonlyres/2DF9A5F7-0824-4129-B986-6CCF6B2A7769/0/JornadasTecnicas_EHE_MaterialesComponentes.pdf
[Consulta: 04/05/14].
7. Jiménez Montoya, García Meseguer, Morán Cabre (1973) ***Hormigón armado*** (7a ed.) España: Editorial Gustavo Gili S.A.
8. Do Lago Helene, Paulo R., (1997) ***Manual para reparación, refuerzo y protección de las estructuras de concreto*** México: Editorial Instituto Mexicano del cemento y del concreto C. A.
9. Gobierno Nacional de la República del Ecuador (2011) ***Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2011*** Ecuador.
10. Pérez Méndez, Leticia Rafaelina (2010) ***Vida útil residual de estructuras de hormigón armado afectadas por corrosión*** (tesis de maestría), Universidad Politécnica de Madrid, España.
11. Bull Publishing Consultants Limited (1985) ***Química, elementos, moléculas, vida*** España: Editorial Círculo de Lectores S.A.

12. Broto Carles, (2004) ***Enciclopedia Broto de patologías de la construcción***
España: Editorial Gustavo Gili S. A.
13. Juan Ramírez Balderas, (2010) ***Apuntes de electroquímica II***, Instituto Politécnico Nacional Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, México.
14. Murray R. Spiegel y Larry J. Stephens, (2009) **Estadística** (4ta edición), México: Mc Graw-Hill.
15. Sika (1993, Noviembre) **Informativo técnico Sika Ecuatoriana S. A.**, Ecuador.
16. Sika (2012) **Manual técnico de productos Sika**, Sika Ecuatoriana S.A., Ecuador.

6.2. ANEXOS

ANEXO 1 a
 PROBLEMAS DETECTADOS
 PATOLOGIA DEL HORMIGON DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS
 ESTRUCTURAS DE LA LINEA DE TRANSMISION LIMON - MACAS

N°	PROBLEMAS DETECTADOS	ESTRUCTURAS																					
		35	39	42	44	53	54	70	73	74	75	80	87	91	98	111	118	129	139	140	146	151	
1	Grietas en el hormigón de la cimentación		X	X				X				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	Desplome de la estructura																						
3	Cambios de aspectos, masa del hormigón																						
4	Erosión de la base de la estructura									X													
5	Descascaramiento del hormigón																						
6	Exfoliación del hormigón																						
7	Polvo presente en las caras del hormigón																						
8	Desmoronamientos del hormigón															X							
9	Hinchamientos y reventones del hormigón																						
10	Contaminación por polución																						
11	Cultivo biológico (biocapa)	X								X		X	X			X	X		X	X	X	X	X
12	Decoloración y manchado del hormigón	X	X	X				X															
13	Eflorescencias en el hormigón		X					X				X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
14	Lixiviación en el hormigón																						
15	Cristalización del hormigón																						
16	Expansión del hormigón																						
17	Evidencia de corrosión acero de refuerzo																						
18	Evidencia de corrosión metales embebidos																						

ANEXO 1 b
 PROBLEMAS DETECTADOS
 PATOLOGIA DEL HORMIGON DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS
 ESTRUCTURAS DE LA LINEA DE TRANSMISION LIMON - MACAS

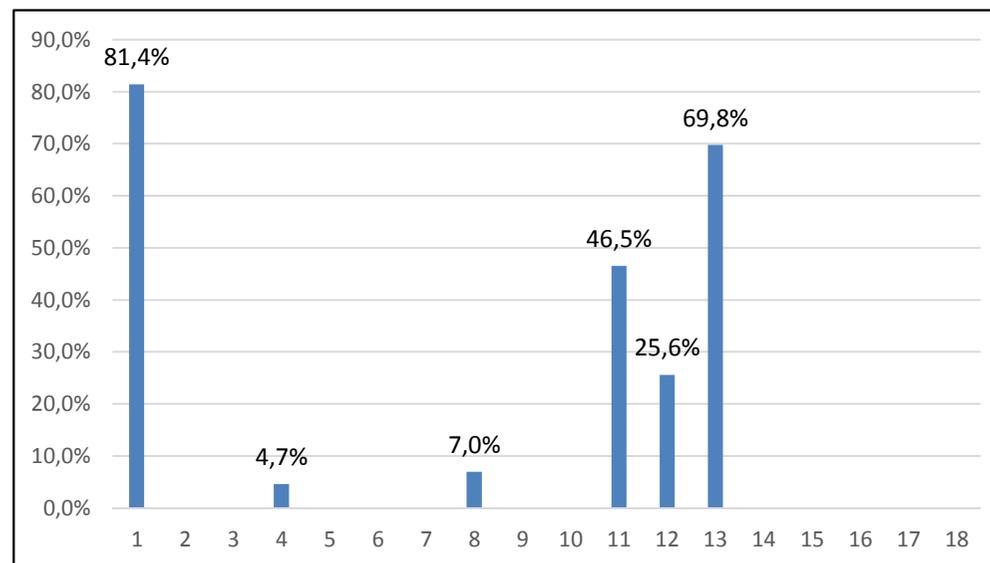
N°	PROBLEMAS DETECTADOS	ESTRUCTURAS																				
		152	159	175	176	178	184	199	219	220	221	225	226	227	231	236	265	271	276	286	293	306
1	Grietas en el hormigón de la cimentación	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	Desplome de la estructura																					
3	Cambios de aspectos, masa del hormigón																					
4	Erosión de la base de la estructura									X												
5	Descascaramiento del hormigón																					
6	Exfoliación del hormigón																					
7	Polvo presente en las caras del hormigón																					
8	Desmoronamientos del hormigón	X										X										
9	Hinchamientos y reventones del hormigón																					
10	Contaminación por polución																					
11	Cultivo biológico (biocapa)	X					X	X	X					X		X		X		X	X	X
12	Decoloración y manchado del hormigón		X		X				X	X										X	X	X
13	Eflorescencias en el hormigón	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X		
14	Lixiviación en el hormigón																					
15	Cristalización del hormigón																					
16	Expansión del hormigón																					
17	Evidencia de corrosión acero de refuerzo																					
18	Evidencia de corrosión metales embebidos																					

Fuente: CELEC EP - TRANSELECTRIC
 Autor: Darwin Pazmiño S.

ANEXO 1 c
PROBLEMAS DETECTADOS
 PATOLOGIA DEL HORMIGÓN DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS
 ESTRUCTURAS DE LA LINEA DE TRANSMISION LIMON - MACAS

N°	PROBLEMAS DETECTADOS	%
1	Grietas en el hormigón de la cimentación	81,4%
2	Desplome de la estructura	0,0%
3	Cambios de aspectos, masa del hormigón	0,0%
4	Erosión de la base de la estructura	4,7%
5	Descascaramiento del hormigón	0,0%
6	Exfoliación del hormigón	0,0%
7	Polvo presente en las caras del hormigón	0,0%
8	Desmoronamientos del hormigón	7,0%
9	Hinchamientos y reventones del hormigón	0,0%
10	Contaminación por polución	0,0%
11	Cultivo biológico (biocapa)	46,5%
12	Decoloración y manchado del hormigón	25,6%
13	Eflorescencias en el hormigón	69,8%
14	Lixiviación en el hormigón	0,0%
15	Cristalización del hormigón	0,0%
16	Expansión del hormigón	0,0%
17	Evidencia de corrosión acero de refuerzo	0,0%
18	Evidencia de corrosión metales embebidos	0,0%

Fuente: CELEC EP - TRANSELECTRIC
 Autor: Darwin Pazmiño S.



Fuente: CELEC EP - TRANSELECTRIC
 Autor: Darwin Pazmiño S.

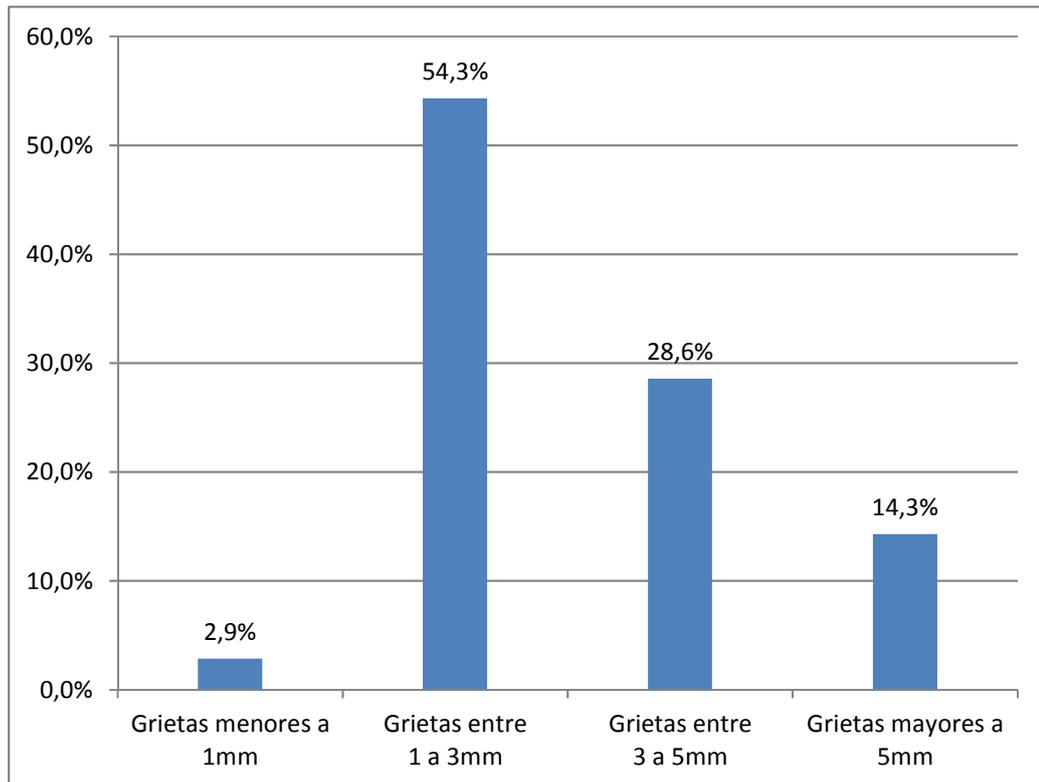
ANEXO 2 a
MAGNITUD DE FISURAS
PATOLOGIA DEL HORMIGON DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS
ESTRUCTURAS DE LA LINEA DE TRANSMISION LIMON - MACAS

Estructuras	Grietas menores a 1mm	Grietas entre 1 a 3mm	Grietas entre 3 a 5mm	Grietas mayores a 5mm
39				X
42	X			
70		X		
80			X	
87			X	
91		X		
98		X		
111		X		
118		X		
129		X		
139		X		
140				X
146			X	
151				X
152				X
159			X	
175			X	
176			X	
178		X		
184			X	
199		X		
219		X		
220				X
221		X		
225		X		
226			X	
227		X		
231		X		
236		X		
265		X		
271		X		
276		X		
286			X	
293			X	
306		X		
%	2,9%	54,3%	28,6%	14,3%

Fuente: CELEC EP - TRANSELECTRIC

Autor: Darwin Pazmiño S.

ANEXO 2 b
MAGNITUD DE FISURAS
PATOLOGIA DEL HORMIGON DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS
ESTRUCTURAS DE LA LINEA DE TRANSMISION LIMON - MACAS



Fuente: CELEC EP - TRANSELECTRIC

Autor: Darwin Pazmiño S.

ANEXO 3 a

ACI 364 TABLA 6.1(b) EVALUACION DE LAS CONDICIONES FISICAS DEL HORMIGON
 PATOLOGIA DEL HORMIGON DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS
 ESTRUCTURAS DE LA LINEA DE TRANSMISION LIMON - MACAS

Tabla 6.1 (a) Evaluación de las propiedades del hormigón

PROPIEDADES QUIMICAS Y FISICAS	PROCEDIMIENTO DE EVALUACION																
	IMPACTO ACUSTICO TAB.6.3	PRUEBA DE CONTENIDO DE AIRE (ASTM C4567)	C1084)	PRUEBAS QUIMICAS	PRUEBAS DE NUCLEOS (ASTMC42)	MEDICIONES DE POTENCIAL ELECTRICO (TABLA 6.3)	6.3)	ENSAYO DE FLEXION (ASTM C42)	C668)	RADIOGRAFIA GAMMA (TABLA 6.3)	MEDIDOR NUCLEAR DE HUMEDAD	PRUEBA DE PERMEABILIDAD (CRD C48)	ANALISIS PETROGRAFICO (ASTM C856)	PRUEBAS EXTRACTIVAS (ASTM C900)	MARTILLO DE REBOTE (ASTM C805)	PULSO ULTRASONICO (ASTM C597)	SONDEO WINDSOR (ASTM C803)
ACIDEZ				X									X				
CONTENIDO DE AIRE		X											X				
REACCION ALCALI-CARBONATO													X				
REACCION ALCALI-SILICE													X				
CONTENIDO DE CEMENTO			X	X									X				
COMPOSICION QUIMICA				X									X				
CONTENIDO DE CLORUROS				X	X								X				
RESISTENCIA A LA COMPRESION					X									X	X	X	X
AGREGADO CONTAMINADO				X									X				
AGUA DE MEZCLADO CONTAMINADA				X									X				
CORROSION AMBIENTAL				X		X											
CREEP					X												
DENSIDAD					X					X							
ALARGAMIENTO					X												
COMPONENTES CONGELADOS													X				
MODULO DE ELASTICIDAD					X										X		
MODULO DE RUPTURA					X			X									
CONTENIDO DE HUMEDAD					X		X				X						
PERMEABILIDAD												X	X				
FUERZA A LA EXTRACCION														X			
CALIDAD DEL AGREGADO													X				
RESISTENCIA AL CONGELAMIENTO Y DESHIELO					X				X				X				
SOLIDEZ					X					X			X				
RESISTENCIA A LA TRACCION					X												
RESISTENCIA A LOS SULFATOS				X									X				
FUERZA DE TENSION					X			X									
UNIFORMIDAD	X												X		X		X
RELACION AGUA-CEMENTO													X				

Fuente: ACI 364

Autor: American Concrete Institute

ANEXO 3 b

ACI 364 TABLA 6.1(b) EVALUACION DE LAS CONDICIONES FISICAS DEL HORMIGON
 PATOLOGIA DEL HORMIGON DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS
 ESTRUCTURAS DE LA LINEA DE TRANSMISION LIMON - MACAS

Tabla 6.1 (b) Evaluación de las condiciones físicas del hormigón

CONDICION FISICA	PROCEDIMIENTO DE EVALUACION														
	EMISIONES ACUSTICAS TAB.6.3	IMPACTO ACUSTICO TAB.6.3	PRUEBAS QUIMICAS	PRUEBAS DE NUCLEOS (ASTM C42)	FIBRA OPTICA (TABLA 6.3)	RADIOGRAFIA GAMMA (TABLA 6.3)	TERMOGRAFIA INFRAROJA (TABLA 6.3)	PRUEBAS DE CARGA (ACI 437R)	ANALISIS PETROGRAFICO (ASTM C856)	MEDICIONES FISICAS	RADAR (TABLA 6.3)	MARTILLO DE REBOTE (ASTM C805)	PULSO ULTRASONICO (ASTM C597)	EXAMEN VISUAL ULTRASONICO (TABLA 6.3) C823)	SONDEO WINDSOR (ASTM C803)
CANALES DE SANGRADO								X						X	
DETERIORO QUIMICO			X					X						X	
CORROSION DEL ACERO			X	X				X							
AGRIETAMIENTO	X	X		X	X		X	X	X	X	X		X	X	X
PROPIEDADES DE LA SECCION DE CRUCE Y ESPESOR				X		X			X			X			
DELAMINACION		X		X	X	X	X	X		X		X	X	X	X
DECOLORACION			X					X							X
DESINTEGRACION				X		X	X	X				X			X
DEFORMACION															X
EFLORESCENCIAS			X					X							X
EROSION								X							X
DAÑO POR CONGELAMIENTO-DESCONGELAMIENTO								X							X
FORMA DE PANAL DE ABEJAS				X	X	X	X	X				X			X
DESCASCARAMIENTOS															X
DECAPADO															X
ASTILLAMIENTO				X		X	X								X
ESTRATIFICACION		X			X								X	X	
DESEMPEÑO ESTRUCTURAL	X							X							X
UNIFORMIDAD DEL CONCRETO						X		X			X	X	X	X	

Fuente: ACI 364

Autor: American Concrete Institute

ANEXO 4 a
**RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA INDIRECTA A LA COMPRESION
 UTILIZANDO ESCLEROMETRO**
**PATOLOGIA DEL HORMIGON DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS
 ESTRUCTURAS DE LA LINEA DE TRANSMISION LIMON – MACAS**



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERIA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
 DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2 522-855 CASILLA: 17-03-1650
 Quito

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA INDIRECTA
 A LA COMPRESION UTILIZANDO ESCLEROMETRO
 Método ASTM C 805

INFORME: 12282

HOJA: 1 DE 1

DATOS INFORMATIVOS:				
OBRA	SOLICITADO POR :	FECHAS		
		RECEPCIÓN	ENSAYO	INFORME
LÍNEA DE TRANSMISIÓN LIMÓN MACAS	CELEC EP.	10/11/2014	08/11/2014	11/11/2014

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:					
ELEMENTO ENSAYADO		E225 - LT EL LIMON			
No.	LECTURA ESCLEROMETRO	ESFUERZO DE CÚBICO (MPa)	FACTOR DE CORRECCIÓN	ESFUERZO DE CILINDRICO (MPa)	MARCA Observaciones
1	44	52	0,8	42	
2	46	56	0,8	45	
3	38	41	0,8	33	
4	42	48	0,8	38	
5	40	45	0,8	36	
6	42	48	0,8	38	
7	46	56	0,8	45	
8	42	48	0,8	38	
9	48	60	0,8	48	
10	40	45	0,8	36	
11	44	52	0,8	42	
12	38	41	0,8	33	
13	38	41	0,8	33	
14	36	38	0,8	30	
15	42	48	0,8	38	
16	38	41	0,8	33	
17	44	52	0,8	42	
18	48	60	0,8	48	
19	42	48	0,8	38	
20	40	45	0,8	36	

RESISTENCIA PROMEDIO (MPa)	39
----------------------------	----

OBSERVACIONES:

- Esclerómetro Matest C380 - Dispersión aproximada. 20%
- 1 MPa = 10.197 Kg/cm²


ING. JORGE SANTAMARÍA
 DIRECTOR

ANEXO 4 b
 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA INDIRECTA A LA COMPRESION
 UTILIZANDO ESCLEROMETRO
 PATOLOGIA DEL HORMIGON DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS
 ESTRUCTURAS DE LA LINEA DE TRANSMISION LIMON – MACAS



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERIA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
 DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX 2 522-655 CASILLA 17-03-1650
 Quito

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA INDIRECTA
 A LA COMPRESIÓN UTILIZANDO ESCLEROMETRO
 Método ASTM C 805

INFORME: 12282

HOJA: 1 DE 1

DATOS INFORMATIVOS:				
OBRA	SOLICITADO POR :	FECHAS		
LÍNEA DE TRANSMISIÓN LIMÓN MACAS	CFI EC FP	RECEPCIÓN	ENSAYO	INFORME
		10/11/2014	08/11/2014	11/11/2014

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:					
ELEMENTO ENSAYADO:		E268 - LT EL LIMON			
No.	LECTURA ESCLEROMETRO	ESFUERZO DE CÚBICO (MPa)	FACTOR DE CORRECCIÓN	ESFUERZO DE CILINDRICO (MPa)	MARCA Observaciones
1	46	56	0,8	45	
2	42	48	0,8	38	
3	46	60	0,8	48	
4	42	48	0,8	38	
5	46	56	0,8	45	
6	48	60	0,8	48	
7	48	60	0,8	48	
8	48	60	0,8	48	
9	48	60	0,8	48	
10	48	60	0,8	48	
11	44	52	0,8	42	
12	46	56	0,8	45	
13	48	60	0,8	48	
14	44	52	0,8	42	
15	46	56	0,8	45	
16	48	60	0,8	48	
17	42	48	0,8	38	
18	46	56	0,8	45	
19	46	56	0,8	45	
20	48	60	0,8	48	

RESISTENCIA PROMEDIO (MPa)	45
----------------------------	----

OBSERVACIONES:

- Esclerómetro Matest C380 - Dispersión aproximada: 20%
- 1 MPa = 10,197 Kg/cm²


 ING. JORGE SANTAMARÍA
 DIRECTOR

ANEXO 4 c
**RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA INDIRECTA A LA COMPRESION
 UTILIZANDO ESCLEROMETRO
 PATOLOGIA DEL HORMIGON DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS
 ESTRUCTURAS DE LA LINEA DE TRANSMISION LIMON – MACAS**



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERIA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
 DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2 522-855 CASILLA: 17-03-1850
 Quito

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA INDIRECTA
 A LA COMPRESIÓN UTILIZANDO ESCLEROMETRO
 Método ASTM C 805

INFORME: 12282

HOJA: 1 DE 1

DATOS INFORMATIVOS:				
OBRA	SOLICITADO POR :	FECHAS		
		RECEPCIÓN	ENSAYO	INFORME
LÍNEA DE TRANSMISIÓN LIMÓN MACAS	CELEC EP.	10/11/2014	08/11/2014	11/11/2014

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:					
ELEMENTO ENSAYADO:		E305 - LT EL LIMON			
No.	LECTURA ESCLEROMETRO	ESFUERZO DE CÚBICO (MPa)	FACTOR DE CORRECCIÓN	ESFUERZO DE CILINDRICO (MPa)	MARCA Observaciones
1	42	48	0,8	38	
2	38	41	0,8	33	
3	44	52	0,8	42	
4	42	48	0,8	38	
5	46	56	0,8	45	
6	38	41	0,8	33	
7	38	41	0,8	33	
8	38	41	0,8	33	
9	46	56	0,8	45	
10	36	38	0,8	30	
11	44	52	0,8	42	
12	38	41	0,8	33	
13	42	48	0,8	38	
14	44	52	0,8	42	
15	42	48	0,8	38	
16	42	48	0,8	38	
17	46	56	0,8	45	
18	42	48	0,8	38	
19	38	41	0,8	33	
20	44	52	0,8	42	

RESISTENCIA PROMEDIO (MPa)	38
----------------------------	----

OBSERVACIONES:

- Esclerómetro Matest C380 - Dispersión aproximada: 20%
- 1 MPa = 10.197 Kg/cm²


ING. JORGE SANTAMARÍA
 DIRECTOR

ANEXO 5
**RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESION REALIZADOS SOBRE
 NUCLEOS CILINDRICOS DE HORMIGON
 PATOLOGIA DEL HORMIGON DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS
 ESTRUCTURAS DE LA LINEA DE TRANSMISION LIMON – MACAS**



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERIA, CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICA
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2 522-655 CASILLA: 17-03-1650
 Quito

**RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN REALIZADOS SOBRE
 NÚCLEOS CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN
 NORMA ASTM C42**

INFORME: 12283

HOJA: 1 DE 1

DATOS INFORMATIVOS:				
OBRA	SOLICITADO POR :	FECHAS		
LÍNEA DE TRANSMISIÓN LIMÓN MACAS	CELEC EP.	RECEPCIÓN	ENSAYO	INFORME
		10/11/2014	11/11/2014	11/11/2014

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:								
No.	MUESTRA	SECCIÓN mm ²	CARGA KN	Esfuerzo MPa	Factor de Corrección	ESFUERZO CORR. (MPa)	DIMENSIONES (mm)	
							Diámetro	Alto
1	1	1963,50	97,80	49,81	1,000	49,81	50,0	100,0
2	2	1963,50	107,60	54,80	1,000	54,80	50,0	100,0
3	3	1963,50	74,70	38,04	0,984	37,44	50,0	90,0
x	x	x	x	x	x	x	x	x

OBSERVACIONES:

- 1 MPa = 10.197 Kg/cm²


ING. JORGE SANTAMARÍA
 DIRECTOR

ANEXO 6 a
ANÁLISIS PETROGRÁFICO
PATOLOGIA DEL HORMIGÓN DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS
ESTRUCTURAS DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN LIMÓN – MACAS

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FIGEMPA

ESTUDIO PETROGRÁFICO MACROSCÓPICO Y MICROSCÓPICO

LÁMINA No. M ÚNICA (TESTIGO)

ANÁLISIS MACROSCÓPICO

Aglomerado gris claro, en sectores con segregaciones de rocas ácidas, clastos de andesitas verdes y cuarzo, con finos fenocristales de plagioclasas, en la matriz se observa concentraciones de material carbonatado por su reacción con ácido.

ESTUDIO MICROSCÓPICO

Textura clástica, con detritos de rocas ígneas de origen andesita – basáltica, andesita cloritizada, trazas de minerales ferruginosos, se observa pequeños clastos de basaltos piroxénicos, los clastos son sub-redondeados a angulosos, la matriz está conformado por pequeños clastos en una matriz fino-granular calcarea y de sílice.

PORCENTAJE APROXIMADO DE MINERALES/CLASTOS

Detritos/clastos	70%
Feldespatos	5 – 10%
Piroxenos	1 – 3 %
Hornblenda	1 – 2 %
Clastos de otras rocas	55 – 60%
Matriz	30%
Feldespatos	1 – 5 %
Sílice	1 – 2%
Clastos de otras rocas	10 – 15%
Carbonato	5 – 10%



CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES/CLASTOS

Clastos de otras rocas: Se observa detritos milimétricos a centimétricos de rocas volcánicas basálticas, poco magnéticas, y de rocas andesitas basálticas con alto porcentaje de piroxenos, la forma de estos clastos son redondeadas a sub-redondeadas, algunos basaltos tienen formas angulosas.

Minerales secundarios o de alteración son de clorita asociados a ferro magnesianos, al igual que relictos de oxidación de minerales de hierro, se observa contenidos bajos en la matriz de carbonatos y trazas de epidota.

Feldespatos (Plagioclasas).- En los clastos de mayor tamaño, se observa a este mineral con relieve moderado en luz natural, algunos cristales presentan un ángulo extinción con características de bitownitas, la forma de este mineral es subhedral a euhedral, presentación maclas zonadas, existen algunos clastos de plagioclasas de formas angulosas. Y clastos sub-redondeados y angulosos de cuarzo lechoso.

Anfiboles y piroxenos.- algunos minerales no tienen formas definidas debido a que se encuentran alteradas y fracturadas, son minerales ferro magnesianos, de color oscuro

ANEXO 6 b
ANALISIS PETROGRAFICO
PATOLOGIA DEL HORMIGON DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS
ESTRUCTURAS DE LA LINEA DE TRANSMISION LIMON – MACAS

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FIGEMPA

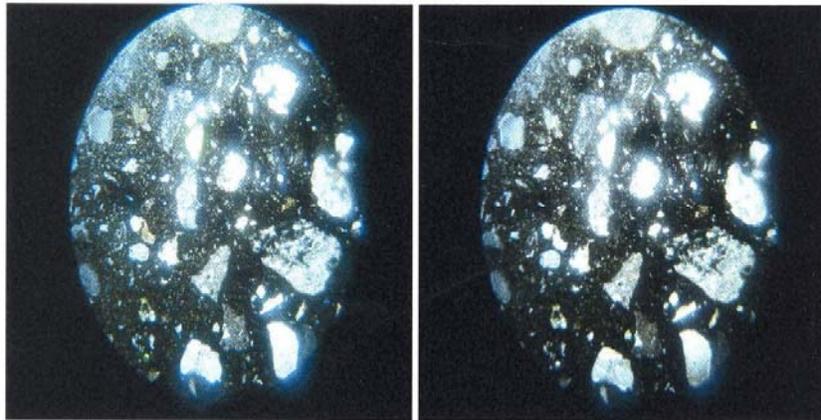
en muestras de mano, bajo el microscopio son de color marrón con relieve moderado – alto en luz natural, son formas irregulares.

CONCLUSIONES

En los clastos y la matriz, los piroxenos que se identifican son por su forma, estos minerales están ligeramente alterados a clorita. Otros minerales secundarios en menor porcentaje son la calcita y sulfuros.

El aglomerado presenta rocas volcánicas basálticas, rocas fresca no se observa superficies de alteración o de reacción, en algunos clastos se pudo identificar meteorización, clastos de cuarzo y rocas silíceas.

Nombre de la Roca: Aglomerado volcánico-clástica

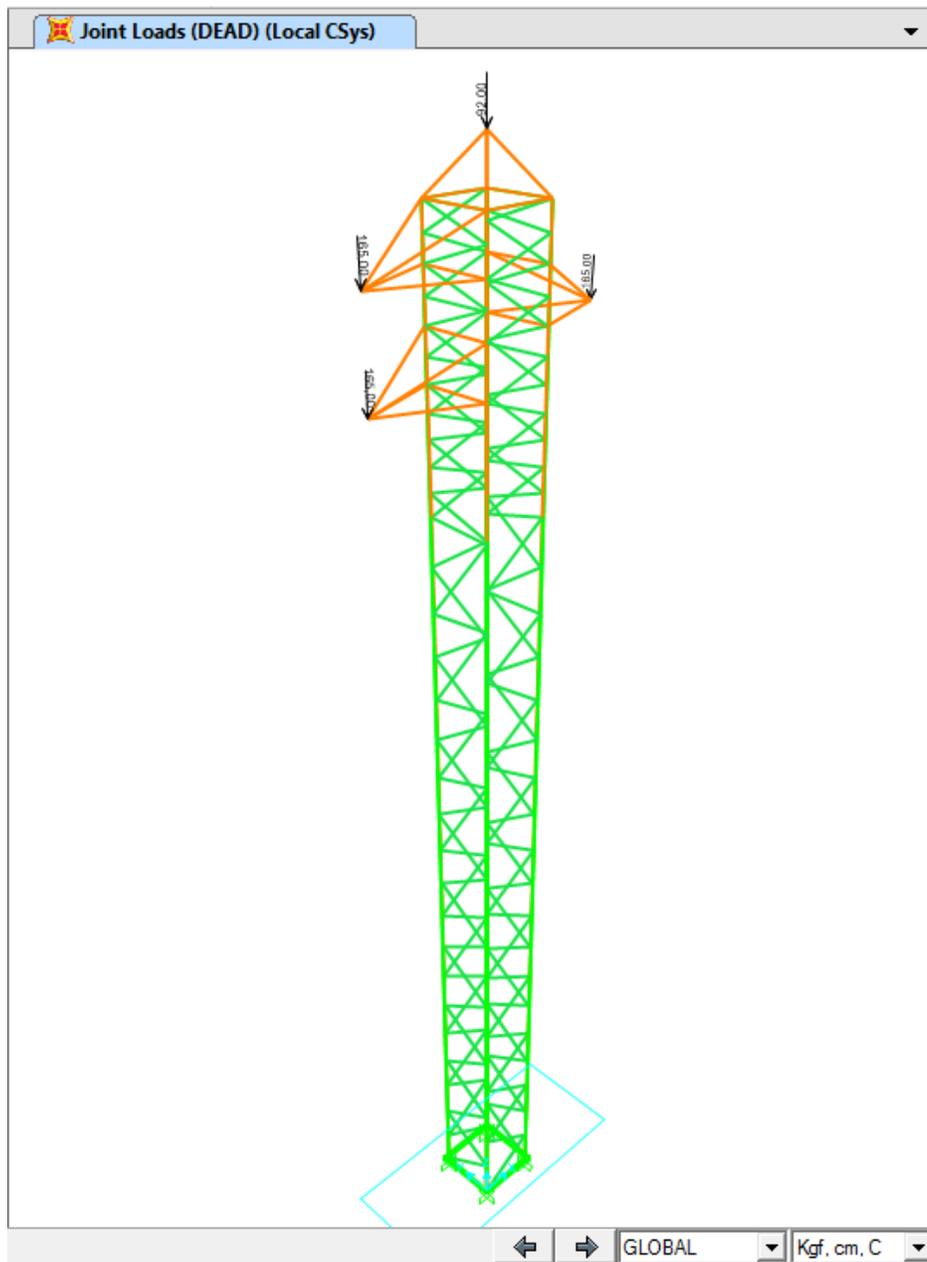


Microfotografía en luz polarizada (fotografía izquierda): clastos rocas volcánicas andesíticas y basálticas en los que se puede ver micro-cristales de plagioclasas orientadas de color blanco, en su gran mayoría característicos de rocas basálticas, los minerales son de formas bien desarrolladas, los ferro-magnesianos se observan ligeramente alterados - meteorizados de tinte amarillento, en la parte central se puede identificar concentraciones de maclas de feldespatos (plagioclasas). Foto derecha: Microfotografía en Luz natural: Con relieve alto son los ferro-magnesianos (anfíboles) ubicados en los clastos, en la matriz o cemento se observa plagioclasas y carbonatos. Magnificación X20.

Ing. Francisco Viteri Santamaría MSc.

LABORATORIO DE PETROGRAFIA

ANEXO 7 a
ANALISIS ESTRUCTURAL
PATOLOGIA DEL HORMIGON DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS
ESTRUCTURAS DE LA LINEA DE TRANSMISION LIMON – MACAS



ANEXO 7 b
ANALISIS ESTRUCTURAL
PATOLOGIA DEL HORMIGON DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS
ESTRUCTURAS DE LA LINEA DE TRANSMISION LIMON – MACAS

Joint Loads - Force

File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Joint Loads - Force

	LoadPat Text	CoordSys Text	F1 Kgf	F2 Kgf	F3 Kgf	M1 Kgf-cm	M2 Kgf-cm	M3 Kgf-cm	GUID Text
▶	DEAD	GLOBAL	0	0	-92	0	0	0	
	CV	GLOBAL	0	0	-100	0	0	0	
	DEAD	GLOBAL	0	0	-165	0	0	0	
	CV	GLOBAL	0	0	-100	0	0	0	
	DEAD	GLOBAL	0	0	-165	0	0	0	
	CV	GLOBAL	0	0	-100	0	0	0	
	DEAD	GLOBAL	0	0	-165	0	0	0	
	CV	GLOBAL	0	0	-100	0	0	0	

Record: 1 of 8 Add Tables... Done

Base Reactions

File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Base Reactions

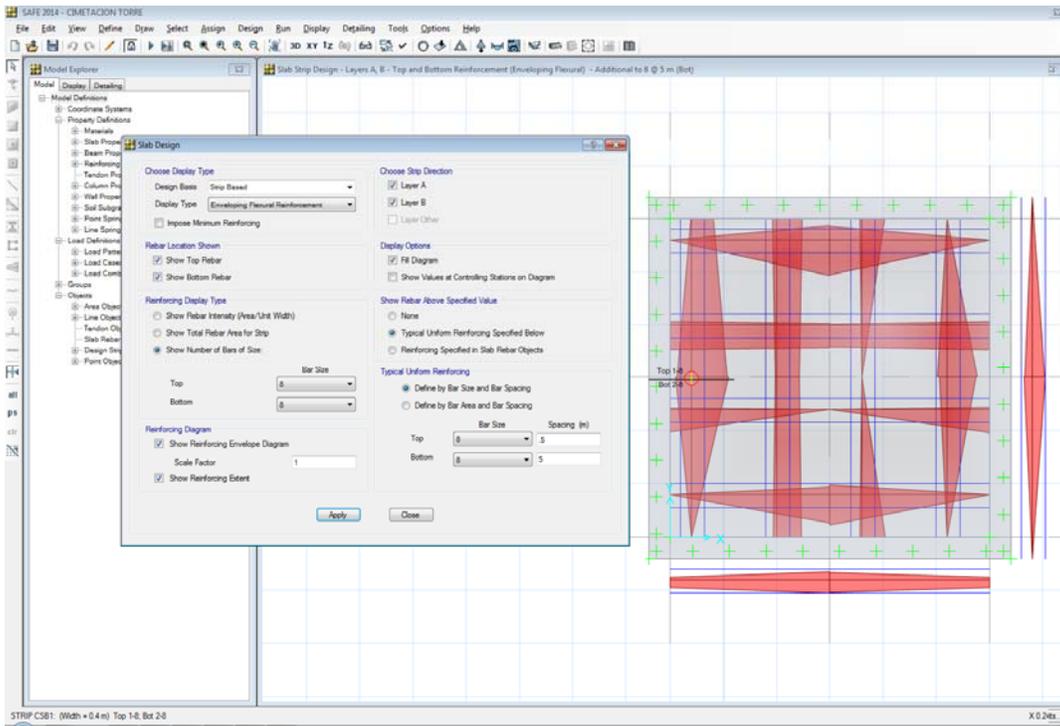
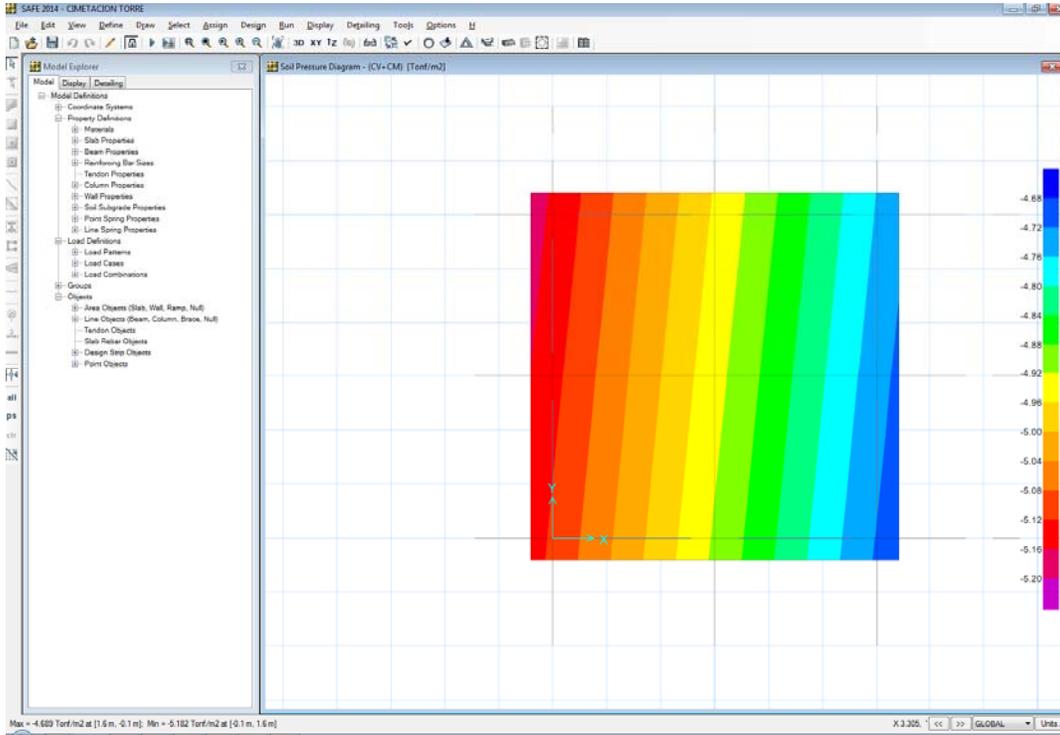
	GlobalMX Kgf-cm	GlobalMY Kgf-cm	GlobalMZ Kgf-cm	XCentroidFZ cm	YCentroidFZ cm
▶	164348.06	-106748.41	-0.00000001146	48.954	75.155

Record: 1 of 1 Add Tables... Done

ANEXO 8

CHEQUEO CIMENTACION

PATOLOGIA DEL HORMIGON DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS ESTRUCTURAS DE LA LINEA DE TRANSMISION LIMON – MACAS



ANEXO 9 a
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS
PATOLOGIA DEL HORMIGON DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS ESTRUCTURAS
DE LA LINEA DE TRANSMISION LIMON-MACAS

RUBRO:	Limpieza y desbroce del acceso y sitio de la estructura	
UNIDAD:	gbl	

EQUIPOS (EQ):

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA HORARIA USD B	COSTO HORA EN USD C = A*B	RENDIMIENTO (HORAS- MÁQUINA) R	COSTO EN USD D = C/R
Herramienta menor	1,00	2,00	2,00	0,50	4,00
SUBTOTAL EQ					4,00

MANO DE OBRA (MO):

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	COSTO HORARIO REAL USD B	COSTO HORA EN USD C = A*B	RENDIMIENTO (HORAS- HOMBRE) R	COSTO EN USD D = C/R
Maestro de obra	1,00	3,57	3,57	0,50	7,14
Peón	2,00	3,18	6,36	0,50	12,72
SUBTOTAL MO					19,86

MATERIALES (MT):

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	UNIDAD	PRECIO UNITARIO USD B	COSTO EN USD C = A*B
				0,00
SUBTOTAL MT				0,00

TRANSPORTE (TP):

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	UNIDAD	TARIFA USD B	COSTO EN USD C = A*B
SUBTOTAL TP				0,00

TOTAL COSTO DIRECTO EN USD (EQ + MO + MT + TR)	23,86
INDIRECTOS Y UTILIDADES	20% 28,63

ANEXO 9 b
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS
PATOLOGIA DEL HORMIGON DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS ESTRUCTURAS
DE LA LINEA DE TRANSMISION LIMON-MACAS

RUBRO:	Hidrolavado a presión	
UNIDAD:	gbl	

EQUIPOS (EQ):

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA HORARIA USD B	COSTO HORA EN USD C = A*B	RENDIMIENTO (HORAS- MÁQUINA) R	COSTO EN USD D = C/R
Herramienta menor	1,00	2,00	2,00	0,60	3,33
Hidrolavador de 6000PSI	1,00	15,00	15,00	0,60	25,00
SUBTOTAL EQ					28,33

MANO DE OBRA (MO):

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	COSTO HORARIO REAL USD B	COSTO HORA EN USD C = A*B	RENDIMIENTO (HORAS- HOMBRE) R	COSTO EN USD D = C/R
Maestro de obra	0,50	3,57	1,79	0,60	2,98
Peón	2,00	3,18	6,36	0,60	10,60
SUBTOTAL MO					13,58

MATERIALES (MT):

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	UNIDAD	PRECIO UNITARIO USD B	COSTO EN USD C = A*B
Agua	2,00	m3	2,00	4,00
SUBTOTAL MT				4,00

TRANSPORTE (TP):

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	UNIDAD	TARIFA USD B	COSTO EN USD C = A*B
SUBTOTAL TP				0,00

TOTAL COSTO DIRECTO EN USD (EQ + MO + MT + TR)	45,91
INDIRECTOS Y UTILIDADES	20%
	55,09

ANEXO 9 d
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS
PATOLOGIA DEL HORMIGON DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS ESTRUCTURAS
DE LA LINEA DE TRANSMISION LIMON-MACAS

RUBRO:	Inyección a presión con aditivo en base a resinas epóxicas de baja viscosidad	
UNIDAD:	kg	

EQUIPOS (EQ):

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA HORARIA USD B	COSTO HORA EN USD C = A*B	RENDIMIENTO (HORAS- MÁQUINA) R	COSTO EN USD D = C/R
Herramienta menor	1,00	2,00	2,00	3,50	0,57
Equipo de inyección	1,00	15,00	15,00	3,50	4,29
Compresor	1,00	8,00	8,00	3,50	2,29
SUBTOTAL EQ					7,14

MANO DE OBRA (MO):

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	COSTO HORARIO REAL USD B	COSTO HORA EN USD C = A*B	RENDIMIENTO (HORAS- HOMBRE) R	COSTO EN USD D = C/R
Maestro de obra	0,50	3,57	1,79	3,50	0,51
Peón	3,00	3,18	9,54	3,50	2,73
Aplicador	1,00	3,57	3,57	3,50	1,02
SUBTOTAL MO					4,26

MATERIALES (MT):

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	UNIDAD	PRECIO UNITARIO USD B	COSTO EN USD C = A*B
Aditivo en base a resinas epóxicas	1,00	kg	23,00	23,00
SUBTOTAL MT				23,00

TRANSPORTE (TP):

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	UNIDAD	TARIFA USD B	COSTO EN USD C = A*B
SUBTOTAL TP				0,00

TOTAL COSTO DIRECTO EN USD (EQ + MO + MT + TR)	34,39857143
INDIRECTOS Y UTILIDADES	20%
	41,28

ANEXO 9 e
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS
PATOLOGIA DEL HORMIGON DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS ESTRUCTURAS
DE LA LINEA DE TRANSMISION LIMON-MACAS

RUBRO:	Recubrimiento de la superficie con aditivo en base a resinas epóxicas impermeables	
UNIDAD:	m2	

EQUIPOS (EQ):

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA HORARIA USD B	COSTO HORA EN USD C = A*B	RENDIMIENTO (HORAS- MÁQUINA) R	COSTO EN USD D = C/R
Herramienta menor	1,00	2,00	2,00	2,50	0,80
SUBTOTAL EQ					0,80

MANO DE OBRA (MO):

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	COSTO HORARIO REAL USD B	COSTO HORA EN USD C = A*B	RENDIMIENTO (HORAS- HOMBRE) R	COSTO EN USD D = C/R
Maestro de obra	0,50	3,57	1,79	2,50	0,71
Peón	2,00	3,18	6,36	2,50	2,54
Aplicador	1,00	3,57	3,57	2,50	1,43
SUBTOTAL MO					4,69

MATERIALES (MT):

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	UNIDAD	PRECIO UNITARIO USD B	COSTO EN USD C = A*B
Aditivo an base a resinas epóxicas impermeables	0,50	kg	28,00	14,00
SUBTOTAL MT				14,00

TRANSPORTE (TP):

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	UNIDAD	TARIFA USD B	COSTO EN USD C = A*B
SUBTOTAL TP				0,00

TOTAL COSTO DIRECTO EN USD (EQ + MO + MT + TR)	19,49
INDIRECTOS Y UTILIDADES	20%
	23,38

ANEXO 9 f
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS
PATOLOGIA DEL HORMIGON DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS ESTRUCTURAS
DE LA LINEA DE TRANSMISION LIMON-MACAS

RUBRO:	Refuerzo con aditivo impermeabilizante acrílico elástico en base a resinas acrílicas estirenadas	
UNIDAD:	m2	

EQUIPOS (EQ):

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA HORARIA USD B	COSTO HORA EN USD C = A*B	RENDIMIENTO (HORAS- MÁQUINA) R	COSTO EN USD D = C/R
Herramienta menor	1,00	2,00	2,00	2,50	0,80
SUBTOTAL EQ					0,80

MANO DE OBRA (MO):

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	COSTO HORARIO REAL USD B	COSTO HORA EN USD C = A*B	RENDIMIENTO (HORAS- HOMBRE) R	COSTO EN USD D = C/R
Maestro de obra	0,50	3,57	1,79	2,50	0,71
Peón	2,00	3,18	6,36	2,50	2,54
Aplicador	1,00	3,57	3,57	2,50	1,43
SUBTOTAL MO					4,69

MATERIALES (MT):

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	UNIDAD	PRECIO UNITARIO USD B	COSTO EN USD C = A*B
Aditivo impermeabilizante acrílico elástico	0,20	Gl	25,00	5,00
SUBTOTAL MT				5,00

TRANSPORTE (TP):

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	UNIDAD	TARIFA USD B	COSTO EN USD C = A*B
SUBTOTAL TP				0,00

TOTAL COSTO DIRECTO EN USD (EQ + MO + MT + TR)	10,49
INDIRECTOS Y UTILIDADES	20%
	12,58

ANEXO 9 g
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS
PATOLOGIA DEL HORMIGON DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS ESTRUCTURAS
DE LA LINEA DE TRANSMISION LIMON-MACAS

RUBRO:	Movilización de equipo y personal entre bases de trabajo	
UNIDAD:	gbl	

EQUIPOS (EQ):

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA HORARIA USD B	COSTO HORA EN USD C = A*B	RENDIMIENTO (HORAS- MÁQUINA) R	COSTO EN USD D = C/R
Camioneta 4x4	1,00	12,50	12,50	0,50	25,00
SUBTOTAL EQ					25,00

MANO DE OBRA (MO):

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	COSTO HORARIO REAL USD B	COSTO HORA EN USD C = A*B	RENDIMIENTO (HORAS- HOMBRE) R	COSTO EN USD D = C/R
Chofer	1,00	4,67	4,67	0,50	9,34
SUBTOTAL MO					9,34

MATERIALES (MT):

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	UNIDAD	PRECIO UNITARIO USD B	COSTO EN USD C = A*B
SUBTOTAL MT				0,00

TRANSPORTE (TP):

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	UNIDAD	TARIFA USD B	COSTO EN USD C = A*B
SUBTOTAL TP				0,00

TOTAL COSTO DIRECTO EN USD (EQ + MO + MT + TR)	34,34
INDIRECTOS Y UTILIDADES	20%
	41,21

ANEXO 9 h
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS
PATOLOGIA DEL HORMIGON DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS ESTRUCTURAS
DE LA LINEA DE TRANSMISION LIMON-MACAS

RUBRO:	Manejo ambiental	
UNIDAD:	gbl	

EQUIPOS (EQ):

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA HORARIA USD B	COSTO HORA EN USD C = A*B	RENDIMIENTO (HORAS- MÁQUINA) R	COSTO EN USD D = C/R
Camioneta 4x4	1,00	12,50	12,50	1,00	12,50
SUBTOTAL EQ					12,50

MANO DE OBRA (MO):

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	COSTO HORARIO REAL USD B	COSTO HORA EN USD C = A*B	RENDIMIENTO (HORAS- HOMBRE) R	COSTO EN USD D = C/R
Profesional Ambiental	1,00	9,00	9,00	1,00	9,00
Maestro de obra	0,50	3,57	1,79	1,00	1,79
Peón	2,00	3,18	6,36	1,00	6,36
SUBTOTAL MO					17,15

MATERIALES (MT):

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	UNIDAD	PRECIO UNITARIO USD B	COSTO EN USD C = A*B
SUBTOTAL MT				0,00

TRANSPORTE (TP):

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	UNIDAD	TARIFA USD B	COSTO EN USD C = A*B
SUBTOTAL TP				0,00

TOTAL COSTO DIRECTO EN USD (EQ + MO + MT + TR)	29,65
INDIRECTOS Y UTILIDADES	20%
	35,57

ANEXO 10 a
ESPECIFICACIONES TECNICAS DE RUBROS A APLICARSE
PATOLOGIA DEL HORMIGON DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS
ESTRUCTURAS DE LA LINEA DE TRANSMISION LIMON – MACAS

Para la ejecución de los trabajos se debe considerar que el precio unitario de cada rubro incluye la logística necesaria para acceder a cada estructura, considerando que el acceso vehicular en promedio está a 50 m hasta el lugar de ejecución de los trabajos.

Adicionalmente el precio unitario debe considerar los implementos de seguridad necesarios para la ejecución de los trabajos y las actividades relacionadas al manejo de los materiales y desechos generados producto de la intervención, de manera que no haya afectación al medio ambiente.

1.- Limpieza y desbroce del acceso y sitio de la estructura

Este trabajo consistirá en el suministro de todos los materiales, equipos, mano de obra y supervisión requerida para el desbroce, remoción, retiro y limpieza de todo arbusto o matorral que sea necesario eliminar para el ingreso de personal herramientas y equipos necesarios para la ejecución de los trabajos reparación a implementarse en las cimentaciones de las estructuras d la línea de transmisión.

Para el ingreso a las torres el contratista deberá realizar el desbroce (cuando este se requiera) de un sendero que le conduzca al sitio de ubicación de la torre de máximo 1m de ancho, de conformidad con lo indicado por la fiscalización.

El contratista debe realizar la limpieza y desbroce de un área adyacente a las torres de máximo 2 metros a la redonda, para la instalación del equipo y las labores de trabajo del personal de construcción. La localización y dimensiones de estas áreas serán aprobadas por la fiscalización.

Medida y forma de pago.-

La medida y forma de pago del rubro de “limpieza y desbroce del acceso y sitio de la estructura”, será en forma global por cada estructura a ser intervenida, la misma que debe contar con la aprobación de la fiscalización.

ANEXO 10 b
ESPECIFICACIONES TECNICAS DE RUBROS A APLICARSE
PATOLOGIA DEL HORMIGON DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS
ESTRUCTURAS DE LA LINEA DE TRANSMISION LIMON – MACAS

2.- Hidrolavado a presión

El trabajo consistirá en el suministro de todos los materiales, equipos, mano de obra y supervisión requerida para realizar la limpieza de los elementos de hormigón tanto superficialmente como en el interior de las grietas, de manera que la aplicación de los aditivos no tengan inconvenientes posteriores.

La superficie del hormigón a ser intervenida debe encontrarse sana, limpia y libre de material suelto o cualquier sustancia que impida una correcta aplicación y adecuada adherencia de los aditivos a ser utilizados. Para una adecuada limpieza se utilizarán métodos mecánicos como chorro de agua a alta presión, la presión a utilizarse no será superior a 6000 psi, al momento del lavado se debe cuidar que la dirección del chorro tenga un ángulo de 45° respecto a la superficie a limpiar, finalmente se deberá limpiar la superficie con chorro de aire a alta presión exento de aceite.

Si el interior de la grieta contiene suciedad o elementos que impidan una buena adherencia de la resina de inyección, deberá considerarse una limpieza interna con aire a presión.

Medida y forma de pago.-

La medida y forma de pago del rubro de “hidrolavado a presión”, será en forma global por cada estructura a ser intervenida, la misma que debe contar con la aprobación de la fiscalización.

3.- Inyección a gravedad con aditivo en base a resinas epóxicas de baja viscosidad

El trabajo consistirá en el suministro de todos los materiales, equipos, mano de obra y supervisión requerida para realizar la inyección a gravedad de las resinas epóxicas de baja viscosidad.

ANEXO 10 c
ESPECIFICACIONES TECNICAS DE RUBROS A APLICARSE
PATOLOGIA DEL HORMIGON DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS
ESTRUCTURAS DE LA LINEA DE TRANSMISION LIMON – MACAS

El aditivo a utilizarse consistirá en un sistema de dos componentes con base en resinas epóxicas modificadas para obtener la baja viscosidad que determina su alta penetrabilidad en grietas y capilares, el sistema debe ser libre de solventes e insensible a la humedad, el sistema será un adhesivo de altísima resistencia.

Las áreas a intervenirse deben estar libre de cualquier contaminación de grasas, residuos curadores, polvo, y lechadas cementicias, la superficie puede estar seca, húmeda o saturada, pero libre de empozamientos, la temperatura de la superficie debe estar entre 10°C y 30°C, se recomienda aire caliente para mantener este rango de temperatura.

Para preparar el producto se debe revolver los componentes separadamente con instrumentos individuales, cuando los componentes A y B estén homogeneizados, se adiciona la totalidad del componente B a la totalidad del componente A mezclando suavemente para no introducir aire hasta obtener una mezcla homogénea.

Para la inyección a gravedad se debe hacer un canal para represar el aditivo a lo largo de la falla, este canal puede hacerse con mortero, el cual será retirado posteriormente con cincel, para evitar que el aire atrapado impida la penetración del aditivo se debe dejar válvulas de escape.

Medida y forma de pago.-

La medida y forma de pago del rubro “inyección a gravedad con aditivo en base a resinas epóxicas de baja viscosidad”, será en kilogramos, de acuerdo a las cantidades medidas y aprobadas por la fiscalización.

4.- Inyección a presión con aditivo en base a resinas epóxicas de baja viscosidad

El trabajo consistirá en el suministro de todos los materiales, equipos, mano de obra y supervisión requerida para realizar la inyección a presión de las resinas epóxicas de baja viscosidad.

ANEXO 10 d
ESPECIFICACIONES TECNICAS DE RUBROS A APLICARSE
PATOLOGIA DEL HORMIGON DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS
ESTRUCTURAS DE LA LINEA DE TRANSMISION LIMON – MACAS

El aditivo a utilizarse consistirá en un sistema de dos componentes con base en resinas epóxicas modificadas para obtener la baja viscosidad que determina su alta penetrabilidad en grietas y capilares, el sistema debe ser libre de solventes e insensible a la humedad, el sistema será un adhesivo de altísima resistencia.

Para preparar el producto se debe revolver los componentes separadamente con instrumentos individuales, cuando los componentes A y B estén homogeneizados, se adiciona la totalidad del componente B a la totalidad del componente A mezclando suavemente para no introducir aire hasta obtener una mezcla homogénea.

Se debe disponer de boquillas de inyección (puntos de entrada) en la superficie a lo largo de la grieta. Si la grieta traspasa de un lado a otro, se colocarán boquillas por ambas caras en alturas escalonadas.

Para la inyección a presión en las grietas, se debe sellar superficialmente la grieta de manera que no exista desperdicio de material, posteriormente se inicia el proceso de inyección por la boquilla inferior hasta que la resina salga por la inmediatamente superior. Se sella la boquilla y se continúa con el proceso por la siguiente hasta llegar a la última boquilla.

Si la superficie del hormigón se encuentra débil, se debe picar una ranura en V a lo largo de la grieta con una profundidad mínima de 1 cm o hasta encontrar hormigón firme y sano, luego fijar las boquillas y rellenar el espacio creado con el mismo producto. Una vez endurecido el material sellante, para lo que generalmente se deja transcurrir 24 horas, verificar que existe un sistema abierto aplicando aire comprimido por todos los puntos. Este procedimiento sirve, además, para expulsar restos de polvo, agua u otro contaminante de la grieta y verificar el total confinamiento de ésta.

ANEXO 10 e
ESPECIFICACIONES TECNICAS DE RUBROS A APLICARSE
PATOLOGIA DEL HORMIGON DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS
ESTRUCTURAS DE LA LINEA DE TRANSMISION LIMON – MACAS

Medida y forma de pago.-

La medida y forma de pago del rubro “inyección a presión con aditivo en base a resinas epóxicas de baja viscosidad”, será en kilogramos, de acuerdo a las cantidades medidas y aprobadas por la fiscalización.

5.- Recubrimiento de la superficie con aditivo en base a resinas epóxicas impermeables

El trabajo consistirá en el suministro de todos los materiales, equipos, mano de obra y supervisión requerida para realizar el recubrimiento de la superficie del hormigón con resinas epóxicas impermeables.

El recubrimiento será efectuado con aditivo de 2 componentes 100% sólidos, elaborado con base a resinas epóxicas, libre de solventes y con alta resistencia química.

Antes de mezclar se debe agitar el componente A mecánicamente, se agrega el componente B y se mezcla continuamente con taladro de bajas revoluciones por 3 minutos hasta obtener una mezcla homogénea, se debe evitar mezclar en exceso para reducir el aire atrapado en la mezcla.

Antes de la aplicación se debe revisar que las condiciones sean adecuadas, contenido de humedad del sustrato <4% en peso, humedad relativa de 80% máximo y por lo menos 3°C por encima del punto de rocío. El producto debe ser aplicado con brochas de cerdas largas, rodillo de pelo corto resistente a solventes sin pelusa o con equipo airless.

Medida y forma de pago.-

La medida y forma de pago del rubro “recubrimiento de la superficie con aditivo en base a resinas epóxicas impermeables”, será en m², de acuerdo a las cantidades medidas y aprobadas por la fiscalización.

ANEXO 10 f
ESPECIFICACIONES TECNICAS DE RUBROS A APLICARSE
PATOLOGIA DEL HORMIGON DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS
ESTRUCTURAS DE LA LINEA DE TRANSMISION LIMON – MACAS

6.- Refuerzo con aditivo impermeabilizante acrílico elástico en base a resinas acrílicas estirenadas

El trabajo consistirá en el suministro de todos los materiales, equipos, mano de obra y supervisión requerida para realizar la aplicación del refuerzo sobre las grietas con aditivo impermeabilizante acrílico elástico.

El aditivo a utilizarse consiste en una emulsión con base en resinas acrílicas estirenadas de aplicación en frío y que una vez seco forma una película flexible, impermeable y duradera.

El aditivo debe mezclarse hasta que esté totalmente homogéneo, la aplicación puede realizarse con rodillo de felpa, brocha o equipo airless, se debe aplicar una imprimación del aditivo diluido en agua 1:2 (1 litro de aditivo con 2 litros de agua) sobre el área a tratar, una vez seca la imprimación (aproximadamente 30 minutos) se debe dar sucesivas capas del aditivo refuerzo, hasta conseguir el espesor de la película deseado, antes de aplicar la siguiente capa debe estar totalmente seca la anterior (4 horas aproximadamente).

Medida y forma de pago.-

La medida y forma de pago del rubro “refuerzo con aditivo impermeabilizante acrílico elástico en base a resinas acrílicas estirenadas”, será en m², de acuerdo a las cantidades medidas y aprobadas por la fiscalización.

7.- Movilización de equipo y personal entre bases de trabajo

Este trabajo consistirá en el suministro de una camioneta 4x4 con su correspondiente chofer profesional, la cual tiene que efectuar el transporte de los materiales, la mano de obra y los equipos de la estructura a ser intervenida a la siguiente, para efectuar un proceso continuo de reparación. Este trabajo lo deberá realizar de manera coordinada con los diferentes frentes de trabajo y la fiscalización, tomando en cuenta los tiempos de aplicación de los productos y tiempos de espera.

ANEXO 10 g
ESPECIFICACIONES TECNICAS DE RUBROS A APLICARSE
PATOLOGIA DEL HORMIGON DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS
ESTRUCTURAS DE LA LINEA DE TRANSMISION LIMON – MACAS

Se debe tomar en cuenta para este rubro el recorrido de la camioneta de una distancia promedio entre estructuras de 500 m en carretera y una distancia de 50 m en camino de segundo orden.

Medida y forma de pago.-

La medida y forma de pago del rubro de “movilización de equipo y personal entre bases de trabajo”, será en forma global por cada estructura a ser intervenida, la misma que debe contar con la aprobación de la fiscalización.

8.- Manejo ambiental

Se deberá implementar y ejecutar el manejo ambiental, para lo cual, obligatoriamente deberá contar de manera permanente con un profesional especialista en gestión ambiental y en seguridad, el cual deberá cumplir con las siguientes actividades:

- Estar presente en todos los frentes de trabajo, previo al inicio de las actividades.
- Realizar el levantamiento de información primaria, del estado del área, antes de intervenirlas, mediante evidencias documentales.
- Registrar el cumplimiento del presente plan, mediante formularios y otros procedimientos documentales.
- Realizar inspecciones periódicas a las actividades.

La capacitación ambiental, estará dirigida a los trabajadores en cada frente de trabajo, se deberá efectuar la programación de los temas que serán impartidos al personal y será responsable de su aplicación.

Los desechos sólidos serán manejados cumpliendo las siguientes directrices:

- a) Se procurará la aplicación del “Principio de las tres R”: Reducir, Reutilizar y/o Reciclar.
- b) La clasificación de desechos se realizará en base a cuatro categorías: orgánicos (biodegradables), reciclables, especiales y escombros.

ANEXO 10 h
 ESPECIFICACIONES TECNICAS DE RUBROS A APLICARSE
 PATOLOGIA DEL HORMIGON DE LAS CIMENTACIONES PARA LAS
 ESTRUCTURAS DE LA LINEA DE TRANSMISION LIMON – MACAS

c) Se mantendrá en campamentos sitios específicos para el acopio temporal de desechos, mismos que serán dotados de recipientes rotulados y con la siguiente codificación de colores: verde (desechos orgánicos), gris (vidrio), amarillo (plásticos), azul (papel y cartón), rojo (desechos infecciosos: medicinas, gasas, etc.), negro (materiales con hidrocarburos). Para el caso de la madera y escombros, el SAC identificará en coordinación con el (FT), sitios adecuados para su almacenamiento temporal.

La disposición final de residuos sólidos se efectuará según el siguiente procedimiento:

TIPO	DISPOSICIÓN
Aceites lubricantes, filtros de aceite	Entrega en los sitios de cambio de aceites (proveedores representantes de las fábricas), o entrega a personas naturales para usos compatibles.
Desechos contaminados con hidrocarburos	Incineración mediante empresas calificadas como Gestores Ambientales por el Ministerio del Ambiente
Vidrio, papel, cartón, plásticos	Centros de reciclajes calificadas como Gestores Ambientales por el Ministerio del Ambiente
Chatarra metálica, varillas de hierro	Chatarreras o fundidoras calificadas como Gestores Ambientales por el Ministerio del Ambiente
Desechos orgánicos (domésticos)	Recolección y botaderos municipales
Escombros	Botaderos municipales, se sujetarán a las disposiciones dadas en las ordenanza que norman el manejo y disposición final de los escombros.

Medida y forma de pago.-

La medida y forma de pago del rubro “manejo ambiental”, será en forma global por cada estructura intervenida, de acuerdo a lo aprobado por la fiscalización.